

咸带鱼加工过程挥发性风味成分的变化

丁丽丽^{1,2}, 吴燕燕¹, 李来好^{1,*}, 杨贤庆¹, 刘法佳^{1,3}, 刁石强¹, 邓建朝¹

(1.中国水产科学研究院南海水产研究所, 国家水产品加工技术研发中心, 广东 广州 510300;

2.上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 3.广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524088)

摘 要: 研究咸带鱼加工过程中挥发性风味成分的变化情况。采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分别检测鲜鱼、腌制、浸泡脱盐、干燥、成品5个加工阶段的挥发性风味成分, 经NIST 05a.L 谱库数据库检索, 确定其风味成分。结果表明: 鲜鱼、腌制、浸泡脱盐、干燥、成品这5个阶段挥发性风味成分种类数分别为49、72、70、75种以及72种。其中, 成品咸鱼中己醛、庚醛、辛醛、壬醛、1-戊烯-3-醇、1-戊醇、己醇以及1-辛烯-3-醇含量较高, 相对含量分别为28.26%、8.64%、6.54%、4.37%、7.34%、3.55%、4.18%和4.72%。腌制和干燥是风味产生的主要加工阶段。醛类、醇类、酮类和烃类是主要的挥发性物质的种类, 其中己醛、庚醛、辛醛、壬醛、1-戊烯-3-醇、1-戊醇、己醇以及1-辛烯-3-醇是咸带鱼风味的主要成分。

关键词: 咸带鱼; 固相微萃取; 气相色谱-质谱法(GC-MS); 挥发性风味成分

Changes of Volatile Flavor Compounds during Salted Hairtail (*Trichiurus haumela*) Processing

DING Li-li^{1,2}, WU Yan-yan¹, LI Lai-hao^{1,*}, YANG Xian-qing¹, LIU Fa-jia^{1,3},

DIAO Shi-qiang¹, DENG Jian-chao¹

(1. National Research and Development Center for Aquatic Product Processing, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. College of Food Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. College of Food Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: In order to know the mechanism of flavor formation and the pathway of salination during salted hairtail processing from fresh hairtail through salting, soaking to desalt and two-stage drying, the changes of main volatile flavor compounds were analyzed. The volatile composition of fresh, salted, desalted, first dried and second dried samples was analyzed by solid phase micro-extraction (SPME) coupled to gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and NIST 05a.L MS spectral library searching and alignment. A total of 49, 72, 70, 75 and 72 compounds were identified in fresh, salted, desalted, first dried and second dried samples of hairtail, respectively. Hexanal, heptanal, octanal, nonanal, 1-penten-3-ol, 1-pentanol, hexanol and 1-octen-3-ol showed a higher level in second dried second dried (final product) with a relative content of 28.26%, 8.64%, 6.54%, 4.37%, 7.34%, 3.55%, 4.18% and 4.72%, respectively. The compounds responsible for the flavor of salted hairtail were mostly formed during salting and drying, consisting mainly of aldehydes, alcohols, ketones and alkanes, including hexanal, heptanal, octanal, nonanal, 1-penten-3-ol, 1-pentanol, hexanol and 1-octen-3-ol.

Key words: salted hairtail (*Trichiurus haumela*); solid phase micro-extraction(SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); volatiles flavor compounds

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)24-0208-05

带鱼(*Trichiurus haumela*), 英文名为 hairtail, 是我国最主要的海产经济鱼类之一, 年产量居全国海产经济鱼类之首, 因其刺少、肉鲜深受人们的喜爱。带鱼的脂肪含量很高, 鱼体表面脂肪容易接触空气加速氧化

易腐烂发臭。腌制不仅能延长贮藏期而且能使产品形成独特的风味。多年来, 一些学者对咸鱼的风味成分做了一定的研究, 总结得出, 咸鱼的风味主要由烃类、醛类、酯类、醇类、酮类、酸类、胺类、含氮和

收稿日期: 2011-06-23

基金项目: 广东省海洋与渔业科技推广专项(A200899G02; A200901G03); 中央级公益性专项资金项目(2007ZD05)

作者简介: 丁丽丽(1986—), 女, 硕士研究生, 主要从事水产品加工与质量安全研究。E-mail: dll19861207@163.com

* 通信作者: 李来好(1963—), 男, 研究员, 博士, 主要从事水产品加工和质量安全研究。E-mail: laihaoli@163.com

含硫化物等其他物质共同作用形成^[1-2]。但是鱼的种类不同,其主体风味成分也不同,如3-甲基丁醛、甲硫醇、二甲基三硫化物、氢化硫、三甲胺、二(甲硫基)甲烷以及(Z)-4-庚醛是腌渍鱼的有效气味成分^[2]。影响腌制金丝鱼风味的主要成分是3-甲基-1-丁醇、1-戊烯-3-醇、1-辛烯-3-醇以及甲基酮和短链不饱和醛类物质^[3]。而有关咸鱼风味的形成过程尚未报道。

本研究采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用法,研究分析咸带鱼从原料到成品的加工过程中风味成分变化情况,探讨咸鱼风味形成的过程,获得咸带鱼风味产生的关键加工步骤,以期为腌制水产品的加工提供理论基础和技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

咸带鱼:体长100cm左右,质量约1000~1200g,由台山市和贵水产有限公司提供。

固相微萃取装置(DVB-PDMS 65 μ m) 美国 Supelco 公司; GCMS-QP2010 气质联用仪 日本岛津公司。

1.2 方法

1.2.1 咸带鱼加工工艺

工艺流程:鲜带鱼→冲洗→加盐(20%)腌制→浸泡脱盐→干燥→成品。

操作要点:将冰鲜带鱼自然解冻后,去内脏,用流动水冲洗干净,放入腌渍池内,采用混合腌制法,用样品质量20%的食盐进行腌制24h后取出,用清水浸泡2~3h,期间换水3次,浸泡脱盐后取出,晾晒到表面干,再移入(28 $\pm$ 2) $^{\circ}$ C烘箱中烘干至鱼体水分含量为35%,取出称量,包装,即为咸鱼成品。

1.2.2 样品预处理

取咸带鱼加工过程中5个阶段的产品的中间部分作为试材。每个阶段抽3条鱼采样,将鱼肉绞碎后混匀制样。这5个阶段分别以A、B、C、D、E表示,每个阶段做2个平行样,取平均值。

A:新鲜带鱼的样品;B:腌制24h后的样品;C:浸泡脱盐后的样品;D:干燥第一阶段的样品(干燥18h);E:成品样品(干燥36h,即干燥第二阶段样品)。

1.2.3 挥发性风味物质富集

将预处理好的样品4g,迅速倒入15mL顶空瓶中,置于磁力搅拌台上,水浴加热并调整固定萃取头的位置。采用顶空固相微萃取法富集鱼肉样中的挥发性物质。待吸附完成后,将萃取头迅速插入到气相色谱仪的进样口,解析5min。

固相微萃取的条件:萃取头:DVB-PDMS 65 μ m;萃取温度:45 $^{\circ}$ C;萃取时间:30min。

1.2.4 挥发性成分的分析鉴定

1.2.4.1 色谱条件

色谱柱:DB-5MS(30m $\times$ 0.25mm,0.25 μ m);进样口温度:250 $^{\circ}$ C;升温程序:35 $^{\circ}$ C保持1min,以5 $^{\circ}$ C/min的速度升温到60 $^{\circ}$ C保持1min,再以6 $^{\circ}$ C/min上升到140 $^{\circ}$ C保持1min,最后以8 $^{\circ}$ C/min升温到230 $^{\circ}$ C,保持5min;载气:氦气;流量为1.0mL/min;采用恒线速度,分流比为1:20。

1.2.4.2 质谱条件

离子源温度:200 $^{\circ}$ C;电子能量70eV;质量扫描范围m/z 35~350,无溶剂切除时间。

1.2.5 数据处理和质谱检索

利用计算机NIST 05a.L谱库数据库检索,通过对质谱图库中的标准谱图进行比较,并结合有关文献进行人工谱图解析来确认咸带鱼加工过程中的挥发性成分,按面积归一化法进行分析,得到各成分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 咸带鱼加工过程挥发性风味成分种类以及相对含量的变化

分别对5个阶段样品进行GC-MS分析,经NIST谱库数据库检索、分析,鉴定出咸带鱼不同加工阶段的

表1 带鱼腌制过程中挥发性化合物的种类及相对含量

Table 1 Changes in composition and relative content of compound classes during salted hairtail processing

化合物种类	A		B		C		D		E	
	种类数量	相对含量/%	种类数量	相对含量/%	种类数量	相对含量/%	种类数量	相对含量/%	种类数量	相对含量/%
醛类	7	36.29	14	55.06	13	40.71	12	55.08	12	57.35
醇类	9	20.18	11	22.79	10	21.84	13	19.71	11	22.87
酮类	8	5.61	10	4.42	14	7.33	17	6.79	13	4.87
烃类	8	11.94	16	10.69	16	16.61	13	8.8	14	7.01
酯类	2	0.25	5	0.39	5	1.68	3	0.83	7	1.54
酸类	1	0.29	1	0.05	1	0.05	2	0.31	1	0.07
胺类	2	7.87	1	0.25	1	0.34	2	0.43	3	0.94
其他	12	10.75	14	5.95	10	11.7	13	5.85	11	4.94

挥发性成分，将这些挥发性成分按结构分类，结果见表 1。

由表 1 可知，在加工过程中，各类挥发性风味成分的种类和相对含量都在发生变化，其中鲜鱼、腌制、浸泡脱盐、干燥、成品 5 个阶段挥发性风味成分种类数分别为 49、72、70、75 种以及 72 种，腌制使得带鱼的挥发性成分的种类增多。新鲜带鱼体内的多不饱和脂肪酸较多，易受内源酶作用产生的中等碳链长度不饱和挥发性羰基化合物和醇类物质，使原料带鱼呈现淡淡的清香气味^[4]。醛类、醇类、酮类以及烃类物质是咸带鱼的挥发性成分的主要物质组成。加工过程中这些物质的变化趋势初步反应了咸带鱼风味的形成过程。

表 1 显示，醛类和醇类物质是咸带鱼中含量最丰富的两种挥发性成分，这两者的总量在加工前后分别占到总挥发性风味成分的 56.47% 和 80.22%。醛类物质由于感觉阈值较低^[5]，并且能在脂质氧化中快速形成，对咸带鱼风味的形成贡献很大。它通常是传统腌腊肉制品的挥发性成分中含量最高的化合物^[6]。它在腌制过程中，可能发生脂肪氧化，烷氧基自由基分解，产生醛类物质^[7]。在浸泡脱盐阶段有可能被水溶液带走，或者进一步氧化为酮类物质使得醛类物质减少。但在干燥阶段，醛类物质呈上升趋势，这可能与蛋白质水解程度有关，干燥条件促进蛋白质水解产生大量游离氨基酸，氨基酸氧化降解形成醛，使得醛类物质大幅增加。这与郇延

表 2 带鱼加工过程中挥发性成分及其相对含量
Table 2 Changes in volatile compounds and their relative contents during salted hairtail processing

名称	相对含量/%					名称	相对含量/%				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
丙醛	—	3.72	2	2.68	2.51	反式-2,4-二甲基环氧丙烷	—	—	—	—	2.74
丁醛	—	0.89	0.36	—	0.68	2,4-辛二烯	—	0.84	1.41	0.43	0.33
三甲基丁醛	24.01	3.06	1.01	1.32	0.57	5-溴-2-甲基-2-戊烯	—	—	—	—	0.06
戊醛	—	3.49	—	7.28	2.76	(Z,Z)-3,5-辛二烯	—	1.62	—	—	0.19
己醛	5.12	30.06	22.92	31.9	28.26	3-甲基-3-乙烯基环丙烯	—	—	—	—	0.03
2-乙基-2-丁烯醛	—	—	—	0.13	0.19	(3E,5E)-1,3,5-辛三烯	—	—	—	—	0.12
(Z)-4-庚醛	—	—	1.5	1.61	1.41	3,5,5-三甲基-2-己烯	1.85	2.31	2.49	1.88	1.77
庚醛	0.77	6.35	4.79	5.59	8.64	2,2,3,4-四甲基戊烷	—	—	—	0.62	0.98
苯甲醛	0.79	0.76	0.92	1.15	0.85	6-乙基-2-甲基癸烷	—	0.53	0.4	—	0.24
辛醛	1.17	4.40	3.69	4.36	6.54	D-柠檬烯	—	2.43	—	4.33	3.15
壬醛	1.66	2.88	3.10	2.89	4.37	2,2-二甲基丁烷	—	0.09	—	0.05	0.12
2-甲基-己醛	—	—	—	—	0.21	苯	0.58	0.33	0.27	0.21	0.08
乙醇	0.50	1.50	0.38	0.50	0.39	(2E)-1-(戊氧基)-2-己烯	—	—	—	—	0.12
1-戊烯-3-醇	1.95	7.79	7.33	7.16	7.34	3,8-二甲基癸烷	—	—	—	—	0.22
3-甲基丁醇	9.72	0.14	0.22	0.13	0.18	乙亚胺酸乙酯	—	—	—	—	0.29
戊醇	0.91	1.91	1.87	2.18	3.55	乙酸,丁氧基羧基丁酯	—	—	—	—	0.31
环丁基甲醇	—	1.00	0.99	1.16	1.21	草酸庚烯酯	—	—	—	—	0.11
1-己烯-3-醇	—	—	—	—	0.16	n-碳酸乙烯酯	—	—	0.58	1.09	0.62
己醇	1.89	2.20	4.61	2.28	4.18	1,1-二甲基乙基丁酸酯	—	—	—	—	0.06
1-庚醇	0.34	0.63	0.54	0.66	1.01	亚硫酸,2-乙基己酸异己酯	0.28	—	0.67	—	0.62
1-辛烯-3-醇	3.86	5.68	4.92	4.46	4.72	邻苯二甲酸,2-乙基-3-辛基丁酯	0.04	—	—	—	0.04
6-庚烯-1-醇	—	—	0.24	—	0.19	2-氨基-6-甲基苯甲酸	—	—	0.06	0.1	0.05
辛醇	—	—	—	—	0.60	三甲胺	12.62	4.36	1.04	—	2.4
3-羟基-2-丁酮	—	—	0.14	—	0.23	2-甲硫基乙胺	—	—	—	—	0.04
乙烯酮	—	—	—	—	0.05	苯乙胺	0.73	0.42	0.34	0.38	0.31
2,3,3-三甲基环丁酮	—	—	0.15	0.07	—	2(5H)-咪唑酮	—	—	—	—	0.03
2-庚酮	—	—	0.54	—	0.1	2-甲基-2-丙烯酸酐	—	—	—	—	0.02
丙酮	—	0.04	0.07	0.05	0.07	1-乙基-丙氨酰胺	—	0.07	0.48	—	0.02
1-(3-环己烯)1-乙酮	—	—	0.04	—	0.05	六甲基环三硅醚类	0.77	0.49	0.36	0.39	0.55
苯乙酮	—	0.14	—	0.14	0.09	苯丙酰溴	—	—	—	—	0.02
3,5-辛二烯酮	—	1.91	2.44	2.82	1.12	3-苧烯崖柏烯	—	—	—	—	0.05
6,7-十二烷酮	—	0.46	0.53	0.7	0.04	桉数脑	—	—	0.61	0.57	0.55
2-壬酮	—	0.49	0.22	0.29	0.32	甲磺酰氯	—	—	—	—	0.04
2-甲基-4-庚酮	—	0.15	—	0.09	0.1	4-异噻-2-噻胺胺	0.11	0.05	0.05	0.06	0.05
3,5-二甲基-4-辛酮	—	0.19	0.14	0.08	0.11	1,1'-(1,1,2,2-四甲基-1,2-乙基醚)联苯	1.13	0.61	1.83	2.62	2.84
2-辛酮	—	—	0.13	0.09	0.13						

注：“—”表示未检出。

军等^[5]的研究结果不一致,他测得醛的含量在干制阶段呈下降趋势,认为在较高温度下醛类物质之间以及它们的降解产物之间发生了反应,醛类物质和氨基酸之间也发生了反应,使得醛类物质减少。实验结果表明,此时醛类物质的生成量大于它参加反应损失的量。醇类物质一般来源于糖、氨基酸以及醛类物质的还原^[8],它在新鲜鱼体中的相对含量较高,达20.18%,腌制过程中产生的醇类物质可能是由于烷氧基自由基和另一个脂肪分子发生反应生成的,随着加工过程中氧化反应和酯化反应的进行,这些醇类物质开始减少,但在干燥后期,可能由于醛类物质的还原使得醇类物质有所增加。酮类物质作为羰基化合物的一种,它的相对含量比醛类少,阈值也比同分异构体的醛类物质高^[9],因此对风味的贡献也小于醛类,但对咸带鱼风味有增强作用。从表1还可以看出,酮类物质的相对含量随着干燥的进行而不断下降,从7.33%下降到4.87%,这与醛类物质正好相反。结果说明,干燥是脂肪酸氧化的关键步骤,因为酮类物质是醛类进一步氧化的结果,是脂肪酸氧化的最终产物,这与曾令彬等^[10]报道的一致。烃类物质主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂。在干燥阶段,烃类物质的相对含量明显下降,从16.61%下降到7.01%,而此时醛类有所增加,这是由于烃类物质尤其是烯烃类物质在一定条件下形成了醛类物质,但是由于烃类物质的阈值较大,一般认为对腌腊制品的风味贡献不大^[11-12]。

2.2 咸带鱼加工过程中主要风味成分的变化分析

由表2可知,咸鱼产品中的很多挥发性风味成分是在腌制和干燥期间产生的。原料中三甲基丁醛的含量较高,达24.01%,它是缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸等经Strecker氨基酸降解产生,可以氧化成羧酸和三甲基丁醇^[13],同时阈值较低,为0.2 μg/kg,能产生水果和奶酪的香味^[14],是新鲜带鱼良好风味的主要成分。三甲胺是鱼腥味的主要来源,腌制能够使它的含量迅速减少,防止产品腐败变质。通过对挥发性风味成分的相对含量及其感觉阈值进行比较分析,得出对咸带鱼产品风味贡献较大的化合物主要有以下物质(表3)。

表3 咸带鱼的特征风味成分

Table 3 Details on characteristic flavor compounds in salted hairtail

化合物名称	感觉阈值/(μg/kg)	气味描述	相对含量/%
己醛	4.5 ^[4]	青草味、脂肪味 ^[13]	28.26 ± 1.43
庚醛	3 ^[15]	鱼腥味、油脂味 ^[1,14]	8.64 ± 0.28
辛醛	0.7 ^[15]	青味、油脂味 ^[16]	6.54 ± 0.64
壬醛	1 ^[15]	青草香味、油脂味 ^[14]	4.37 ± 0.57
1-戊烯-3-醇	400 ^[4]	青草香 ^[4] 、鱼腥味 ^[17]	7.34 ± 0.81
1-戊醇	120 ^[4]	酒香、醚香 ^[4]	3.55 ± 0.05
己醇	250 ^[15]	新鲜的脂肪味 ^[15]	4.18 ± 0.25
1-辛烯-3-醇	10 ^[4]	蘑菇香气、泥土味 ^[14]	4.72 ± 0.70

结合表1可知,表3中几种特征风味成分的相对含量都是在腌制和干燥后期增加的。其中,己醛的气味特征与浓度有关,在产品含量较低时,呈现清香的青草气味,含量高时,产生强烈的脂肪酸败味^[9]。它是脂肪酸氧化的产物^[18],在腌制过程中大量增加,说明腌制过程,带鱼中的长链脂肪酸在酶的作用下发生氧化^[19],在干燥过程中由于鱼肉中脂肪酸迅速氧化分解使得己醛含量迅速增加,赋予咸鱼浓烈的刺激性味道,但在干燥后期可能分解脂肪的酶类受干燥条件、鱼体内的水分活度等影响,分解能力较弱,使得己醛含量开始下降。庚醛、辛醛在加工过程中的变化趋势与醛类总体趋势一样,都是在腌制和干燥过程中增加,说明不饱和脂肪酸主要在腌制和干燥阶段进行氧化,其中辛醛是油酸氧化的产物,对腌制带鱼良好风味的形成有很好的调和作用,而庚醛与鱼腥味的产生有关^[1]。壬醛在整个加工过程中主要呈增加趋势,但是在干燥初期可能由于温度较高使得它与氨基酸之间发生美拉德反应,降低了壬醛的含量,在干燥第二阶段由于脂肪酸的快速氧化使得壬醛的含量从2.89%增加到4.37%,对于它气味的描述,一般认为与产品的芳香有关^[20],但是也有人认为与鱼肉腥味的产生有关^[16-17],这可能是浓度不同引起的。因此控制己醛、庚醛以及壬醛的产生可以提高咸带鱼的风味品质。

在被检出的醇类物质中,1-戊烯-3-醇、1-戊醇、己醇以及1-辛烯-3-醇是咸带鱼的主要风味成分。饱和醇类可能是在加热过程中脂肪经氧化分解生成的或是有羰基化合物还原而生成醇,1-戊醇可能来自于亚油酸,干燥初期可能由于酶的作用,不饱和脂肪酸的氧化裂解生成戊醛的过程中,会产生戊醇和戊醛的混合物,此时戊醛的含量增加较大,但在干燥后期,1-戊醇的含量明显上升,从2.18%增加到3.55%,而戊醛的含量从7.28%降到2.76%,由此表明干燥第二阶段戊醇的增加很有可能来源于戊醛的还原。己醇的变化趋势与1-戊醇相似,它可能是由鱼肉脂肪中棕榈酸和油酸生成的^[7],加工过程由己醛经醇还原酶还原而成,由于5个碳原子以上的醛还原很慢,因此,不饱和脂肪酸氧化裂解时,醛类和醇类产物共存。不饱和醇可能是以脂肪酸为前体通过生物合成。其中,1-辛烯-3-醇是以亚油酸为前体合成的^[21],占成品的4.72%,其感觉阈值为10 μg/mg,对咸鱼的风味贡献较大。它与1-戊烯-3-醇都是在腌制过程中增加的,说明腌制过程中带鱼体内的不饱和脂肪酸在酶的作用下发生了氧化^[22],干燥第一阶段因反应生成相应的羰基化合物而使相对含量有所下降,但在干燥第二阶段可能由于微生物的次级代谢使得醇类物质增加。1-戊烯-3-醇具有鱼腥味^[17],因此控制腌制条件和干燥的时间,对于减少带鱼中的腥味物质有很大的影响。

从这些主要风味成分的变化可以看出咸带鱼加工过程中主体风味成分的产生主要依赖于腌制和干燥过程。这些主体风味成分共同作用形成了咸带鱼特有的风味。

3 结 论

通过对咸带鱼加工过程中挥发性风味成分的变化进行研究,表明醛、醇、酮以及烃类化合物是构成咸带鱼独特风味的主要成分。主要为己醛、庚醛、辛醛、壬醛、1-戊烯-3-醇、1-戊醇、己醇以及1-辛烯-3-醇等,其中庚醛、辛醛、壬醛以及1-戊醇主要是在腌制和干燥阶段产生的,己醛、1-戊烯-3-醇以及1-辛烯-3-醇在腌制过程中大量产生的,而己醇主要产生于干燥阶段。了解这些主要成分产生的加工阶段,为进一步探讨咸鱼风味的形成机理以及提高咸鱼制品的风味品质提供了良好的基础。

参考文献:

- [1] CHUNG H Y, YEUNG C W, KIM J, et al. Static headspace analysis-olfactometry (SHA-O) of odor impact components in salted-dried white herring (*Llisha elongata*)[J]. Food Chemistry, 2007, 104(2): 842-851.
- [2] 谭汝成. 腌腊肉制品生产工艺优化及其对风味影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.
- [3] 吴海燕, 解万翠, 杨锡洪, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱联用法测定腌制金丝鱼挥发性成分[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 278-281.
- [4] 夏延斌. 食品风味化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 170-183.
- [5] 邹延军, 周光宏, 徐幸莲. 脂类物质在火腿风味形成中的作用[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 186-191.
- [6] 董庆利, 李保国, 管晓. 亚硝酸盐对腌腊肉制品风味的影响[J]. 肉类研究, 2008(10): 55-60.
- [7] 方云中, 李文杰. 自由基与酶[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1994.
- [8] 沈月新. 水产食品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 103.
- [9] 吴金凤. 重庆农家腊肉风味物质研究及其安全性评价[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [10] 曾令彬. 腊肉加工中微生物菌群、理化特性及挥发性成分的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [11] 徐为民, 徐幸莲, 周光宏, 等. 风鹅加工过程中挥发性风味成分的变化[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2309-2315.
- [12] TOLDRÁ F. Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products[J]. Meat Science, 1998, 49(1): 101-110.
- [13] 吴海燕, 杨磊, 李思东, 等. 复合发酵剂对咸鱼风味品质的影响[J]. 广州化工, 2010, 38(6): 73-77.
- [14] GARCÍA-GONZÁLEZ D L, TENA N, APARICIO-RUIZ R, et al. Relationship between sensory attribute and volatile compounds qualifying dry-cured hams[J]. Meat Science, 2008, 80(2): 315-325.
- [15] 卢春霞, 翁丽萍, 王宏海, 等. 3种网箱养殖鱼类的主体风味成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(10): 163-169.
- [16] 张青, 王锡昌, 刘源. SDE-GC-Olfactometry 联用研究鲢鱼肉的挥发性气味活性物质[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(4): 1407-1409; 1425.
- [17] 王怡娟, 娄永江, 陈梨柯. 养殖美国红鱼鱼肉中挥发性成分的研究[J]. 水产科学, 2009, 28(6): 303-308.
- [18] DRUMM T D, SPANIER A M. Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1991, 39(2): 336-343.
- [19] 张家骊, 姜国伟, 王秀云, 等. 带鱼初加工过程中风味物质的检测分析[J]. 生物加工过程, 2010, 8(6): 63-67.
- [20] SHAHIDI F. 肉制品与水产品的风味[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [21] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish (*Coregonus clupeaformis*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983, 31(2): 326-330.
- [22] THÉRON L, TOURNAYRE P, KONDOJOYAN N, et al. Analysis of the volatile profile and identification of odour-active compounds in Bayonne ham[J]. Meat Science, 2010, 85(3): 453-460.