

腌制剂不同影响中式发酵香肠挥发性成分的组成

陈肖, 余翔, 王永丽, 唐静, 章建浩*

(国家肉品质量安全控制工程技术研究中心, 教育部肉品加工与质量控制重点实验室,
农业部农畜产品加工与质量控制重点开放实验室, 南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 利用固相微萃取-气相色谱-质谱联用提取并分析发酵香肠中的挥发性物质, 并探讨3种不同的腌制剂(硝酸钠、亚硝酸钠、亚硝酸盐和抗坏血酸钠)对香肠风味物质, 尤其是来源于支链氨基酸的风味成分的影响。结果表明腌制剂确实会对香肠中的风味物质含量产生一定的影响, 且硝酸钠作为腌制剂更有利于乙酸乙酯、丁酸、2-丁酮、2-戊酮、2-庚酮、正己醇、正戊醇等风味物质的形成。

关键词: 固相微萃取-气相色谱-质谱; 挥发性物质; 发酵香肠

Effects of Different Curing Agents on Volatile Compounds of Chinese Fermented Sausages

CHEN Xiao, YU Xiang, WANG Yong-li, TANG Jing, ZHANG Jian-hao*

(National Center of Meat Quality and Safety Control, Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Key Laboratory of Food Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The volatile compounds in Chinese fermented sausages cured with three different curing agents (sodium nitrate, sodium nitrite, and their combination) were extracted and analyzed by SPME-GC-MS, and the effects of these curing agents on flavor compounds including those derived from branch-chain amino acids were explored. The results showed that the curing agents affected the content of flavor compounds. Sodium nitrate contributed to the formation of flavor compounds such as ethyl acetate, butanoic acid, 2-butanone, 2-pentanone, 2-heptanone, 1-hexanol, 1-pentanol, etc.

Key words: solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS); volatile compounds; fermented sausages

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)20-0153-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201420031

腌制, 通常理解为将食盐、亚硝酸盐或硝酸盐加入香肠肉馅中以促进香肠质地、风味、色泽等变化的过程^[1], 在发酵香肠的制作过程中常见。同时, 腌制也作为一种较好的保藏技术自古以来广泛应用, 以延长发酵香肠的货架期。在北欧地区, 亚硝酸盐更受欢迎, 而在欧洲南部, 硝酸盐则独树一帜。亚硝酸盐(硝酸盐)在腌制肉制品中的作用已经历多年研究, 可以总结为以下几点: 促进典型性红色的形成; 抑制腐败菌和致病菌的生长; 有助于特征性腌制风味形成; 延迟氧化腐败^[2]。通常情况下也会加入抗坏血酸盐以促进亚硝酸盐(硝酸盐)的发色作用^[3]。根据GB 2760—2007《食品添加剂使用卫生标准》规定, 肉品腌渍时可以添加硝酸盐或亚硝酸盐作为

发色剂, 但硝酸盐的最大使用量为0.50 g/kg, 亚硝酸盐的最大使用量为0.15 g/kg。

发酵香肠的典型性风味不是由单一成分体现出来的, 而是多种物质综合作用的结果。在发酵香肠中检测到的几百种挥发性物质中, 不是所有这些物质都在风味的形成过程中发挥作用。有很多物质因为具有较高的阈值而不能在香肠中体现出它的气味。影响发酵香肠风味物质产生的因素有很多, Wirth^[4]早在1991年就曾提出硝酸盐相较于亚硝酸盐对于发酵肉制品风味物质的产生发挥重要作用, 但尚缺乏科学依据; Olesen等^[5]通过研究抗坏血酸钠、硝酸盐、亚硝酸盐及发酵剂对于干发酵香肠挥发性风味成分含量的影响, 发现抗坏血酸钠与亚硝酸

收稿日期: 2014-02-11

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD28B01); 公益性行业(农业)科研专项(201303082-2)

作者简介: 陈肖(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: 2012108075@njau.edu.cn

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

盐相结合时会显著降低3-甲基丁酸的含量; José等^[6]综合研究硝酸钠和亚硝酸钠对于干发酵香肠理化指标及感官的影响, 研究表明硝酸盐和亚硝酸盐对于香肠的感官影响作用有限但对于来源于微生物生长和代谢的风味物质的产生影响显著。除了上述腌制剂外, 氯化钠的含量、脂肪含量、风干条件、成熟时间及发酵剂种类等都会影响风味物质的含量。Misharina^[7]与Sunesen^[8]等研究表明延长香肠的成熟时间会使绝大部分风味物质的浓度增加。木糖葡萄球菌和肉糖葡萄球菌有利于促进甲基酮类、乙基酯类以及亮氨酸降解产物的生成, 从而增强干salami的风味^[5]。支链氨基酸 (branched chain amino acids, BCAAs) 如亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸可由这2种菌降解为甲基醛类、醇类和酸类物质^[9-10]。而在国内, 对于发酵香肠风味影响因素的探讨主要集中在发酵剂对其产生的影响, 鲜见关于腌制剂的研究。本实验将着手于3种不同腌制剂 (硝酸钠、亚硝酸钠、亚硝酸钠和抗坏血酸钠) 对于中式香肠风味物质尤其是来源于BCAAs的挥发性成分的影响。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

猪肉、猪背膘 南京市天盾农贸市场苏食冷鲜肉专卖店; 食盐、葡萄糖、太太乐大蒜粉、味精、味美白胡椒粉 南京市苏果超市; 三聚磷酸钠、亚硝酸钠、硝酸钠、L-抗坏血酸钠 南京寿德试验器材有限公司; 乳酸菌发酵剂 (含植物乳杆菌4045、肉糖葡萄球菌、木糖葡萄球菌 上海润盈生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

RYJ-120型绞肉机 南京瑞恒食品机械厂; ZB-125型斩拌、TY-160型灌肠机 南京舜天食品机械厂; JA2203N电子天平 上海民桥精密科学仪器有限公司; PHS-3CWpH计型 上海里达精密仪器仪表有限公司; 101-O-S电热恒温鼓风干燥箱 上海跃进医疗器械厂; SPX-250C型恒温恒湿箱 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; SW-CJ-IFD型单人单面净化工作台 苏州净化设备有限公司; DSQ II单四极杆气相色谱-质谱联用仪、TRIPLUS-AS型固相微萃取进样器 美国Thermo公司; 75 μ m Carboxen-PDMS萃取头 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 发酵香肠的制备

1.3.1.1 基本配方

表 1 3组香肠肉馅组成

Table 1 Ingredients of and starter cultures for fermented sausages

配料	含量
猪瘦肉质量分数/%	75
猪背膘质量分数/%	25
食盐质量分数/%	2.0
葡萄糖质量分数/%	0.8
三聚磷酸钠质量分数/%	0.3
大蒜粉质量分数/%	0.3
味精质量分数/%	0.25
白胡椒粉质量分数/%	0.3
硝酸钠添加量/(mg/kg)	0/600 ^a
亚硝酸钠添加量/(mg/kg)	0/150 ^a
L-抗坏血酸钠添加量/(mg/kg)	0/500 ^a
植物乳杆菌4045/(CFU/g)	$\approx 5 \times 10^6$
木糖葡萄球菌/(CFU/g)	$\approx 5 \times 10^6$
肉糖葡萄球菌/(CFU/g)	$\approx 5 \times 10^6$

注: a. 按指定添加量添加。

1.3.1.2 香肠制作

将买来的新鲜猪肉瘦肉与肥膘丁分离, 肥膘丁置于-30℃条件下备用^[11]。将瘦肉绞碎并于绞制的过程中加入各种辅料, 腌制48 h, 接入菌种, 混匀后填充至48 mm胶原蛋白肠衣中。将灌好的香肠悬挂于恒温恒湿箱中风干成熟。发酵过程: 24℃, 92%~96%相对湿度 (relative humidity, RH) 48 h; 20℃, 83%~88% RH, 72 h; 18℃, 79%~83% RH, 96 h。成熟过程: 15℃, 74%~77% RH, 14 d。香肠发酵成熟后真空包装并贮藏于-20℃冰箱中备用。

1.3.2 香肠理化及微生物分析

水分含量测定参照GB/T 9695.15—2008《肉与肉制品水分含量测定》; 水分活度 (water activity, a_w) 测定利用水分活度仪在25℃条件下进行; pH值测定利用插入式pH计, 肉馅与水的质量比为1:1。

对于发酵香肠来说, 乳酸菌的正常生长是保证香肠品质的重要前提, 而葡萄球菌则是重要的“呈香菌”, 因此监测这2种菌种的生长状况对于香肠形成良好风味非常重要。微生物分析采用平板菌落计数法: 以无菌操作准确称取肉样20.0 g于均质袋中, 加入180 mL生理盐水, 用拍击式均质器拍打2~3 min制成1:10样品匀液, 然后10倍梯度稀释, 取3个合适的梯度培养。乳酸菌选用MRS琼脂培养基, 葡萄球菌选用MSA琼脂培养基, 30℃条件下培养3 d。

1.3.3 香肠挥发性物质的萃取与分析

采用固相微萃取 (solid phase micro-extraction, SPME) 法提取挥发性物质^[6,12-13]。将冷冻的香肠绞碎, 准确称取3.00 g于20 mL萃取瓶中, 并用聚硅酮隔膜密封, 复合式萃取头穿过隔膜插入到萃取瓶, 暴露于萃取瓶顶部空间, 在60℃水浴中振荡加热40 min。在收集挥

发性物质前, 萃取头预先放置在气相进口处, 于220 °C条件下加热50 min。

利用气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用仪分析挥发性风味物质。被萃取头吸附的物质从GC的进样口于220 °C条件下解吸6 min。用于分离挥发性物质的毛细管柱为DB-624 (50 m×0.32 mm, 1.05 μm); 氦气作为载气, 流速设定为0.3 mL/min; 进样口温度为220 °C采用不分流进样模式; GC采用3段式程序升温: 初始温度为38 °C并保持13 min; 持续增加至110 °C, 升温速率为3 °C/min; 之后上升至150 °C, 4 °C/min; 最后温度达到210 °C, 10 °C/min, 并保持5 min^[14]。电子电离源; 电子能量为70 eV; 质量扫描范围 m/z 40~300。

利用计算机比较样品和Mainlib、Nlstdemo、Replib、Willey 4个标准谱库的质谱数据进行成分鉴定, 以相似指数和反相似指数均大于800作为定性依据。

1.4 数据分析

每个处理组3个重复。所有实验数据用Microsoft Excel进行统计出来, SAS 9.2统计软件进行单因素方差分析, 平均值之间利用Fisher's最小显著差异法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 理化及微生物分析结果

香肠风干成熟过程中的pH值与 a_w 值是检测香肠品质稳定与安全的2个基本指标^[15]。pH值变化如图1所示, a_w 值变化如图2所示。

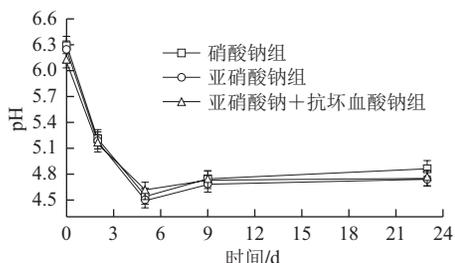


图1 香肠各处理风干成熟过程中pH值的变化

Fig.1 Change in pH of fermented sausages with added different curing agents during ripening

从图1可以看出, 由于乳酸菌的生长, 香肠的pH值迅速下降到4.5左右, 在之后的成熟过程中, pH值又出现缓慢地小幅度增加, 这主要是由于在后期乳酸菌生长受限及胺类物质产生^[16]。在3个处理组中, 亚硝酸钠组pH值稍高于硝酸钠组, 这可能与亚硝酸钠的抑菌性有关, 但差异并不显著^[17]。

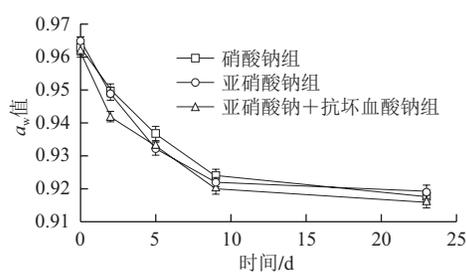


图2 香肠各处理风干成熟过程中 a_w 值的变化

Fig.2 Change in a_w of fermented sausages with added different curing agents during ripening

发酵香肠中抑制腐败的栅栏因子有亚硝酸盐、氧化还原电位、竞争性菌落、 a_w 值和pH值等, 而 a_w 值是唯一一个作用逐渐增加的防腐栅栏因子, 大部分的腐败菌在 a_w 值低于0.9时就会停止生长^[18], 而本实验的3个处理组别的 a_w 值虽然没有达到0.9以下, 但已经是较低的水平 (低于0.92), 这对发酵香肠的贮藏性起到很大作用。3个处理组别 a_w 值均呈现不断下降趋势, 且程度类似, 没有表现出显著的差异性 ($P>0.05$)。在风干成熟的第2天, a_w 值存在差异, 并且硝酸钠与亚硝酸钠作为腌制剂的香肠 a_w 值高于加入了抗坏血酸钠的香肠 a_w 值, 目前原因尚不清楚。

在微生物方面, 乳酸菌与葡萄球菌从第2天开始都经历快速增殖, 并在后期呈现出小幅度下降趋势。其中乳酸菌增长到8 (lg (CFU/g)) 左右, 且亚硝酸钠组 (亚硝酸钠组与亚硝酸钠+抗坏血酸钠组) 乳酸菌菌落数稍低于硝酸钠组, 这也与pH值的变化相一致。葡萄球菌增长到6 (lg (CFU/g)), 并未表现出明显差异。充分证明发酵香肠中乳酸菌的优势地位, 也解释了pH值出现的迅速下降的事实。

2.2 挥发性物质分析

在检测出的挥发性风味物质中, 为更好地研究来源于香肠各生化反应的风味成分, 根据Berger等^[19]研究, 剔除掉来源于香辛料的风味物质如肉豆蔻醚、香叶丙酮、吡嗪类、萜烯类及来源于大蒜粉的大多数含硫化物之后, 共鉴定出35种成分。并根据这些物质可能的来源分为5组: 碳水化合物分解代谢 (7)、氨基酸代谢 (13)、脂肪酸降解 (9)、次级代谢酯类物质 (3)、其他来源 (3)、不同腌制剂对于香肠中挥发性物质的影响见表2。

腌制剂对于香肠挥发性风味物质的形成具有显著影响 (表2)。几乎在所有的来源于BCAAs (亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸) 代谢的挥发性物质中, 硝酸钠腌制组中的浓度均高于亚硝酸钠腌制组, 除了2-甲基丙醇、苯乙醛和乙酰苯外, 且这3种物质在亚硝酸钠腌制组的优势作用并不显著 ($P>0.05$)。这种现象可以解释为由于亚硝酸钠对于BCAAs降解具有负面影响, 从而显现出硝酸钠的促进作用。当然, 这也与葡萄球菌有很大关系。在氧气存在时, 部分葡萄球菌 (其中包括肉糖葡萄球菌)

会利用硝酸钠或亚硝酸钠作为电子受体进行代谢作用,促进风味物质的形成。而早在1996年,有学者就发现肉糖葡萄球菌更倾向于硝酸钠作为它的受体而不是亚硝酸钠。2-甲基丙酸、3-甲基丁酸和2-甲基丁酸分别来源于缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸的微生物代谢作用,对于香肠风味物质的形成期重要作用。原因有三:一是这几种植物对于香肠典型性“sweet”香味的形成具有重要作用;二是它们具有较低的阈值;三是上述3种物质还可以转化为水果味的酯类物质,对于风味有积极影响^[17]。另外,几乎在所有香肠中都会出现的苦杏仁味是有苯甲醛带来的,因此被认定为是一种赋予猪肉特殊气味的物质。它在硝酸钠组中的含量也高于亚硝酸钠组,但差异并不显著($P>0.05$)。

表2 不同腌制剂处理香肠顶部空间鉴别得到的挥发性物质

Table 2 Volatile compounds identified in the headspace of fermented sausages with added different curing agents

K.I	挥发性物质及其来源 ^[19]	3组不同腌制剂处理香肠峰度值($\times 10^{-4}$)			显著性	
		硝酸钠组	亚硝酸钠组	亚硝酸钠+抗坏血酸钠组		
碳水化合物分解代谢						
887	ethanol	乙醇	13.11	12.87	12.56	ns
888	ethyl acetate	乙酸乙酯	8.37 ^a	5.59 ^b	5.43 ^b	*
954	2,3-butanedione	双乙酰	0.52	0.65	0.59	ns
1370	acetic acid	乙酸	1447.65	1295.19	1228.50	ns
1246	3-hydroxy-2-butanone	3-羟基-2-丁酮	15.12 ^b	17.35 ^b	25.64 ^a	*
1577	butanoic acid	丁酸	82.45	80.23	74.72	ns
1540	2,3-butanediol	2,3-丁二醇	1.63 ^a	0.26 ^b	1.22 ^a	*
氨基酸代谢						
787	2-methylpropanal	2-甲基丙醛	7.42	5.59	7.38	ns
1070	2-methyl-1-propanol	2-甲基丙醇	0.20	0.31	0.36	ns
897	3-methylbutanal	3-甲基丁醛	8.89 ^a	4.31 ^b	4.52 ^b	*
880	2-methylbutanal	2-甲基丁醛	4.21 ^a	2.19 ^b	2.28 ^b	*
1190	3-methyl-1-butanol	3-甲基丁醇	4.26 ^a	2.18 ^b	4.21 ^a	*
1082	2-methyl-1-butanol	2-甲基丁醇	0.561 ^a	0.253 ^b	0.524 ^a	*
1521	2-methylpropanoic acid	2-甲基丙酸	0.16	0.09	0.07	ns
1617	3-methylbutanoic acid	3-甲基丁酸	4.12 ^a	2.08 ^b	2.21 ^b	*
1605	2-methylbutanoic acid	2-甲基丁酸	0.43 ^a	0.27 ^b	0.29 ^b	*
1542	3-(methylthio)-propanal	3-甲硫基丙醛	9.89 ^a	6.24 ^b	16.66 ^{ab}	*
1465	benzaldehyde	苯甲醛	1.80	1.25	1.01	ns
1579	benzenecetaldehyde	苯乙醛	3.69	3.92	3.74	ns
1664	acetophenone	乙酰苯	3.71	3.73	3.82	ns
脂肪酸降解						
850	2-butanone	2-丁酮	39.60 ^{ab}	28.96 ^a	19.78 ^b	*
896	2-pentanone	2-戊酮	9.44 ^a	9.32 ^a	5.76 ^b	*
975	pentanal	戊醛	18.82	21.23	23.01	ns
1231	heptanal	庚醛	14.63	16.07	17.14	ns
1165	2-heptanone	2-庚酮	14.58 ^a	7.88 ^b	5.75 ^b	**
1345	1-hexanol	正己醇	28.19 ^a	18.37 ^b	16.77 ^b	**
1065	hexanal	己醛	72.90	85.67	83.03	ns
1104	1-pentanol	正戊醇	9.35 ^a	4.05 ^b	3.78 ^b	*
1035	2,3-pentandione	2,3-戊二酮	0.17	0.21	0.15	ns
次级代谢酯类物质						
954	methyl butanoate	甲基丁酸甲酯	0.04	0.04	0.08	ns
968	ethyl butanoate	乙基丁酸甲酯	0.28	0.19	0.21	ns
1057	ethyl 3-methylbutanoate	3-甲基乙基丁酸甲酯	0.03 ^a	0.009 ^b	0.018 ^a	*
其他来源						
987	1-hydroxy-2-propanone	1-羟基-2-丙酮	18.59	16.94	17.13	ns
1875	toluene	甲苯	1.82	1.93	1.85	ns
1942	phenol	苯酚	0.34	0.37	0.31	ns

注: K.I. Kovats Index, 科瓦茨保留指数; 同行肩标不同字母表示差异显著; ** 差异极显著($P<0.01$); * 差异显著($P<0.05$); ns 差异不显著($P>0.05$)。

同时,对于碳水化合物代谢产物来说,硝酸钠对于支链酸类和醇类物质也具有促进作用。硝酸钠腌制组中乙酸乙酯的浓度明显地高于亚硝酸钠腌制组。这与乙酸呈现出的趋势一致,因为乙酸乙酯来源于乙酸。与此同时,作为重要的风味物质,双乙酰在硝酸钠腌制组的含量低于亚硝酸钠腌制组($P>0.05$),而双乙酰的还原形态3-羟基-2-丁酮的含量在亚硝酸钠腌制组中显著高于硝酸钠腌制组($P<0.05$)。而丁酸作为赋予香肠重要的发酵酸味和奶酪味的物质,在硝酸钠组中的含量稍高于亚硝酸钠组。

大多数醛类物质来自于脂肪氧化。其中己醛、庚醛在硝酸钠组中的含量低于亚硝酸钠组,它们作为重要的脂肪降解产物,同时也是香肠中某些令人不愉快的味道产生的原因。2-丁酮、2-戊酮、2-庚酮、正己醇、正戊醇等在硝酸钠腌制组中含量高于亚硝酸钠腌制组,可能的原因是亚硝酸钠与抗坏血酸钠的抗氧化性部分抑制了脂肪酸的氧化降解或者是硝酸钠具有氧化作用。加入抗坏血酸钠的亚硝酸钠腌制组中上述5种物质含量降低幅度更大,进一步解释了上述问题。其中2-庚酮对于香肠风味贡献不大,因为它们具有很高的阈值。Sunesen等^[8]的研究结果也认为作为抗氧化剂的抗坏血酸钠低于模型香肠中脂肪氧化具有很强的抑制作用。

在其他的成分中,除了3-甲基乙基丁酸甲酯,3个处理组别并未表现出显著差异。3-甲基丁醛、2-甲基丁醛以及双乙酰是对于发酵香肠的风味形成贡献最大的挥发性成分,因为它们具有很高的亲油性,并且在香肠风干成熟伊始就开始形成。另外还有在发酵成熟后期形成的戊醛、己醛、3-甲基乙基丁酸甲酯、3-甲基丁酸与2-甲基丙酸伊始重要的风味贡献者^[20]。

3 结论

腌制条件确实会对香肠风味物质的形成产生影响。在促进香肠中重要的来源于BCAAs的风味物质产生过程中,硝酸钠比亚硝酸钠更具优势,而抗坏血酸钠的主要作用则是抑制脂肪氧化。但这并不能说明硝酸钠作为腌制剂就是最佳选择,还应根据保质期、消费者接受程度、生产成本等综合因素考虑。

参考文献:

- [1] PELLE T O, ANNE S M, LOUISE H S. Generation of flavour compounds in fermented sausages: the influence of curing ingredients, *Staphylococcus* starter culture and ripening time[J]. Meat Science, 2004, 66(3): 675-687.
- [2] TSOUKALAS D S, KATSANIDIS E, BLOUKAS J G, et al. Effect of freeze-dried leek powder (FDLP) and nitrite level on processing and quality characteristics of fermented sausages[J]. Meat Science, 2011, 87(2): 140-145.

- [3] LUCKE F K. Fermented sausages[M]. London: Blackie Academic & Professional, 1998.
- [4] WIRTH F. Restricting and dispensing with curing agents in meat products[J]. *Fleischwirtschaft*, 1991, 71(2): 1051-1054.
- [5] OLESEN P, TALON R, STAHNKE L. Effect of ascorbate, nitrate and nitrite on the amount of flavour compounds produced from leucine by *Staphylococcus xylosum* and *Staphylococcus carnosus*[J]. *Meat Science*, 2004, 68(2): 193-200.
- [6] JOSÉ M, NAVARRO L, FLORES M. The influence of nitrite and nitrate on microbial, chemical and sensory parameters of slow dry fermented sausage[J]. *Meat Science*, 2006, 73(4): 660-673.
- [7] MISHARIAN T A, ANDREENKOV V A, VASHCHUK E A. Changes in the composition of volatile compounds during aging of dry-cured sausages[J]. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2001, 37(8): 413-418.
- [8] SUNESEN L O, DORIGONI V, STAHNKE L, et al. Volatile compounds released during ripening in Italian dried sausage[J]. *Meat Science*, 2001, 58(3): 93-97.
- [9] BECK H C, HANSEN A M, LAURITSEN F R. Metabolite production and kinetics of branched-chain aldehyde oxidation in *Staphylococcus xylosum*[J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2002, 31(5): 94-101.
- [10] LARROUTURE C, ARDAILLON V, MONTEL M C, et al. Ability of meat starter cultures to catabolize leucine and evaluation of the degradation products by using an HPLC method[J]. *Food Microbiology*, 2000, 17(6): 563-570.
- [11] 刘晓丽, 朱晓阳, 王红梅, 等. 利用GC-MS-SPME分析发酵香肠的风味[J]. *肉类工业*, 2008(1): 23-24.
- [12] 黄江艳, 李秀娟, 潘思轶. 固相微萃取技术在食品风味分析中的应用[J]. *食品科学*, 2012, 33(7): 289-298.
- [13] 龙卓姗, 徐玉娟, 潘思轶, 等. 固相微萃取结合嗅觉检测法鉴定广式腊肠活性风味物质[J]. *食品科学*, 2010, 31(8): 194-198.
- [14] ANSORENA D, GIMENO O, ASTIASARAÁN I, et al. Analysis of volatile compounds by GC-MS of a dry fermented sausage: chorizo de Pamplona[J]. *Food Research International*, 2001, 34(1): 67-75.
- [15] SUMMO C, CAPONIO F, TRICARICO F, et al. Evolution of the volatile compounds of ripened sausages as a function of both storage time and composition of packaging atmosphere[J]. *Meat Science*, 2004, 68(2): 193-200.
- [16] AHMAD S, SRIVASTAVA P. Quality and shelf life evaluation of fermented sausages of buffalo meat with different levels of heart and fat[J]. *Meat Science*, 2007, 75(4): 603-609.
- [17] SUN Weizheng, ZHAO Qiangzhong, ZHAO Mouming, et al. Volatile compounds of Cantonese sausage released at different stages of processing and storage[J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(2): 319-325.
- [18] JAIME I, ROVIRA J, SANTOS E, et al. The effect of sugar concentration and starter culture on instrumental and sensory textural properties of chorizo-Spanish dry-cured sausage[J]. *Meat Science*, 2006, 74(3): 467-475.
- [19] BERGER R G, SCHMIDT S. Aroma compounds in fermented sausages of different origins[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 31(6): 559-567.
- [20] FLORES M, NAVARRO L, OLIVARES A. Establishment of the contribution of volatile compounds to the aroma of fermented sausages at different stages of processing and storage[J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(4): 1464-1472.