

固相微萃取与气-质联用法分析鲍鱼烘烤前后挥发性成分的变化

郑瑞生¹, 许爱萍¹, 任丽花², 王则金³

(1. 泉州师范学院化学与生命科学学院, 福建泉州 362002) (2. 福建省农业科学院中心实验室, 福建福州 350003) (3. 福建农林大学食品科学学院, 福建福州 350002)

摘要: 为揭示不同处理的鲍鱼主要特征风味成因, 及时掌握鲍鱼品质变化情况。运用固相微萃取结合气-质联用技术分析解冻鲍鱼烘烤加工前后挥发性成分的变化。结果表明: 加工前后鲍鱼的挥发性成分发生明显变化。主要挥发性物质有醇、醛、含氮含硫化物、酮、烃、酸、酯、芳香族等, 其中解冻鲍鱼检出 39 种, 烘烤鲍鱼检出 51 种。解冻鲍鱼呈清鲜味, 略带腥味, 醇、醛类化合物是其主要风味物质, 其中苯甲醛 (20.83%)、1-辛烯-3-醇 (18.35%)、甲氧基-苯基-肟 (13.25%) 为最主要特征风味物质。而烘烤鲍鱼风味发生明显变化, 鲜鲍鱼固有的清鲜味逐渐消失, 烤肉的香味显著增强, 醇类, 含氮含硫和酯类化合物是其主要的挥发性成分来源, 其中丁二醇 (42.64%)、甲基吡嗪 (12.41%) 为其最重要特征风味物质。

关键词: 气-质联用仪; 解冻鲍鱼; 烘烤鲍鱼; 挥发性成分; 特征风味

文章编号: 1673-9078(2014)7-252-257

Changes of Volatile Components in Abalone before and after Baking by SPME Coupled with GC-MS

ZHENG Rui-sheng¹, XU Ai-ping¹, REN Li-hua², WANG Ze-jin³

(1. College of Chemistry and Life Sciences, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362002, China)

(2. Central Laboratory, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China)

(3. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: In order to reveal the origin of main characteristic flavor and promptly grasp the quality changes of different processing abalone, the changes of volatile components in abalone before and after processing were analyzed by the technology of solid phase microextraction (SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the volatile components of abalone changed obviously before and after processing. Thirty-nine kinds of volatile components in thawed abalone and 51 kinds in baked abalone were detected respectively, including ethanol, aldehydes, nitrogen and sulfur containing compounds, ketones, hydrocarbons, acids, esters, aromatic series, etc. Thawed abalone had clear and slightly fishy flavor. Ethanol and aldehydes were its main flavor substances, in which benzaldehyde (20.83%), 1-octen-3-ol (18.35%), oxime-methoxy-phenyl (13.25%) were the most important characteristic flavor components. But the flavor in baked abalone changed dramatically. The inherent clear flavor in fresh abalone gradually disappeared and the barbecue flavor increased remarkably. And ethanol, nitrogen and sulfur containing compounds were its main volatiles sources, in which butanediol (42.64%) and methyl-pyrazine (12.41%) were the most important characteristic flavor components.

Key words: gas chromatography-mass spectrometry; thawed abalone; baked abalone; volatile components; characteristic flavor

海洋经济已上升为国家战略, 成为拉动我国经济发展的重要引擎。福建省地处东南沿海, 是我国最重

收稿日期: 2014-02-25

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目 (201310399019); 泉州市科技计划项目 (2013Z42、2013Z126); 福建省服务海西重点项目 (A101); 福建省教育厅科技项目 (JA11220)

作者简介: 郑瑞生 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工与保鲜技术

要的鲍鱼养殖基地之一。然而, 由于阶段性“供过于求”等因素影响, 鲍鱼价格飞速下跌。单纯依靠出售鲜活鲍鱼已很难再获得利润, 有必要寻找方便、高效、安全、高附加值的鲍鱼保鲜及深加工技术^[1]。冷冻及高温烘烤熟制是鲜活鲍鱼加工重要方式之一, 在加工过程中, 不同处理的鲍鱼会呈现不同的气味, 如: 解冻后鲍鱼依旧带有清鲜味, 而高温烘烤的鲍鱼会产生烤肉香味。目前国内尚未就不同处理鲍鱼呈味特性进行

系统研究,尤其是鲍鱼烘烤加工前后挥发性成分变化情况。分析不同处理的鲍鱼主要特征风味物质,对于揭示鲍鱼产品风味成因,及时掌握产品品质变化情况具有重要的意义。

固相微萃取(Solid Phase Microextraction, 简称 SPME)是一种样品分析预处理新技术,它是集采样、萃取、浓缩、进样于一体,直接和气相或液相色谱仪联用,可有效地分析样品中痕量挥发性有机物,重复性好,检出限值低,操作简便,分析速度快,费用低,且无需有机溶剂的优点,越来越广泛应用于食品中挥发性成分检测及品质鉴定等方面。如Akan等利用GC-MS技术有效检测出有机氯农药在四种不同种类鱼中的残留状况;Ke等^[3]利用气相色谱-质谱联用结合三重四极杆分析系统(GC-MS-MS)开发出一种高度敏感和特异性的测定鱼肉中己烯雌酚(DES)残留方法,该方法最大优势是能够对鱼肉中的DES进行定量识别,其检测限(LOD)和定量限(LOQ)值分别达到0.0142 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和0.0475 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。因此,本研究通过固相微萃取结合气-质联用技术研究解冻鲍鱼烘烤加工前后挥发性成分变化情况,从而鉴定出解冻鲍鱼及烘烤鲍鱼风味中的主要特征香气成分。

1 材料与方法

1.1 主要材料与仪器

试验材料为皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino),解冻鲍鱼为常温解冻后的鲍鱼,烘烤鲍鱼为解冻鲍鱼经调味料腌制2h后在150 $^{\circ}\text{C}$ 高温条件下烘烤10min的鲍鱼。

主要仪器:固相微萃取装置(Solid-phase Microextraction, SPME), (DVB/CAR/PDMS)三涂层的萃取头,美国Supelco公司;气相色谱-质谱(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)联用仪,7890AGC system, 5975C MSD, 美国安捷伦公司。

1.2 挥发性成分的顶空采集

分别取鲍鱼5g,切碎后加入饱和氯化钠匀浆,转入顶空进样瓶中。将SPME针管插入样品瓶中进行萃取,萃取温度50 $^{\circ}\text{C}$ 、萃取时间30min,后取出萃取头,立即插入色谱仪进样口,250 $^{\circ}\text{C}$ 热解吸3min后进行色谱和质谱分析。

1.3 GC-MS 分析鉴定鲍鱼挥发性成分

1.3.1 气相色谱条件

HP-INNOWax Polyethylene Glyco 毛细管柱(30

$\text{m}\times 250\ \mu\text{m}\times 0.25\ \mu\text{m}$);载气为He,流速为1.04 mL/min;不分流模式进样;进样口温度为250 $^{\circ}\text{C}$;程序升温:柱初温60 $^{\circ}\text{C}$,保持3min,以3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升至140 $^{\circ}\text{C}$,保持0min,再以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升至210 $^{\circ}\text{C}$,保持5min。

1.3.2 质谱条件

5975C型四极杆质谱仪,电子轰击(EI)离子源,电子能量为70 eV;离子源温度为230 $^{\circ}\text{C}$,四极杆温度为150 $^{\circ}\text{C}$,质量扫描范围:45~550 m/z。

1.4 挥发性成分定性定量方法

利用随机标准谱库检索和参考文献资料对机检结果进行定性;定量采用峰面积归一化法计算出各挥发性成分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 鲍鱼加工前后挥发性成分总离子图谱

对鲍鱼加工前后的挥发性成分进行分离鉴定,得到总离子流色谱图,见图1~图2。

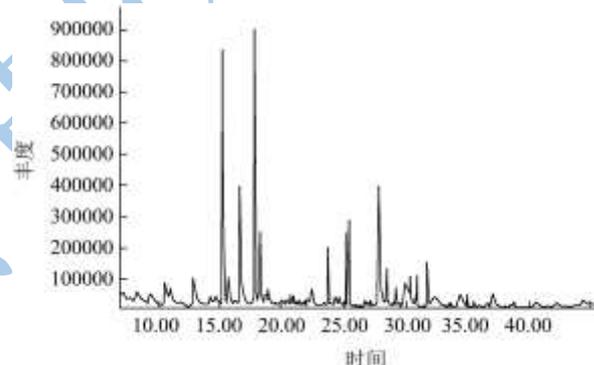


图1 解冻鲍鱼中挥发性成分离子图谱

Fig.1 Total ion chromatogram of volatile components of thawed

abalone

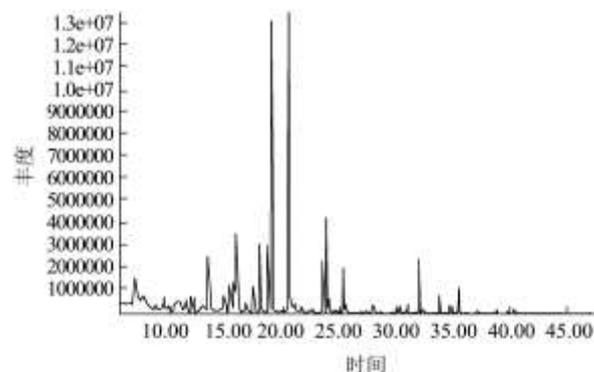


图2 烘烤鲍鱼中挥发性成分离子图谱

Fig.2 Total ion chromatogram of volatile components of baked

abalone

2.2 鲍鱼加工前后挥发性成分的变化情况

鲍鱼加工前后挥发性成分离子图谱中对应的化合物及相对百分含量见表1。

表1 鲍鱼加工前后挥发性成分的相对含量

Table 1 Relative contents of volatile components in abalone before and after processing

序号	保留时间 /min	中文名	相对含量/%	
			解冻鲍鱼	烘烤鲍鱼
醇类			29.48	51.93
1	9.65	2-十四烷醇	-	0.32
2	15.20	1-辛烯-3-醇	18.35	4.35
3	16.57	3,4,4-三甲基-1-戊炔-3-醇 (2R,3R) - (-)-2,3-丁二醇	9.84	-
4	18.97	2,3-丁二醇	-	19.84
5	20.46	反式-2-癸烯醇	-	22.80
6	21.50	2-呋喃甲醇	0.14	2.03
7	23.44	5-甲基-2-呋喃甲醇	-	0.07
8	25.60	α-二甲基-苄醇	0.21	-
9	26.78	2-乙基己醇	-	0.06
10	27.20	5-茛醇	-	0.13
11	28.16	顺式-5-辛烯-1-醇	-	0.03
12	29.55	苄醇	-	0.08
13	30.88	苯乙醇	0.69	1.99
14	31.90	3-苯丙醇	0.24	-
15	35.55			
醛类			28.57	6.62
16	12.85	壬醛	3.53	-
17	14.15	反-2-辛烯醛	0.29	0.45
18	15.89	糠醛	-	-
19	17.78	苯甲醛	20.83	5.48
20	18.30	苯甲醛二甲缩醛	3.45	-
21	20.10	反式-2,6-壬二醛	0.23	-
22	24.53	3-乙基苯甲醛	-	0.23
23	24.68	肉豆蔻醛	0.24	
24	22.55	苯乙醛	-	0.25
25	36.10	可卡醛	-	0.06
26	32.28	2-苯基巴豆醛	-	0.15
酮类			1.63	5.21
27	6.83	2-乙基-环丁酮	-	4.36
28	9.33	3-羟基-2-丁酮	-	0.85
29	10.92	2,6-辛二酮	1.21	-
30	29.88	香叶基丙酮	0.42	-
烃类			2.26	4.10
31	7.60	4-甲基-十三烷	-	2.91
32	11.45	1-甲氧基-己烷	-	0.19

33	20.41	2,6,10,14-四甲基十七烷	0.17	-
34	26.79	4H-1,3-苯并二噁烷	-	0.12
35	8.40	苯乙烯	1.42	-
36	18.14	十五烯	0.66	-
37	24.12	环辛二烯	-	0.88
酯类			2.96	4.03
38	11.37	乳酸异丁酯	-	0.69
39	9.30	二氯乙酸癸酯	0.67	-
40	16.60	乙酸异壬酯	-	0.90
41	24.35	结晶紫内酯	0.40	-
42	25.22	1-丙基二十三酸甲酯	1.73	-
43	25.37	乙酸 2, 2'-双氧-5-二丁酯	-	0.63
44	26.95	水杨酸甲酯	0.16	-
45	27.57	苯乙酸乙酯	-	0.27
46	35.43	十四酸乙酯	-	1.19
47	40.35	棕榈酸乙酯	-	0.34
酸类			5.56	6.16
48	15.50	乙酸	0.52	-
49	23.74	异戊酸	2.56	3.96
50	25.19	苯乙酸	-	1.35
51	26.24	正戊酸	-	0.39
52	28.54	4-甲基戊酸	1.61	0.09
53	30.02	己酸	-	0.37
54	40.65	苯甲酸	0.87	-
芳香			8.89	1.02
55	7.10	氯苯	0.77	-
56	14.68	邻二氯苯	0.37	-
57	21.90	五甲基苯	0.43	-
58	22.48	1,2,4-三甲基-苯	1.17	-
59	25.46	萘	4.02	-
60	29.31	2-甲基萘	0.70	-
61	29.84	2-羟基萘	-	0.09
62	30.30	愈创木酚	-	0.40
63	31.82	2,6-二叔丁基对甲酚	1.43	-
64	34.65	苯酚	-	0.41
65	36.60	4-甲基苯酚	-	0.01
66	42.30	2,4-二叔丁基苯酚	-	0.10
含氮			18.79	20.91
67	38.81	1,6-己内酰胺	0.22	0.25
68	10.40	2,5-二甲基吡嗪	-	0.63
69	10.57	2,6-二甲基吡嗪	2.82	2.06
70	12.86	2-乙基-5-甲基吡嗪	-	0.88

转下页

编号	相对含量 (%)	挥发性成分	其他	相对含量 (%)
71	13.23	三甲基吡嗪	-	6.34
72	14.61	3-乙基-2, 5-二甲基-吡嗪	-	1.26
73	15.81	四甲基吡嗪	-	6.07
74	17.27	3,5-二乙基-2-甲基-吡嗪	-	1.95
75	27.34	2-乙酰基-3-5-二甲基吡嗪	-	0.08
76	21.00	4-4-氯苯氧基-8-氟-2-三氟甲基-喹啉	0.35	-
77	33.71	2-乙酰基吡咯	-	0.62
78	15.68	N-甲基-N-亚硝基脲	1.35	-
79	27.90	甲氧基-苯基-肟	13.25	0.77
80	44.55	吡啶	0.48	-
81	42.45	1,2,4-三氮唑	0.34	-

注：“-”表示该挥发性成分未检出。

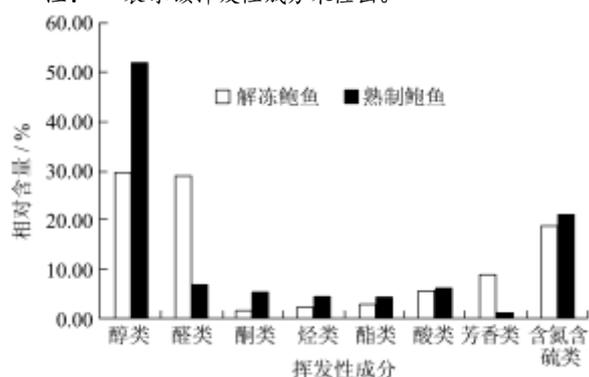


图3 不同处理鲍鱼中挥发性成分种类

Fig.3 Kinds of volatile components in abalone by different processing

如表1及图3所示，加工前后的鲍鱼中挥发性物质共检出81种，其中解冻鲍鱼检出39种，烘烤鲍鱼检出51种，比解冻鲍鱼多出12种。按面积归一化法求得各成分在鲍鱼挥发性成分中的相对百分含量，这些挥发性成分多为一些醇、醛、酮、含氮含硫化合物、烃、酸、酯、芳香族等物质，其中醇类、醛类及含氮含硫物质在加工前后的鲍鱼中含量均较高。

2.3 解冻鲍鱼的主要挥发性成分

从感官分析表明，解冻后鲍鱼色泽仍较好，组织形态保持较为完整，鲍鱼固有的清鲜味明显，同时略带少许腥味。根据GC-MS鉴定结果表明，解冻鲍鱼挥发性成分中醇类物质含量相对最多，达到29.48%。其次为醛类(28.57%)，含氮化合物(18.79%)，芳香族化合物(8.89%)，酸类(5.56%)，酯类(2.96%)，烃类(2.26%)，酮类(1.63%)。单一挥发性成分中苯

甲醛含量最高(20.83%)，其次1-辛烯-3-醇(18.35%)，甲氧基-苯基-肟(13.25%)，3,4,4-三甲基-1-戊炔-3-醇(9.84%)，萘(4.02%)，壬醛(3.53%)，苯甲醛二甲缩醛(3.45%)等。醛类是脂肪降解的主要产物，一般阈值很低，具有脂肪香味，可能构成肉品种的特征性风味^[4]。如苯甲醛具有令人愉快的杏仁香，对解冻后鲍鱼的风味起加和作用^[5]。壬醛是产生鱼体土腥味的来源^[6]。不饱和醇的嗅感往往比饱和醇更强烈。Iglesias等^[7]认为1-辛烯-3-醇是15-脂氧合酶催化EPA过程中形成的，是构成鱼腥味的重要成分之一，具有类似蘑菇和泥土的气味^[8]；1-戊烯-3-醇也具有明显的鱼腥味^[9]。各种烷烃广泛存在于鱼类的挥发性成分中，但它们的阈值较高，对风味的作用不大^[10]。几种含苯化合物如萘、2-甲基萘、1,2,4-三甲基苯等会造成鱼肉中令人不愉快的风味，这可能是从环境中转移到鱼体内的，说明鲍鱼肉的风味也可能受到环境污染物质的影响^[11]。可见，醇、醛类化合物是解冻鲍鱼主要风味成因物质，其中苯甲醛、1-辛烯-3-醇、甲氧基-苯基-肟为最主要特征风味物质。

2.4 烘烤鲍鱼的主要挥发性成分

感官分析表明：高温烘烤后的鲍鱼风味发生明显变化，呈金黄色，组织结构更为饱满。由于产生一系列的美拉德反应，鲜鲍鱼的清新味、腥味逐渐消失，但烤肉的香味显著增强。根据GC-MS分析表明：与解冻鲍鱼挥发性成分相比较，烘烤鲍鱼醇类物质含量相对最多，由29.48%大幅升高到51.93%，含氮含硫化合物升高到20.91%，醛类降至6.62%，酸类为6.16%，酮类升至5.21%，烃类升至4.10%，酯类升至4.03%，芳香族化合物降至1.02%。单一挥发性成分中2,3-丁二醇最高，达到42.64%，其次为三甲基吡嗪(6.34%)，四甲基吡嗪(6.07%) (两者合计12.41%)，苯甲醛(5.48%)，2-乙基-环丁酮(4.36%)，1-辛烯-3-醇(4.35%)等。可见醇类物质仍是烘烤鲍鱼主要的挥发性成分来源。在饱和醇中，C₁~C₃的醇类有轻快香气，C₄~C₆的醇类有近似麻醉性的气味，C₇~C₈的醇类则显示出芳香气味，碳数再多的饱和醇，其气味逐步减弱以至无嗅感^[12]，烘烤鲍鱼中醇类物质的提高可能与腌制料中加入的料酒有关。此外，含氮含硫和酯类化合物是一种具有显著特征的风味物质，低含量的酯类及含氮含硫物质可以产生明显的香气。而经过高温烘烤后，鲍鱼发生一系列的化学反应，如蛋白质、肽、氨基酸、糖类等的降解，类脂和脂肪酸的氧化、脱氨，以及氨基酸和还原糖发生的美拉德反应等。由此产生的挥发性与非挥发性成分再发生交互反应，导

致含氮含硫和酯类化合物显著增加,从而产生具有烤肉性质的特征香味。如吡嗪类化合物阈值低,对烘烤焦香味起主导作用;2,6-二甲基吡嗪具有类似牛肉加热时散发的香味;三甲基吡嗪具有肉香、烘烤香;四甲基吡嗪具有牛肉和猪脂肪加热时的香气和发酵的大豆味^[13-14]。但在烘烤鲍鱼中醛类物质相对含量显著降低,由28.57%降低至6.62%,酮类物质由1.63%升至5.21%。烷醛、烯醛等成分是由饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸氧化后形成的氢过氧化物的降解产物^[15-16]。醛类化合物含量降低,使得鲍鱼的鲜香味和腥味减弱,但仍有少许的鲜味物质,如苯甲醛、1-辛烯-3-醇。酮类物质主要呈现桉叶味、脂肪味和焦燃味,阈值远远高于其同分异构体的醛,对鱼肉的气味贡献相对较小。烘烤鲍鱼中新产生的酮类物质,如3-羟基-2-丁酮有清香、壤香、蜡香和未成熟的果香及牛奶风味。由此可见,醇类,含氮含硫和酯类化合物是烘烤鲍鱼主要的挥发性成分来源,其中丁二醇、甲基吡嗪为其最重要特征风味物质。

3 结论

3.1 GC-MS 分析结果表明,加工前后鲍鱼的挥发性成分发生明显变化,主要有醇、醛、含氮含硫化合物、酮、烃、酸、酯、芳香族等物质。其中解冻鲍鱼检出39种,烘烤鲍鱼检出51种,比解冻鲍鱼多出12种。

3.2 解冻鲍鱼呈清鲜味,同时略带少许腥味。醇类物质含量相对最多,达到29.48%;其次为醛类(28.57%),含氮含硫化合物(18.79%),芳香族化合物(8.89%),酸类(5.56%),酯类(2.96%),烃类(2.26%),酮类(1.63%)。单一挥发性成分中苯甲醛含量最高(20.83%),其次为1-辛烯-3-醇(18.35%),甲氧基-苯基-丙(13.25%),3,4,4-三甲基-1-戊炔-3-醇(9.84%),萘(4.02%),壬醛(3.53%),苯甲醛二甲缩醛(3.45%)等。醇、醛类化合物是解冻鲍鱼主要风味物质,其中苯甲醛、1-辛烯-3-醇、甲氧基-苯基-丙为最主要特征风味物质。

3.3 高温烘烤后的鲍鱼风味发生明显变化,鲜鲍鱼的清鲜味、腥味逐渐消失,烤肉的香味显著增强。醇类物质大幅升高至51.93%,含氮含硫化合物升高到20.91%,醛类降至6.62%,酸类为6.16%,酮类升至5.21%,烃类升至4.10%,酯类升至4.03%,芳香族化合物降至1.02%。单一挥发性成分中2,3-丁二醇最高42.64%,其次为三甲基吡嗪(6.34%),四甲基吡嗪(6.07%),苯甲醛(5.48%),2-乙基-环丁酮(4.36%),1-辛烯-3-醇(4.35%)等。醇类,含氮含硫和酯类化合物是烘烤鲍鱼主要的挥发性成分来源,其中丁二醇、

甲基吡嗪为其最重要特征风味物质。

参考文献

- [1] 郑瑞生,王则金,童金华,等.鲍鱼冻藏过程生化及感官指标变化的研究[J].中国食品学报,2012,12(11):170-176
ZHENG Rui-sheng, WANG Ze-jin, TONG Jin-hua, et al. Study on the Chances of Biochemistry and Sensory Indexes of Abalone During Frozen Storage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(11): 170-176
- [2] Akan J C, Abdulrahman F I, Chellube Z M. Organochlorine and organophosphorus pesticide residues in fish samples from Lake Chad, Baga, North Eastern Nigeria [J]. International Journal of Innovation, Management and Technology, 2014, 5(2):87-92
- [3] Ke C L, Wang Z H, Gan J L, et al. Identification and quantitation of diethylstilbestrol in aquatic products using gas chromatography coupled with triple quadrupole tandem mass spectrometry [J]. RSC Advances, 2014, 4, 2355-2359
- [4] Mottram D S. Flavor formation in meat and meat products: A review [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424
- [5] 李淑荣,王丽,张春红,等.烘烤花生中关键香味化合物的研究[J].中国农业科学,2010,43(15):3199-3203
LI SHU Rong, WANG Li, ZHANG Chun-hong, et al. Analysis of the key odorants of roasted peanut [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(15): 3199-3203
- [6] ZHOU Yi-qi, WANG Zi-jian. Extraction and analysis on fishy odor-causing compounds in the different part of carp [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2006, 34: 165-167
- [7] Iglesias J, Medina I, Bianchi F, et al. Study of the volatile compounds useful for the characterisation of fresh and frozen-thawed cultured gilthead sea bream fish by solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1473-1478
- [8] 侯园园,王兴国,刘元法.GC-O与GC-MS结合鉴定天然乳脂风味中的特征致香成分[J].食品工业科技,2008,29(3):143-145
HOU Yuan-yuan, WANG Xing-guo, LIU Yuan-fa. The identification of specific aroma in flavor of natural milk fat using the cooperation of GC-O and GC-MS [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(3): 143-145
- [9] Benzo M, Gilardoni G, Gandini, et al. Determination of the threshold odor concentration of main odorants in essential oils using gas chromatography-olfactometry incremental dilution technique [J]. Journal of Chromatography A, 2007, 1150(1-2): 131-135
- [10] Herland H, Esaiassen M, Cooper M, et al. Changes in

- trimethylamine oxide and trimethylamine in muscle of wild and farmed cod (*Gadus morhua*) during iced storage [J]. *Aquaculture Research*, 2009, 41(1): 95-102
- [11] 施文正,王锡昌,陶宁萍,等.野生草鱼与养殖草鱼的挥发性成分[J].*江苏农业学报*,2011,27(1):177-182
SHI Wen-zheng, WANG Xi-chang, TAO Ning-ping, et al. Volatile compounds of wild and cultured grass carps [J]. *Jiangsu Journal of Agriculture Science*, 2011, 27(1): 177-182
- [12] 丁耐克.食品风味化学[M].北京:中国轻工业出版社,1996:117
DING Nai-ke. Food flavor chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1996: 117
- [13] 金君,武伦福,王沂东,等.乳酸菌发酵对半干罗非鱼挥发性成分的影响[J].*暨南大学学报(自然科学版)*,2011,32(5):473-479
JIN Jun, WU Lun-fu, WANG Yi-dong, et al. Effects of fermentation by lactic acid bacteria on the volatile components of damp-dry tilapia [J]. *Journal of Jinan University (Natural Science)*, 2011, 32(5): 473-479
- [14] 舒宏福.新合成食用香料手册[M].北京:化学工业出版社, 2005
SHU Hong-fu. New manual of synthetic flavoring substances [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 405
- [15] Guillen M D, Errecalde M C, Salmeron J, et al. Headspace volatile components of smoked swordfish (*Xiphias xiphioides*) and cod (*Gadus morhua*) detected by means of solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2006, 94(1): 151-156
- [16] Guillaume D, Vincent M C, Marie C, et al. Determination of volatile compounds to characterize fish spoilage using headspace/mass spectrometry and solid-phase microextraction/gas chromatography/mass spectrometry[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2006, 86(4): 600-611