



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20160074

## 黄颡鱼罐头加工过程中挥发性风味物质的变化

郑捷<sup>1,3,4</sup>, 任圆圆<sup>1</sup>, 高建忠<sup>2,3,4</sup>, 杨璐璐<sup>1</sup>, 于思雨<sup>1</sup>, 李要赏<sup>1</sup>, 冀旭<sup>1</sup>

(1. 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457; 2. 天津市泥鳅育种与高效利用技术企业重点实验室, 天津 301800; 3. 天津金宝地庄园食品有限公司, 天津 301800; 4. 天津鸿腾水产科技发展有限公司, 天津 301800)

**摘要:** 采用顶空固相萃取和气相色谱-质谱联用技术 (SPME-GC-MS), 研究黄颡鱼罐头加工过程中挥发性风味物质的变化。结果表明: 黄颡鱼罐头加工过程中共鉴定出 27 种挥发性风味物质, 加工过程中挥发性风味物质的种类和含量不断变化, 吡嗪类化合物种类从 0 增加到 6 种, 增长最为显著; 醇类化合物种类变化不大, 但是相对含量逐渐增加; 醛类、酮类的种类和相对含量都较少, 但对于黄颡鱼罐头整体风味有一定贡献; 杂环类化合物除 2-正己基噻吩外其他化合物种类和相对含量变化不大。

**关键词:** 黄颡鱼; 罐头; 风味; 加工; 变化

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2017)06-0031-05

## Changes of Volative Flavor Substances in Processing Canned Pseudobagrus Fulvidraco

ZHENG Jie<sup>1,3,4</sup>, REN Yuanyuan<sup>1</sup>, GAO Jianzhong<sup>2,3,4</sup>, YANG Lulu<sup>1</sup>, YU Siyu<sup>1</sup>, LI Yaoshang<sup>1</sup>, JI Xu<sup>1</sup>

(1. College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. Enterprise Key Laboratory of Loach Breeding and Highly Efficient Utilization Technology of Tianjin, Tianjin 301800, China; 3. Tianjin Jinbaodi Manor Food Co. Ltd., Tianjin 301800, China; 4. Tianjin Hongteng Aquatic Science & Technology Development Co. Ltd., Tianjin 301800, China)

**Abstract:** Headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry technology (SPME/GC-MS) were used to study the variation of volatile flavor substances in processing canned pseudobagrus fulvidraco. Results showed that 27 kinds of volatile flavor substances were identified, and their types and contents kept changing in processing. Pyrazine compounds had a significant increase from 0 to 6. However, alcoholic compounds did not change obviously, although their relative content increased gradually. The kinds and relative contents of aldehydes and ketones were both less, but they had certain contribution to the overall flavor of canned pseudobagrus fulvidraco. Except 2-n-hexylthiophene, the types and relative contents of heterocyclic compounds did not change much.

**Key words:** pseudobagrus fulvidraco; can; flavor; processing; change

黄颡鱼, 俗称嘎鱼、黄腊丁、黄骨鱼等, 属鲶形目, 鲶科, 黄颡鱼属<sup>[1]</sup>, 为底栖肉食性鱼类。黄颡鱼是我国淡水特种经济鱼类, 广泛分布于长江中、下游的湖泊和水库中, 主要以小型鱼类、虾类、甲壳类和水生昆虫等为食, 现养殖规模已逐渐扩大。因其高蛋白、低脂肪、肉质鲜美、营养丰富、无肌间刺、几乎无腥味等优点而深受消费者喜爱, 国内外市场潜力巨大<sup>[2]</sup>。

现阶段, 我国市场上水产罐头种类繁多, 口味多样, 水产罐头正向着规模化、专业化、高档化的主流趋势发展, 但黄颡鱼产品在市场上还很少见。王霞等<sup>[3]</sup>采用电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分; 钟映茹等<sup>[4]</sup>对不同烟熏烘烤方式对湘西腊肉挥发性成分的影响进行了分析比较。目前对于黄颡鱼的研究主要集中在其生物学

收稿日期: 2016-03-08; 修回日期: 2016-06-02

基金项目: 天津市科技特派员项目 (16JCTPJC45400); 天津市东丽区科技型中小企业发展专项资金产学研合作项目

作者简介: 郑捷 (1972—), 女, 海南人, 高级工程师, jane@tust.edu.cn

特性、养殖技术、营养需求、饲料组成和疾病防治等方面,有关黄颡鱼的加工工艺和风味物质未见系统研究报道,因此,开发一种被消费者普遍接受和认可的黄颡鱼罐头可能会带来可观的经济价值.固相微萃取作为一种无溶剂萃取技术,已被广泛应用于食品风味分析.本文采用顶空固相微萃取和气质联用技术研究了黄颡鱼罐头加工过程中挥发性风味成分种类和含量的变化.

## 1 材料与方法

### 1.1 实验原料

冷冻瓦氏黄颡鱼(体长 20~22 cm)由天津金宝地庄园食品有限公司提供.食用盐、白砂糖、酱油、姜粉、调和油,市售.

### 1.2 主要仪器

电子天平、烤箱、电炸锅、杀菌锅、组织绞碎机、GC-MS 联用仪、4000 MS 气质联用仪、手动固相微萃取装置(65  $\mu\text{m}$  PDMS/DVB SPME 萃取头、SPME 手动进样手柄、15 mL 顶空进样瓶).

### 1.3 黄颡鱼罐头加工工艺

#### 1.3.1 工艺流程

原料鱼→解冻→腌制→烘烤→油炸→浸调味料→包装→杀菌→成品

#### 1.3.2 操作要点

解冻:选取体长为 20~22 cm、完整、无病害的黄颡鱼,流水解冻 2~2.5 h.去尾、内脏、鳃,清洗干净.

腌制:在 10% 的盐水中(以鱼肉净质量为基准,鱼肉:盐水=1:1.5)腌渍 0~40 min,脱异味,并进行流水冲洗,除去盐渍后鱼体表面所附的杂质,进行切段.

烘烤:烤箱预热 5 min,150  $^{\circ}\text{C}$  烘烤 10~50 min,鱼体烤至半熟状态,取出冷却至室温.

油炸:在 190~200  $^{\circ}\text{C}$  的油炸锅中(以鱼肉净质量为基准,鱼肉:油=1:10)油炸 3~7 min,鱼体表面呈金黄色捞出,沥去鱼体表面的油,并立即放入预先配好冷却的调味料中浸料 20 s.

调味料配方:以水为基准,酱油 18%,糖 9%,盐 3%,姜粉 0.3%

包装、杀菌:浸料好的鱼肉趁热装入真空蒸煮袋中并进行真空包装.121  $^{\circ}\text{C}$  灭菌 20 min 得到最终成品.

### 1.4 实验方法

#### 1.4.1 取样

在黄颡鱼罐头加工过程中分别于腌制 0 min(即

解冻后的原料鱼, A 样)、腌制 20 min(B 样)、腌制 40 min(C 样)、烘烤 10 min(D 样)、烘烤 30 min(E 样)、烘烤 50 min(F 样)、油炸 3 min(G 样)、油炸 5 min(H 样)、油炸 7 min(I 样)、成品(J 样)10 个工艺点随机取相同质量的样品,经组织绞碎机处理后装入自封袋备用.

#### 1.4.2 挥发性风味物质的采集

准确称取黄颡鱼罐头加工各阶段样品 2.0 g,加入无水硫酸钠后用玻璃棒搅拌均匀,使样品成均匀颗粒状,分别放入 15 mL 固相萃取仪采样瓶中,插入装有 65  $\mu\text{m}$  PDMS/DVB SPME 纤维头的手动进样器,在 80  $^{\circ}\text{C}$  顶空萃取 1 h 后取出,立即拔出萃取头并立即插入气相色谱仪进样口(温度 250  $^{\circ}\text{C}$ )中,热解析 30 min 进样.

#### 1.4.3 GC-MS 检测

气相色谱条件:色谱柱为 HP-5 MS(30 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ )弹性石英毛细管柱,初始柱温 40  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 3 min,以 4  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的升温速率升到 150  $^{\circ}\text{C}$ ,再以 8  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的升温速率升到 250  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 6 min.汽化室温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ,载气为氦气,纯度 99.999%,载气流量 1 mL/min,分流比 5:1.质谱条件:离子源为 EI 源;离子源温度 220  $^{\circ}\text{C}$ ;电子能量 70 eV;质量范围 43~500 u.

### 1.5 数据处理

运用计算机检索并与图谱库(NIST 05)的标准质谱图对照,结合相关文献,确认风味物质的各个化学成分,按峰面积归一化法计算出样品中各个组分的相对含量.

## 2 结果与分析

GC-MS 检测结果见表 1.由表 1 可知,原料鱼、油炸 7 min 样品和黄颡鱼罐头成品中分别检测出 11 种、27 种和 18 种挥发性风味物质,其他加工阶段的样品挥发性风味物质的种类均为 11~27 种.

与原料鱼(腌制 0 min)相比,腌制 20 min 和腌制 40 min 的样品中产生了新的挥发性物质:2-壬烯-1-醇和苯甲醛.2-壬烯-1-醇有脂肪和类似黄瓜样的香气.腌制 0 min、腌制 20 min 和腌制 40 min 样品中挥发性风味物质醇类的相对总量分别为 29.88%、38.86%、30.40%,其他类的相对总量分别为 4.47%、6.11%、1.67%,呈先增加后减少的趋势;醛类的相对总量分别为 0%、2.02%、8.03%,呈逐渐增加的趋势(表 2).黄颡鱼在腌制过程中风味物质的变化可能是

由于食盐对于鱼体异味有部分掩盖的作用。

在烘烤阶段,烘烤 10、30、50 min 的样品中分别检测出 13 种、16 种、15 种挥发性风味物质。随着烘烤时间的延长,烘烤 30 min 的黄颡鱼样品中产生了 2-甲基环戊醇,烘烤 50 min 的黄颡鱼样品中产生了 4-乙基环己醇、4-甲基-3-环己烯-1-甲醛等新的挥发

性物质。烘烤 10、30、50 min 的样品中挥发性风味物质其他类的相对总量分别为 4.99%、6.41%、0.69%,呈先增加后减少的趋势;烃类的相对总量分别为 42.55%、54.48%、54.25%,基本呈增加的趋势。黄颡鱼在烘烤过程中风味的变化可能是由于加热过程中脂肪产生氧化分解或发生美拉德反应等。

表 1 黄颡鱼罐头加工过程中挥发性风味物质成分及相对含量

Tab. 1 Volative flavor compounds and relative contents during the process of canning pelteobagrus fulvidraco

种类	保留时间/min	物质名称	相对含量/%									
			A 样	B 样	C 样	D 样	E 样	F 样	G 样	H 样	I 样	J 样
吡嗪	13.681	2-乙基-5-甲基吡嗪	—	—	—	—	—	—	0.21	1.15	0.42	—
	13.842	2-乙基-3-甲基吡嗪	—	—	—	—	—	5.37	11.35	9.55	2.36	
	16.678	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	—	—	—	—	—	5.65	8.99	9.98	1.63	
	16.922	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	—	—	—	—	—	0.11	0.09	0.29	0.44	
	17.032	2,6-二甲基吡嗪	—	—	—	—	—	—	1.09	0.08	—	
	19.759	2-丁基-3,5-二甲基吡嗪	—	—	—	—	—	0.09	0.24	1.03	0.21	
醇类	6.389	2-甲基环戊醇	1.37	—	1.32	—	5.98	6.06	0.40	1.38	1.36	0.41
	15.209	4-乙基环己醇	—	—	—	—	—	0.18	0.79	1.25	1.62	—
	17.758	2-壬烯-1-醇	—	4.08	5.79	9.20	—	—	17.60	16.63	16.90	5.59
	17.914	苯甲醛缩二甲醇	25.98	34.41	22.31	28.99	22.41	17.04	4.52	14.28	21.19	30.54
	21.528	1,9-壬二醇	1.75	0.21	0.99	0.71	1.16	0.88	3.65	0.20	0.31	—
	21.614	2-丁基辛醇	—	0.16	—	0.49	0.64	0.57	0.15	0.51	0.38	3.94
	29.614	3,7,11-三甲基-2,6-十二碳二烯醇	0.78	—	—	3.51	5.76	4.20	1.68	1.37	2.77	1.85
15.604	7,7-二甲基-4-亚甲基二环(4,1,0)庚酮-3-醇	—	—	—	—	0.34	—	0.58	1.57	2.24	—	
烃类	14.779	(S)-(-)-柠檬烯	2.04	1.75	0.66	2.00	2.24	1.82	2.35	2.27	1.65	0.71
	17.458	3-甲基癸烷	15.48	19.90	10.05	24.20	25.36	15.89	45.99	18.49	6.69	12.82
	18.305	4-异丙基甲苯	1.60	0.96	0.55	0.80	1.12	0.55	0.45	0.79	3.57	0.95
	28.779	石竹烯	38.78	31.85	44.67	12.57	25.12	34.91	7.32	4.09	7.83	4.25
	30.666	姜黄烯	7.74	3.00	3.97	2.98	0.65	1.08	—	—	1.61	10.83
酮类	9.447	2-庚酮	—	—	—	—	1.01	—	0.10	0.08	1.19	—
	17.217	2-癸酮	0.16	—	—	1.42	0.49	0.25	0.51	0.74	0.94	—
	20.979	2-十二酮	—	—	—	—	0.91	—	0.77	0.38	1.68	9.54
醛类	12.414	苯甲醛	—	1.61	8.03	7.28	1.74	15.73	0.16	8.07	5.81	8.71
	14.942	4-甲基-3-环己烯-1-甲醛	—	—	—	—	—	0.16	0.17	0.33	0.51	—
	25.528	2-(2-呋喃基)-2-甲基丁烯-3-醛	—	0.42	—	—	—	—	—	0.71	1.44	—
其他	13.261	2-正戊基呋喃	4.47	6.11	1.67	4.99	6.41	0.69	2.14	3.86	0.59	3.27
	25.308	2-正己基噻吩	—	—	—	—	—	—	—	0.12	0.16	1.95

注:—表示未检出。

在油炸阶段,油炸 3、5、7 min 的样品中分别检出 23 种、26 种、27 种挥发性风味物质。随着油炸时间的延长,油炸 5 min 的黄颡鱼样品中产生了 2,6-二甲基吡嗪、2-(2-呋喃基)-2-甲基丁烯-3-醛、2-正己基噻吩等新的挥发性风味物质。油炸 3、5、7 min 的样品中挥发性风味物质吡嗪类的相对总量分别为 11.44%、22.90%、21.34%,醇类的相对总量分别为 29.39%、37.19%、46.76%,呈逐渐增加的趋势;醛类的

相对总量分别为 0.34%、9.10%、7.75%,呈先增加后减少的趋势。黄颡鱼在油炸过程中风味的变化可能是由于在高温条件下氨基酸和糖发生美拉德反应等。

经过高温高压杀菌后,最终得到的黄颡鱼罐头成品中共检测出 18 种挥发性风味物质,相对于原料鱼而言,黄颡鱼罐头成品中吡嗪类挥发性风味物质的种类和相对含量有较为显著的增加,可能是由于油炸过程对吡嗪化合物的产生有较大影响。烃类化合物的

种类和相对含量变化不大,醇类、醛类、酮类和其他类化合物可能由于不饱和脂肪酸的氧化或热降解,其

种类和相对含量也有一定的变化.

表2 黄颡鱼罐头加工过程中各类挥发性风味物质相对总量

Tab. 2 Volative flavor compounds and relative total contents during the process of canning pelteobagrus fulvidraco

种类	相对含量/%									
	A样	B样	C样	D样	E样	F样	G样	H样	I样	J样
吡嗪类	—	—	—	—	—	—	11.44	22.90	21.34	4.65
醇类	29.88	38.86	30.40	42.90	36.29	28.92	29.39	37.19	46.76	42.33
烃类	65.64	57.45	59.90	42.55	54.48	54.25	56.10	25.63	21.35	29.57
酮类	0.16	—	—	1.42	2.42	0.25	1.38	1.20	3.81	9.54
醛类	—	2.02	8.03	7.28	1.74	15.89	0.34	9.10	7.75	8.71
其他	4.47	6.11	1.67	4.99	6.41	0.69	2.14	3.98	0.75	5.22

注: —表示未检出.

### 3 讨论

风味是食品最重要的质量指标,包括香味和滋味,水产罐头的风味更偏重于香味,主要来源于醛类、酮类、醇类、酸类、烃类和一些含氮含硫等化合物<sup>[5]</sup>.由表2可知,黄颡鱼罐头加工过程中的主要挥发性物质为醇类、烃类、吡嗪类、酮类、醛类化合物,还有少量的其他类杂环化合物.

从黄颡鱼加工整个工艺流程来看,吡嗪类风味物质是在油炸过程中产生,这是因为黄颡鱼在高温条件下发生美拉德反应.经过杀菌后的样品虽然也含有吡嗪类化合物,但其种类减少,相对含量也有所降低.吡嗪类化合物是含有两个氮原子的杂环化合物,是食品原料有效的风味增强剂<sup>[6]</sup>,主要是在加热食品过程中氨基酸与糖反应生成<sup>[7]</sup>.它一般具有烤坚果、爆玉米花、煮咖啡等香味特征,阈值低<sup>[8]</sup>,是众多食品愉悦香气的来源,被认为是美拉德反应的产物<sup>[8]</sup>.Wu等<sup>[9]</sup>认为吡嗪类化合物可以作为鉴别酒类的一种风味化合物.由此可见,吡嗪类化合物是黄颡鱼罐头成品鱼中所特有的、被消费者普遍接受和认可的风味呈味物质.在油炸阶段吡嗪类化合物的相对含量较高的是油炸5 min.

烃类化合物是水产品的主要挥发性风味物质之一,一般无气味或气味微弱,因其阈值较高,对风味的贡献较小.它主要来自于脂肪酸烷氧自由基的均裂,但有些化合物是形成杂环化合物的重要中间体,对提高样品的整体风味有不可忽视的基底作用<sup>[10]</sup>,如4-异丙基甲苯有胡萝卜、萜烯香气、柑橘味道.在加工各阶段烃类化合物的相对含量较高的是腌制0 min、烘烤50 min、油炸3 min.

醇类物质一般来源于糖、氨基酸以及醛类物质的

还原,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,阈值比较高,除非以高浓度存在,否则对鱼肉的风味贡献很小<sup>[11]</sup>.Gaspardo等<sup>[12]</sup>研究表明圣丹尼尔火腿中醇类物质相对含量最高,约占41.38%,是鉴别火腿最重要的风味化合物之一.由表2可知,醇类是黄颡鱼罐头中种类较多的一类风味物质,其含量在加工各阶段有所波动,在油炸阶段种类最多,相对含量最高.在加工各阶段醇类化合物的相对含量较高的是腌制20 min、烘烤10 min、油炸7 min.

醛、酮类化合物的阈值较低,低含量时会对鱼肉风味产生较大贡献<sup>[13]</sup>,它能在脂质氧化中快速形成,大多具有花香和果香气息.醛类物质可能来源于不饱和脂肪酸氧化后形成的过氧化物的裂解,李来好等<sup>[14]</sup>在咸鱼中检测到己醛、庚醛、辛醛、壬醛,认为它们主要来源于油酸、亚油酸、亚麻酸及花生四烯酸等不饱和脂肪酸的分解.酮类可能是由于不饱和脂肪酸的热氧化或降解而产生的,具有特殊的香气,主要呈现桉叶味、脂肪味和焦燃味,对鱼肉气味的阈值远远高于其同分异构体的醛,对鱼肉气味的贡献相对较小.在黄颡鱼罐头加工各阶段样品中检测到的挥发性醛、酮类化合物种类少且含量较低.苯甲醛为烤花生的主要羰基化合物,具有令人愉快的杏仁香、坚果香和水果香,在最终罐头成品中占8.71%.在加工各阶段醛类化合物的相对含量较高的是腌制40 min、烘烤50 min、油炸5 min,酮类化合物的相对含量较高的是腌制0 min、烘烤30 min、油炸7 min.

杂环类化合物是水产品中重要的呈味物质,除2-正己基噻吩外,在加工各阶段样品中都检测到杂环化合物.含硫以及呋喃类化合物是烤制肉品中重要的呈香物质,它们来源于氨基酸和还原糖之间的美拉德反应、氨基酸(如脯氨酸)及硫胺素的热解反应.呋

喃类化合物大都具有很强的肉香味及极低的香气阈值。2-正戊基呋喃在低浓度时有令人愉快的果香、清香<sup>[15]</sup>,它存在于加工中的各个阶段,相对含量基本保持不变,对黄颡鱼的风味有一定贡献。含硫化合物2-正己基噻吩主要是由含硫氨基酸如蛋氨酸、半胱氨酸经 Stretcher 降解产生硫醇,甲基硫醇氧化可形成二甲基硫化物、二甲基二硫化物和二甲基三硫化物等<sup>[16]</sup>。2-正己基噻吩有肉香、火腿香,在原料鱼中未检测到,在最终罐头成品中占 1.95%,对黄颡鱼罐头整体风味有较大影响。因此,2-正己基噻吩也是黄颡鱼罐头成品鱼中所特有的、被消费者普遍接受和认可的风味的呈味物质。在加工各阶段其他类化合物的相对含量较高的是腌制 20 min、烘烤 30 min、油炸 5 min。

综上所述,黄颡鱼罐头加工过程中共鉴定出 27 种挥发性风味物质,在加工过程中挥发性风味物质的种类和含量都在发生变化:吡嗪类化合物种类和相对含量增长显著;醇类化合物的种类和相对含量变化不大;醛类、酮类的种类和相对含量都较少;杂环类化合物除 2-正己基噻吩外种类和相对含量变化不大。关于黄颡鱼罐头加工过程中挥发性风味物质变化对其总体风味的影响,还有待于进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 李明锋. 瓦氏黄颡鱼研究进展及前景展望[J]. 现代渔业信息, 2011, 26(1): 5-12.
- [2] 谭肖英. 黄颡鱼脂类营养生理研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2012.
- [3] 王霞,黄健,侯云丹,等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 268-272.
- [4] 钟映茹,周辉,娄爱华,等. 不同烟熏烘烤方式对湘西腊肉挥发性成分的比较[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 361-371.
- [5] 陈桂平. 草鱼低温贮藏期间质构及风味物质变化研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2014.
- [6] Sabik H, Fortin J, Martin N. Identification of pyrazine derivatives in a typical maple syrup using headspace solid-phase microextraction with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2012, 133(3): 1006-1010.
- [7] Müller R, Rappert S. Pyrazines: Occurrence, formation and biodegradation[J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2010, 85(5): 1315-1320.
- [8] Adams A, De Kimpe N. Formation of pyrazines from ascorbic acid and amino acids under dry-roasting conditions[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1417-1423.
- [9] Wu J F, Xu Y. Comparison of pyrazine compounds in seven chinese liquors using headspace solid-phase microextraction and GC-nitrogen phosphorous detection[J]. Food Science & Biotechnology, 2013, 22(5): 1253-1258.
- [10] 杨立平,仪淑敏,李学鹏,等. 秘鲁鱿鱼丝在加工过程中挥发性风味物质的变化规律[J]. 食品工业科技, 2012, 11(36): 265-272.
- [11] 王锡昌,陈俊卿. 顶空固相微萃取与气质联用法分析鲢肉中风味成分[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 176-180.
- [12] Gaspardo B, Procida G, Toso B, et al. Determination of volatile compounds in San Daniele ham using headspace GC-MS[J]. Meat Science, 2008, 80(2): 204-209.
- [13] Qiu X, Chen S, Liu G, et al. Characterization of farmed ovate pompano (*Trachinotus ovatus* Linnaeus) freshness during ice storage by monitoring the changes of volatile profile[J]. Food Science and Technology Research, 2014, 20(1): 79-84.
- [14] 李来好,丁丽丽,吴燕燕,等. 咸鱼中的挥发性风味成分[J]. 水产学报, 2012, 36(6): 979-988.
- [15] Dong L, Piao Y, Zhang X, et al. Analysis of volatile compounds from a malting process using headspace solid-phase micro-extraction and GC-MS[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 783-789.
- [16] 章建浩,朱健辉,王莉,等. 金华火腿传统工艺过程挥发性风味物质的分析研究[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 221-226.

责任编辑:郎婧