

低钠配方对鸭肉脂肪氧化和风味的影响

金晓丽, 王武*, 陈从贵, 石江涛, 魏玲
(合肥工业大学生物与食品工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 以鸭腿为原料, 在氯化钠总量为2%的前提下, 用氯化钾部分替代氯化钠, 通过测定过氧化值 (peroxide value, POV) 和硫代巴比妥酸 (thiobarbituric acid, TBA) 值两个脂肪氧化指标, 确定氯化钾的最佳替代水平为40%。在此基础上, 研究氯化钾、氯化钙共同替代氯化钠对鸭肉脂肪氧化和风味品质的影响。结果表明: 氯化钾、氯化钙混合替代能明显抑制鸭肉中脂肪的氧化, 改善鸭肉中挥发性风味化合物含量, 并在一定添加量范围内对鸭肉的感官品质无显著影响 ($P > 0.05$), 适宜的替代比为35%氯化钾、5%氯化钙。

关键词: 鸭肉; 脂肪氧化; 氯化钾; 氯化钙; 风味

Effect of Sodium Reduction on Lipid Oxidation and Flavor of Duck Sausage

JIN Xiaoli, WANG Wu*, CHEN Conggui, SHI Jiangtao, WEI Ling

(College of Biological and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The effect of partial replacement of NaCl by KCl alone or together with CaCl₂ on peroxide value (POV) and thiobarbituric acid (TBA) in duck sausage made from duck thigh meat was investigated. The initial NaCl level was 2%, and the best results were observed by 40% substitution of NaCl with KCl. Further investigation found that partial replacement of NaCl with a combination of KCl and CaCl₂ significantly suppressed lipid oxidation, and increased the contents of volatile flavor compounds, while not having a significant impact on the quality of duck sausage ($P > 0.05$). Substitution with 35% KCl and 5% CaCl₂ was found to be optimal.

Key words: duck meat; lipid oxidation; potassium chloride; calcium chloride; flavor

中图分类号: TS251.51

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2014) 12-0001-05

肉类加工中, 氯化钠作为辅料具有多种功能, 如提供咸味、降低水分活度、促进某些蛋白质溶解等^[1]。但大量研究^[2-3]表明高血压等疾病的产生和高钠饮食有直接的关联, 过多的氯化钠摄入量很有可能会导致高血压, 从而会增加患冠心病的风险。而且, 有研究^[4]认为氯化钠作为一种基本添加剂, 当其以肉制品中常用的含量 (0.5%~2.5%) 存在时, 具有助氧化的作用。因此, 人们尝试了很多不同的方法来降低肉制品中的钠含量, 其中最主要的方法就是用其他氯盐 (氯化钾、氯化钙等) 替代氯化钠^[5]。

氯化钾可能是低盐或低钠肉制品中最常用的钠盐替代物^[6-7], 因为它与氯化钠有着类似的性能, 并且目前为止还未发现钾的摄入与高血压和冠心病^[8]的发生有联系。此外, 有报道称氯化钾部分替代氯化钠能一定程度上延缓猪肉饼和牛排的氧化酸败^[9]。有研究发现氯化钾替代量过大 (>40%) 会导致某些感官品质如风味和滋味的下降^[10-11], 因此, 可以利用其他氯盐如氯化钙与氯化钾共

同替代钠盐来降低肉制品中的钠含量^[12-13]。鸭肉相比于其他肉具有更高含量的不饱和脂肪酸, 因此, 脂肪氧化和降解的产物对鸭肉风味的影响比反刍动物肉风味的影响更大。关于钠盐替代对鸭肉脂肪氧化和风味的影响, 目前尚未见文献报道。本研究利用氯化钾、氯化钙对氯化钠进行替代, 考察钠盐的部分替代对鸭肉脂肪氧化和风味的影响, 以期新型优质低钠肉制品的开发提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

樱桃谷鸭腿购于家乐福超市; 食盐 (氯化钠 ≥ 99.5%)、氯化钾、氯化钙均为食品级。

三氯乙酸、EDTA、硫代巴比妥酸、碘化钾、淀粉、异辛烷、冰乙酸等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

SCION TQ气质联用仪 德国布鲁克公司;

收稿日期: 2014-08-27

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31101240)

作者简介: 金晓丽 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品现代加工工程化技术。E-mail: 13155101522@163.com

*通信作者: 王武 (1968—), 男, 副教授, 硕士, 研究方向为畜禽产品开发。E-mail: ww68@163.com

CAR/PDMS固相微萃取针、固相微萃取手柄、螺口样品瓶 美国Supelco公司；721型分光光度计、JY60型电子天平 上海精密科学仪器有限公司；T-J-200高速分散均质机 上海标本模型厂；MGB-120绞肉机 佛山市依家电器实业有限公司；HHS-S恒温水浴锅 江苏金坛市金城国胜实验仪器厂；手动U型打卡机 北京民生兴业机械制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鸭肉肠的制作

将冷冻鸭腿放在4℃条件下解冻12 h，剔除筋腱和骨头，将瘦肉和脂肪分开，用绞肉机分别绞碎呈肉糜状，按照肥瘦质量比为2:8^[14]称取相应的肉糜100 g，加入对应的腌制料（基本配方：瘦肉糜80 g、脂肪20 g、去离子水10 mL、氯化钠及其替代物总质量固定为2 g），充分搅拌均匀后，放入保鲜袋内密封，置于4℃腌制18 h左右。取出再次搅拌均匀后，将其充填于塑料肠衣袋中，排气后密封。将所制肠放入（90±1）℃恒温水浴中加热30 min，取出经流动自来水冷却10 min后置于冰箱冷藏室，待检测。

1.3.2 替代钠比例实验设计

1.3.2.1 氯化钾替代比的确定

氯化钾替代0%、10%、20%、30%、40%氯化钠，（以氯化钠的质量计，对照组氯化钠添加量为2%）。利用脂肪氧化指标过氧化值（peroxide value, POV）和硫代巴比妥酸（thiobarbituric acid, TBA）值，确定氯化钾的最佳替代水平。

1.3.2.2 氯化钾、氯化钙混合替代比的确定

根据1.3.2.1节的结果，拟设计氯化钾、氯化钙混合替代氯化钠。通过对氧化指标和风味指标的综合分析，得出氯化钾、氯化钙共同替代时最佳的替代比例。

表1 氯化钾、氯化钙替代氯化钠的质量百分比

组分	处理组				
	对照	1	2	3	4
氯化钠	100-x	100-x	100-x	100-x	100-x
氯化钾	x	x-5	x-10	x-15	x-20
氯化钙		5	10	15	20

注：x为实验1.3.2.1节中得出的氯化钾的最佳替代水平。

1.3.3 脂肪氧化的测定

1.3.3.1 POV的测定

根据GB5538—2005《动植物油脂 过氧化值测定》的方法，准确称取3.0 g样品于锥形瓶中，加入有机溶剂异辛烷-冰乙酸（2:3，V/V）30 mL，混匀后加入饱和碘化钾1 mL，立即加塞、振荡1 min，置于暗处反应5 min；取出后加入蒸馏水30 mL，并加入5 g/L淀粉溶液1 mL，用配制好的0.002 mol/L硫代硫酸钠溶液进行滴定。

1.3.3.2 TBA值的测定

参照Mielnik等^[15]的方法，并稍作修改。取5 g样品研细，加入7.5 g/100 mL的三氯乙酸（含0.1 g/100 mL EDTA）25 mL，均质30 s后，取均质液5 mL，95℃沸水浴中保持30 min，取出后流动自来水冷却10 min。在15℃、3080×g条件下离心20 min，在532 nm波长处测定离心上清液的吸光度，计算TBA值，其结果以每千克肉样中含有的丙二醛质量（mg）表示。

1.3.4 风味物质的测定

准确称取3.0 g样品于螺口样品瓶中，用聚四氟乙烯垫密封，将75 μm CAR/PDMS萃取头插入样品瓶中，推出纤维头于50℃吸附40 min，然后将萃取头插入气相色谱仪于250℃解吸2 min抽回纤维头后拔出萃取头，同时启动仪器采集数据。

色谱条件：DB-5 MS毛细管色谱柱（60 m×0.32 mm，1 μm）；载气（He）流速1 mL/min；不分流，恒压35 kPa；起始柱温40℃，保持2 min，以5℃/min上升至60℃，无保留；再以10℃/min上升至100℃，无保留；再以18℃/min上升至240℃，保持6 min。进样口温度与接口温度均为250℃，检测温度为240℃。

质谱条件：离子源温度200℃；电离方式EI；电子能量70 eV；灯丝电流150 μA；扫描质量范围33~450 u。

化合物经计算机检索同时与NIST library（107k compounds）和Wiley Library（320k compounds，version 6.0）相匹配。本研究仅报道匹配度和纯度大于800（最大值1 000）的鉴定结果。化合物相对百分含量按峰面积归一化计算。

1.3.5 风味化合物的分析

鸭肉中挥发性风味化合物的分析采用相对气味活度值（relative odor activity value, ROAV）法^[16]，即结合各种化合物的感觉阈值，对鸭肉挥发性化合物的顶空固相微萃取-气相色谱-质谱鉴定结果进行有效处理的方法。

1.3.6 感官评价

选择10名经过培训的食品专业评价人员鸭肉样品的咸度、苦味、肉香和总体可接受度进行感官评价，评分标准参照Park等^[9]的方法并稍作修改，具体见表2。每次评定由每个评定组成员单独进行，相互不接触交流，每组样品评定之前用清水漱口。

表2 鸭肉感官评价分值表

Table 2 Sensory evaluation criteria for duck sausage

得分	项目			
	咸度	苦味	肉香	总体可接受度
4~5	咸	浓	浓	易接受
3	适宜	一般	一般	可接受
1~2	淡	淡	淡	不可接受

1.4 数据分析

每次实验测3个平行，测定结果采用Excel 统计处理，SPSS 19.0统计分析软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 氯化钾替代比对鸭肉脂肪氧化的影响

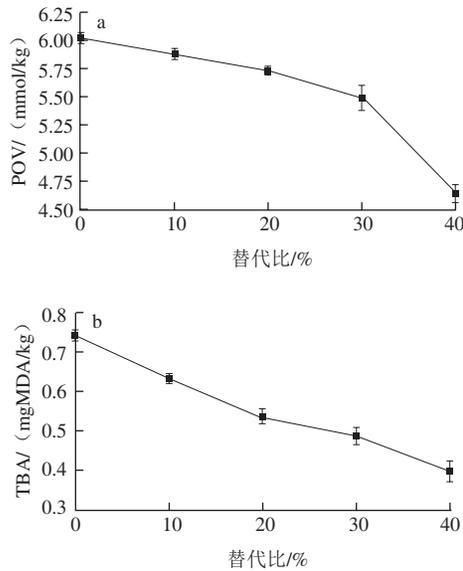


图1 氯化钾替代比对鸭肉脂肪氧化的影响

Fig.1 Effect of KCl substitution on lipid oxidation in duck meat

POV是反映脂质氧化程度的参数,表明脂质发生一级氧化程度。POV高,表明脂肪氧化的中间产物积累的多,但是这些中间产物很快会进一步氧化成醛、酮、酸等低分子物质^[17]。由图1可知,对照组鸭肉POV为6.02 mmol/kg,显著高于氯化钾替代比为10%组鸭肉的POV(5.88 mmol/kg)($P<0.05$)。随着氯化钾替代比的增加,POV不断下降,当氯化钾替代比达到40%时,鸭肉的POV下降到4.64 mmol/kg。TBA值一般与感官分析评分有很好的相关性,因此经常被用来表示脂肪氧化的程度^[18]。与未替代组相比,氯化钾替代比为10%时,鸭肉的TBA值显著降低。并且,随着氯化钾替代比的增加,鸭肉的TBA值极显著下降($P<0.01$),当氯化钾替代比达到40%时,鸭肉的TBA值由对照组的0.74 mg MDA/kg下降到0.40 mg MDA/kg,表明鸭肉中脂肪的氧化程度不断减弱。考虑到氯化钾替代比过高(>40%)时,产品的香味和滋味等感官品质会变差^[19],本研究只考察氯化钾替代比在40%以内时,其对鸭肉脂肪氧化和风味的影响。

氯化钾部分替代氯化钠能够显著降低鸭肉的氧化程度,这与Campagnol等^[10]在研究盐腌猪肉馅饼中脂肪氧化的结果一致。正如实验结果所示,氯化钾替代氯化钠后对脂肪氧化有一定的改善作用。综合POV、TBA值可得出,氯化钠被替代比为40%时,脂肪氧化最弱,效果最佳。故选取这个替代水平进行氯化钾、氯化钙共同替代实验。

2.2 氯化钾、氯化钙混合替代比对鸭肉脂肪氧化的影响

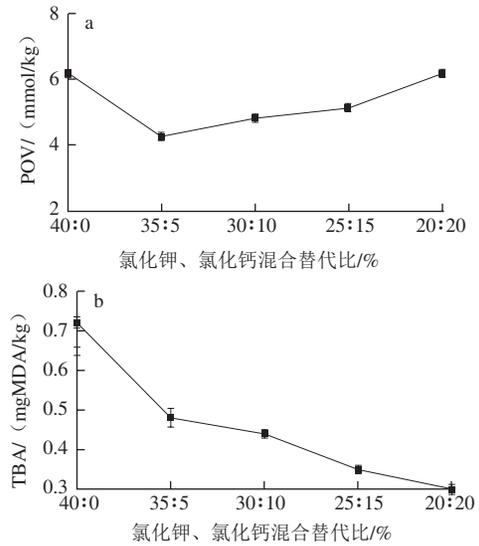


图2 氯化钾、氯化钙混合替代比对鸭肉脂肪氧化的影响

Fig.2 Effect of substitution with KCl and CaCl₂ on lipid oxidation in duck meat

由图2可知,使用氯化钾、氯化钙共同替代氯化钠时,鸭肉的POV较对照组有很大变化。氯化钙替代比在5%~15%之间时,变化显著($P<0.05$)。当氯化钙替代比为5%时,鸭肉POV最小,为4.26 mmol/kg。此后,随着氯化钙替代比的增加,鸭肉的POV较对照组又显著增加,氯化钙替代比为20%时,鸭肉的POV与对照组相比无显著差别($P>0.05$)。随着氯化钙替代比的增加,鸭肉的TBA值逐渐下降。与对照组相比,鸭肉的TBA值由开始的0.72 mg MDA/kg下降到0.30 mg MDA/kg,变化极显著($P<0.01$)。当氯化钙替代比为5%时,TBA值较对照组变化极显著($P<0.01$),当氯化钙替代比增加到10%时,TBA值与氯化钙替代比为5%时相比变化显著($P<0.05$)。此后,随着氯化钙替代比的增加,TBA值显著下降($P<0.05$)。

2.3 氯化钾、氯化钙混合替代比对鸭肉感官品质的影响

表3 氯化钾、氯化钙混合替代比对鸭肉感官品质的影响

Table 3 Effect of substitution with KCl and CaCl₂ on sensory quality of duck meat

处理组	咸度	苦味	香气	总体可接受度
对照	3.35±0.66 ^a	2.32±0.38 ^a	4.32±0.49 ^a	4.02±0.54 ^a
1	3.10±0.62 ^{ab}	1.92±0.43 ^b	4.06±0.63 ^a	3.57±0.52 ^a
2	2.77±0.33 ^{bc}	2.06±0.43 ^{ab}	3.96±0.58 ^a	3.14±0.28 ^b
3	2.85±0.41 ^{bc}	1.87±0.40 ^b	3.93±0.67 ^a	2.87±0.52 ^b
4	2.48±0.30 ^c	1.81±0.44 ^b	3.90±0.46 ^a	2.78±0.62 ^b

注:同列不同字母,表示差异显著($P<0.05$)。

由表3可知,对照组咸度最大,但与处理组1中鸭肉的咸度值相比,二者无显著差异($P>0.05$)。此后,随着氯化钙替代比增加,咸度值与对照组相比均

显著下降 ($P < 0.05$)。苦味值随着氯化钙替代比的增加而降低,且与对照组相比,处理组1苦味差异显著 ($P < 0.05$);香气值随着氯化钙替代比的增加而略有下降,但各组之间差异不显著。处理组1的总体可接受度与对照组差异不显著 ($P > 0.05$),但显著高于其他处理组。

2.4 氯化钾、氯化钙混合替代比对鸭肉挥发性风味物质的影响

表4 氯化钾、氯化钙混合替代比对鸭肉挥发性风味化合物含量的影响
Table 4 Effect of substitution with KCl and CaCl₂ on volatile flavor compounds of duck meat

处理组	相对含量/%					
	醛类	酮类	醇类	烃类	酯类	杂环类
对照	35.54	0.22	0.84	60.80	1.57	5.59
1	24.91	0.27	1.13	34.85	—	2.81
2	21.84	0.19	0.52	16.60	—	1.41
3	19.96	0.16	0.59	16.62	—	1.28
4	17.65	0.15	0.33	12.91	—	0.84

注:—.没有测出。

由表4可知,检测到的挥发性化合物主要是醛类、醇类、酮类、烃类和杂环类,均系脂肪酸降解产物,这和Wu等^[20]报道的结果一致。醛类、烃类、酯类、杂环类含量随着氯化钙替代比的增加而减少,这可能与鸭肉中氯化钠被替代后脂肪氧化作用的减弱有关。与对照组相比,处理组1中的醛类含量大量下降,此后随着氯化钙替代比的增加,醛类物质下降缓慢。醛类物质作为脂质降解的主要产物之一,当其含量处在一定范围内时对新鲜肉制品的风味品质有积极的作用,一旦含量过高,其本身很低的气味阈值会使其掩盖杂环和非杂环化合物产生的理想香气。处理组1中,酮类、醇类物质含量最高,但与对照组相比差别不大,此后酮类和醇类物质随着氯化钙替代比的增加而减少。上述结果表明,氯化钙适量替代氯化钠能有效改善鸭肉中各风味物质的含量。

结合脂肪氧化指标和风味指标可以看出,处理组1,即氯化钙替代比为5%,相应氯化钾替代比为35%时,替代效果较好。

2.5 氯化钾、氯化钙较佳混合替代比下风味物质的分析

表5 氯化钾、氯化钙替代比分别为35%、5%时挥发性风味化合物的分析结果

Table 5 Volatile flavor compounds of duck meat with NaCl substitution by 35% KCl and 5% CaCl₂

序号	化合物	感觉阈值 ^[21] ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	对照		35%氯化钾+ 5%氯化钙	
			峰面积百分比/%	ROAV	峰面积百分比/%	ROAV
1	己醛	4.5	16.40	100	11.50	70.12
2	庚醛	3	1.12	10.24	1.25	11.43
3	(Z)-2-庚烯醛	13	0.30	0.63	ND	ND
4	苯甲醛	350	2.27	0.18	1.58	0.12
5	辛醛	0.7	1.70	66.64	1.11	43.51
6	(E)-2-辛烯醛	3	0.60	5.49	0.26	2.38

续表2

序号	化合物	感觉阈值 ^[21] ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	对照		35%氯化钾+ 5%氯化钙	
			峰面积百分比/%	ROAV	峰面积百分比/%	ROAV
7	水杨醛	—	2.47	—	0.86	—
8	壬醛	1	9.17	251.62	7.61	208.81
9	(E)-2-壬烯醛	0.08	0.25	85.75	0.12	41.16
10	癸醛	0.2	0.39	53.51	0.19	26.07
11	2,4-癸二烯醛	0.07	0.12	47.04	0.12	47.04
12	十二醛	2	0.48	6.59	0.31	4.25
13	乙苯	29	0.15	0.14	0.35	0.33
14	α -蒎烯	6	0.85	3.89	1.48	6.77
15	2-庚酮	140	0.22	0.55	0.27	0.05
16	己内酯	130 000	1.57	<0.01	ND	ND
17	2-戊基呋喃	6	0.44	3.38	0.40	1.83
18	苯并噻唑	80	5.15	0.04	2.41	0.83
19	1-甲基环丙基甲醇		0.84		0.82	
20	1-环戊基-2-丙稀基-1-醇		ND		0.31	
21	辛烷		2.82		5.24	
22	对二甲苯		0.74		0.80	
23	壬烷		0.11		0.12	
24	1-亚甲基-1H-茚		1.24		0.58	
25	2-甲基萘		9.83		4.43	
26	甲基萘		4.54		1.67	
27	联苯		0.91		0.48	
28	2-乙基萘		2.42		0.70	
29	1,7-二甲基萘		8.55		4.31	
30	2,6-二甲基萘		10.76		4.43	
31	1,4-二甲基萘		3.58		1.48	
32	3-甲基-1,1'-联苯		0.98		1.19	
33	2-(1-甲基乙基)-萘		1.42		0.88	
34	1-甲基-3-(苯基甲基)-萘		1.70		0.76	
35	1,4,5-三甲基萘		2.88		1.43	
36	3-(2-甲基丙稀基)-1H-茚		1.31		1.31	
37	2,3,6-三甲基萘		2.51		0.46	
38	1,6,7-三甲基萘		0.03		ND	
39	1-甲基-4-(1-甲基乙基)环己烯		0.24		ND	
40	1,2,4-三甲基苯		ND		0.18	
41	1,3-二氯苯		ND		0.27	
42	2-氯苯甲醛		0.27		ND	

注:ND.未检出;—.无法查到该化合物的感觉阈值而未作分析。

由表5可知,对照组和替代组的鸭肉样品中共检测出42种挥发性风味物质,其中包括醛类13种、醇类2种、烃类23种、酮类1种、杂环类2种及酯类1种。主体风味成分有11种($\text{ROAV} \geq 1$),分别是己醛、庚醛、辛醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、(E)-2-壬烯醛、癸醛、2,4-癸二烯醛、十二醛、 α -蒎烯、2-戊基呋喃。(Z)-2-庚烯醛、苯甲醛、乙苯、2-庚酮、苯并噻唑对总体风味发挥着重要的修饰作用($0.1 \leq \text{ROAV} \leq 1$)。用5%氯化钙替代后,醛类物质除庚醛外含量均有所下降。醛类作为脂肪氧化和降解的主要产物,可能与物种的特征性有关^[22]。它们由于拥有较低的气味阈值而对肉制品的香味产生很大影响,是形成过熟味^[23]和肉类风味腐



败^[24]的主要原因。本次仅检测到2种醇类物质,且它们的阈值相对较高,其风味在肉制品中被认为并不十分重要^[25]。两组鸭肉样品中,都检测出了大量的烃类物质,并且与对照组相比,5%氯化钙、35%氯化钾替代组中辛烷、 α -蒎烯和3-甲基-1,1'-联苯的含量有所增加。大部分烃类也来源于脂肪氧化,虽然它们的阈值较高,对鸭肉总体风味贡献不大,但有些烃类可能是形成杂环化合物的重要中间体,有利于提高鸭肉的整体风味质量^[26-27]。

3 结论

3.1 氯化钾单独替代或与氯化钙共同替代氯化钠都能显著减弱鸭肉中的脂肪氧化。氯化钾单独替代时,鸭肉的POV和TBA值均随着氯化钾替代比的增加而减小,最佳替代比为40%。氯化钾、氯化钙共同替代时,鸭肉的POV随着替代物中氯化钙替代比的增加先减小后增大,TBA值则随着氯化钙替代比的增大而减小。与对照组相比,氯化钙的替代降低了鸭肉中醛类等风味化合物的含量,但在感官方面改善了氯化钾替代时造成的苦味。经各指标综合分析可知,氯化钙替代比5%、氯化钾替代比35%时,这是不影响鸭肉感官品质的情况下降低钠盐含量的最佳替代水平。

3.2 5%氯化钙、35%氯化钾替代组和对照组鸭肉中共检测出42种挥发性化合物,其中大部分为醛类物质。作为脂肪氧化的主要产物之一,醛类及相关化合物由于具有很低的气味阈值,可能会掩盖其他风味化合物产生的理想香气。与对照组相比,5%氯化钙、35%氯化钾替代组中醛类物质大量下降,对鸭肉整体风味的形成起了重要的调节作用。

参考文献:

[1] ARMENTEROS M, ARISTOY M C, BATAT J M, et al. Biochemical changes in dry-cured loins salted with partial replacements of NaCl by KCl[J]. Food Chemistry, 2009, 117(4): 627-633.

[2] DICKINSON B D, HAVAS S. Reducing the population burden of cardiovascular disease by reducing sodium intake: a report of the council on science and public health[J]. Archives of Internal Medicine, 2007, 167: 1460-1468.

[3] FERNANDES-GINES J M, FERNANDEZ-LOPEZ J, SAYAS-BARBERA E, et al. Meat products as functional foods: a review[J]. Journal of Food Science, 2005, 70: 37-43.

[4] RHEE K S, SMITH G C, TERRELL R N, et al. Effect of reduction and replacement of sodium chloride on rancidity development in raw and cooked ground pork[J]. Journal of Food Protection, 1983, 46: 578-581.

[5] TOLDRA F, BARAT J M. Recent patents for sodium reduction in foods[J]. Food Nutrition and Agriculture, 2009, 1: 80-86.

[6] LI N, PRESCOTT J, WU Y, et al. The effects of a reduced-sodium high-potassium salt substitute on food taste and acceptability in rural northern China[J]. British Journal of Nutrition, 2009, 101: 1088-1093.

[7] LIEM D G, MIREMADI F, KEAST R S J. Reducing sodium in foods: the effect on flavour[J]. Nutrients, 2011, 3: 694-711.

[8] GELEIJNSE J M, WITTEMAN J C, STIJNEN T, et al. Sodium and potassium intake and risk of cardiovascular events and all-cause mortality: the Rotterdam study[J]. European Journal of Epidemiology, 2007, 22: 763-770.

[9] PARK J N, HWANG K T, KIM S B, et al. Partial replacement of NaCl by KCl in salted mackerel (*Scomber japonicus*) fillet products: effect on sensory acceptance and lipid oxidation[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2009, 44: 1572-1578.

[10] CAMPAGNOL P C B, DOS SANTOS B A, WAGNER R, et al. The effect of yeast extract addition on quality of fermented sausages at low NaCl content[J]. Meat Science, 2011, 87: 290-298.

[11] GELABERT J, GOU P, GUERRERO L, et al. Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages[J]. Meat Science, 2003, 65: 833-839.

[12] ALINO M, GRAU R, FUENTES A, et al. Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham process[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99: 198-205.

[13] POJEDINEC S L, SLIDER S D, KENNEY P B, et al. Carcass maturity and dicationic salts affect preblended, low-fat, low-sodium restructured beef[J]. Meat Science, 2011, 88: 122-127.

[14] 于海, 秦春君, 葛庆丰, 等. 中式香肠加工及贮藏中脂肪氧化对其品质特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 119-125.

[15] MIELNIK M B, OLSEN E, VOGT G, et al. Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat[J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(3): 191-198.

[16] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: "ROAV"法[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370-374.

[17] GUADAGNI D G, BUTTERY R G, TURNBAUGH J G. Odors thresholds and similarity ratings of some potato chip components[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1972, 23: 1435-1444.

[18] VISESSANGUAN W, BENJAKUL S, RIEBROY S, et al. Changes in lipid composition and fatty acid profile of Nham, a Thai fermented pork sausage, during fermentation[J]. Food Chemistry, 2006, 94: 580-588.

[19] 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: 1225-1230.

[20] WU C M, LIU S E. Volatile components of water-boiled duck meat and Cantonese style roasted duck[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40: 838-840.

[21] MOTTRAM D S. Flavor formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62: 415-24.

[22] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 25-32.

[23] TIMS M J, WATTS B M. Protection of cooked meats with phosphates[J]. Food Technology, 1958, 12(5): 240-243.

[24] DRUMM T D, SPANIER A M. Changes in the content of lipid auto-oxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39: 336-343.

[25] VESTERGAARD C S, SCHIVAZAPPA C, VIRGILLI R. Lipolysis in dry-cured ham maturation[J]. Meat Science, 2000, 55: 1-5.

[26] 何香, 许时纓. 蒸煮鸡肉的挥发性香气成分[J]. 无锡轻工大学学报, 2001, 20(5): 497-499.

[27] 刘源, 周光宏, 徐幸莲, 等. 顶空固相微萃取气质联用检测鸭肉挥发性风味成分[J]. 江苏农业学报, 2005, 21(2): 131-136.