

# 不同贮藏条件下草鱼肌肉挥发性成分的变化分析

杨晶, 王建辉, 刘永乐, 陈奇, 俞健, 王发祥, 李向红

(长沙理工大学, 湖南省水生资源食品加工工程技术研究中心, 湖南长沙 410114)

**摘要:** 为了探讨不同贮藏时期草鱼肌肉挥发性成分的变化情况, 采用固相微萃取-气相-质谱联用法(SPME-GC-MS)检测冷藏(0~4 °C)及常温(25 °C)条件下不同贮藏时间点草鱼肌肉的风味成分组成。本研究共检出9大类物质, 主要是醛酮类、醇类、酸类、胺类、烃类及少量其他类化合物, 并分析了主要挥发性成分的含量、气味及其可能的来源。研究结果表明, 新鲜至冷藏9 d和常温6 h的草鱼肌肉挥发性成分以羰基化合物和醇类为主导风味, 且醇类物质含量较多, 此时青草味、土腥味明显; 冷藏9 d及常温6 h后, 酸类、胺类等低阈值物质明显增加, 加之醛类物质的作用, 此时表现为酸腐味和氨臭味明显; 常温贮藏条件下, 草鱼肌肉产生特征腐败气味速度更快, 即与冷藏相比, 腐败更为迅速。

**关键词:** 草鱼肌肉; SPME-GC-MS; 挥发性成分; 冷藏; 常温

文章编号: 1673-9078(2014)9-297-303

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.09.049

## Variation in Volatile Components of Grass Carp Muscle under Different Storage Conditions

YANG Jing, WANG Jian-hui, LIU Yong-le, CHEN Qi, YU Jian, WANG Fa-xiang, LI Xiang-hong

(Hunan Provincial Engineering Research Center for Food Processing of Aquatic Biotic Resources, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

**Abstract:** To investigate the variation in volatile components of grass carp muscle under different storage conditions, solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry(SPME-GC-MS) was performed to detect volatile components from samples stored at 0~4 °C and 25 °C, at different time points. Nine types of volatile compounds were detected, including aldehydes, ketones, alcohols, acids, amines, hydrocarbons, and small amounts of other compounds. In addition, the relative content, flavor, and possible origin of the main volatile compounds were further analyzed. The results showed that carbonyl compounds and alcohols were the main volatile components in fresh grass carp muscles, those under cold storage for 9 d, and those stored at room temperature for up to 6 h. In addition, these samples showed higher content of alcohols, and heavy grassy and earthy flavors were noted. After cold storage for 9 d and room-temperature storage for 6 h, the quantities of low-thresh old substances such as acids and amines, were significantly increased. In addition to the effects of aldehydes, strong, sour, and ammonia-like odors were noted. Under room-temperature storage, the characteristic odor of spoiled fish developed more quickly. Thus, fish at room temperature spoil more quickly than that under cold storage.

**Key words:** grass carp muscle; solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry; volatile components; cold storage; room temperature

我国淡水鱼产量超过2000万t, 占渔业总输出的50%左右。如何有效利用淡水鱼资源并且开发出高附加值的产品成为现今研究的热点。近年来鱼酱制作在

收稿日期: 2014-04-14

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31301564; 31201427);

“十二五”国家科技支撑计划项目课题(2012BAD31B08); 湖南省“十二五”重点学科建设项目

作者简介: 杨晶(1989-), 女, 硕士研究生在读, 研究方向为淡水生物资源开发

通讯作者: 刘永乐(1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为食品生物技术与农副产品加工

解决鱼骨剔除问题上取得了很大进展, 然而, 淡水鱼在加工及贮藏过程中极易产生不良风味的问题仍没得以从根本上解决。草鱼产量高、生长速度快、肉嫩、味美, 且有暖胃之功效, 深受消费者欢迎, 随着生活水平的提高, 鱼类产品的营养价值和风味品质越来越受到人们的重视。然而草鱼鱼肉因富含不饱和脂肪酸、内源组织酶活跃、易携带细菌等, 在贮藏过程中极易腐败变质, 并产生异味。新鲜度检测常用的方法如感官评定、理化指标检测和微生物检测等, 耗时长且工作量大。近年来, 风味成分检测技术迅速发展, 固相微萃取-气相-质谱联用法(SPME-GC-MS)可对挥发

性成分进行定性和定量检测,且具有快速、准确,易重复的优点,日趋受到人们的重视<sup>[1]</sup>。王璐等采用 SPME-GC-MS 技术对草鱼不同部位肌肉的气味进行检测,发现草鱼背肉、腹肉及红肉的挥发性成分均以挥发性羰基化合物和醇类为主<sup>[2]</sup>。Fu 等采用 SPME-GC-MS-O 技术对脂肪氧合酶(LOX)和血红蛋白在草鱼鱼片脂质氧化及挥发性风味形成动力学中的作用进行了比较,发现相对于血红蛋白,开始阶段 LOX 引发脂肪氧化的速度更快,但最终的 POV 值及 TBARS 值较低,即 LOX 与鱼腥味关系密切,而血红蛋白导致氧化鱼油味的产生<sup>[3]</sup>。Shi 等采用 SPME-GC-MS 分析了不同季节养殖草鱼腹部肌肉和红肉之间挥发性成分的差异,发现季节对草鱼红肉挥发性成分的影响较腹肉的小<sup>[4]</sup>。

尽管对草鱼肌肉风味研究的报道较多,然而,基于 SPME-GC-MS 技术对贮藏期间草鱼肌肉挥发性气味变化的研究尚无报道。本研究以常温(25℃)及冷藏(0~4℃)条件下草鱼肌肉为研究对象,采用 SPME-GC-MS 对不同贮藏时期草鱼肌肉的挥发性气味进行检测与比较分析,旨在揭示对草鱼肉风味影响较大的主要成分,在丰富风味化学理论的同时,为淡水鱼的风味研究、土腥味脱除和加工利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与试剂

鲜活草鱼,凌晨购自当地市场,每尾约 2.5 kg 左右。

NaCl 为分析纯(试剂只用了 NaCl)。

### 1.2 仪器

固相微萃取装置:手动进样手柄、萃取头[聚二甲基硅氧烷/二乙烯苯(PDMS/DVB),涂层厚度 65 μm],上海安谱科学仪器有限公司;QP2010 Plus 气质联用仪,日本岛津公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 原料处理

鲜活草鱼置于冰浴中,经“三去”(去头、去尾、去内脏)处理,去鱼鳞,剔除主刺和鱼皮,将鱼肉分割成 2.0 cm×3.0 cm×1.5 cm 的鱼块,将所有鱼块混匀后随机分装,自封袋内密封,一部分置于 4℃冰箱

中冷藏备用,另一部分置于 25℃培养箱中。分别于处理当天及冷藏 3、6、9、12、15 d,常温 6、12、18、24 h 取样分析。

#### 1.3.2 样品制备

分别于各取样点,随机选取不同处理的草鱼鱼块样品,绞碎,准确称取 2.5 g,加 0.18 g/mL NaCl 溶液 2.5 mL,匀浆后置于 10 mL 进样瓶中,并加入微型搅拌子。

#### 1.3.3 试验条件

##### 1.3.3.1 SPME 条件

采用 65 μm PDMS/DVB 萃取头,萃取温度 45℃,萃取时间 30 min,中速磁力搅拌(500~700 r/min)。

##### 1.3.3.2 GC-MS 条件

GC 条件 色谱柱:DB-5 ms 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);程序升温:柱初温 45℃,保持 3 min,以 10℃/min 升至 250℃,保持 8 min;进样口温度 230℃;载气(He)流量 0.95 mL/min;解吸时间 3 min,解吸温度 250℃,采用不分流模式进样。

MS 条件 传输线温度为 220℃,离子源温度为 200℃,四极杆温度为 150℃,电子能量为 70 eV,质量扫描范围 m/z 为 10~350。挥发性成分通过 NIST08 质谱数据库确认定性。

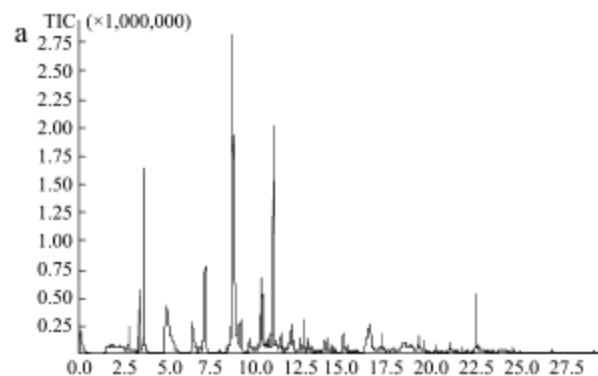
#### 1.3.4 数据分析

色谱图的分析由 GCMS postrun analysis 软件完成,挥发性成分根据其 NIST 数据库的正反匹配度(≥800)予以确认。对全部峰面积积分后,运用 Excel 数据处理系统,按面积归一化法求得各挥发性成分的相对百分含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同贮藏时期草鱼肌肉挥发性成分的

#### SPME-GC-MS 检测



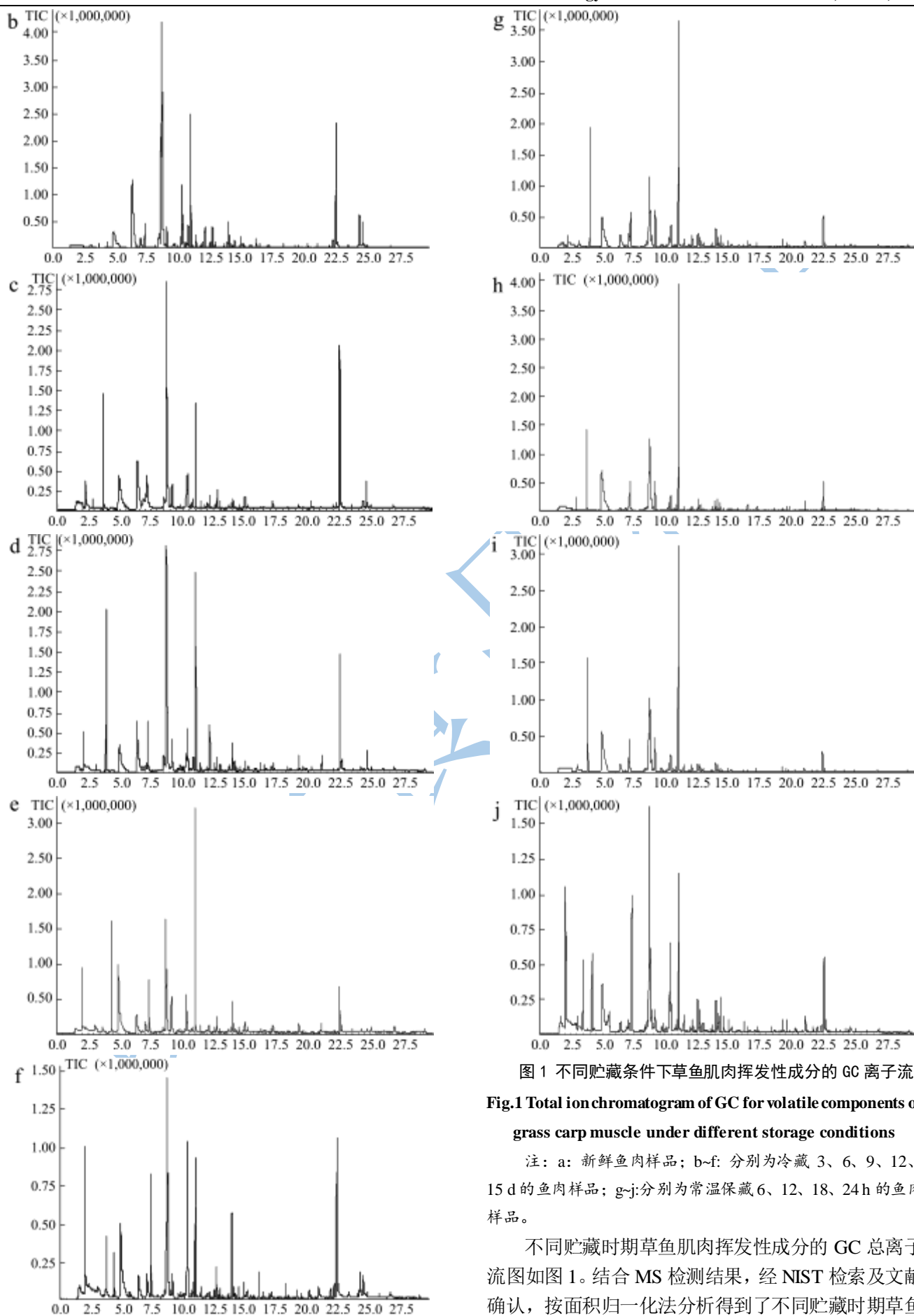


图 1 不同贮藏条件下草鱼肌肉挥发性成分的 GC 离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of GC for volatile components of grass carp muscle under different storage conditions

注：a：新鲜鱼肉样品；b-f：分别为冷藏 3、6、9、12、15 d 的鱼肉样品；g-j：分别为常温保藏 6、12、18、24 h 的鱼肉样品。

不同贮藏时期草鱼肌肉挥发性成分的 GC 总离子流图如图 1。结合 MS 检测结果，经 NIST 检索及文献确认，按面积归一化法分析得到了不同贮藏时期草鱼

肌肉挥发性成分的相对百分含量, 其中对草鱼肌肉特 所示。

征风味影响较大的挥发性成分的相对百分含量如表 1

表 1 不同贮藏条件下草鱼肌肉的主要挥发性成分

Table 1 The main volatile components of grass carp muscle under different storage conditions

分类	名称	相对含量/%									
		新鲜鱼肉	冷藏 (0~4℃)					常温 (25℃)			
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	6 h	12 h	18 h	24 h
醛类	己醛	8.34	6.63	14.46	14.66	21.70	15.59	18.06	20.70	21.10	9.82
	庚醛	-	-	2.43	1.29	2.22	-	3.32	2.56	1.71	1.03
	苯甲醛	0.24	0.21	0.23	0.26	0.32	0.25	0.40	0.59	0.38	0.60
	辛醛	2.44	2.43	2.90	3.84	4.64	2.56	6.09	4.57	4.13	1.72
	2-壬烯醛	0.73	0.56	0.41	0.23	0.28	0.32	0.13	0.28	0.20	0.11
	壬醛	10.24	8.99	6.90	13.45	18.27	7.89	23.27	19.59	20.52	10.22
	2-癸烯醛	0.05	0.21	0.16	0.26	0.33	0.20	0.17	0.19	0.11	0.20
	2,4-癸二烯醛	0.24	0.84	0.42	0.60	0.45	0.83	0.35	0.18	0.25	0.20
	2-辛烯醛	1.05	1.03	0.54	0.48	0.49	0.31	0.31	0.33	0.30	0.43
	其他醛类	0.15	0.80	3.83	2.60	5.61	1.33	5.33	5.53	4.81	3.17
小计	23.48	21.70	32.28	37.67	54.31	29.28	57.43	54.52	53.51	27.50	
醇类	1-己醇	17.97	18.94	13.11	9.11	4.48	3.55	4.68	2.53	1.00	1.37
	1-庚醇	0.46	1.60	1.37	1.84	0.87	0.56	1.13	0.63	0.42	0.68
	1-辛烯-3-醇	24.03	24.67	24.53	24.38	14.36	18.76	12.43	9.58	9.99	19.67
	异辛醇	0.43	0.09	0.16	0.22	0.33	0.26	0.19	0.14	0.11	0.29
	(E)-2-辛烯-1-醇	3.51	2.53	2.24	1.20	-	-	1.59	1.27	1.04	-
	1-壬醇	0.68	1.57	0.83	0.68	0.33	0.26	0.51	0.45	0.3	0.21
	正戊醇	0.50	0.36	0.54	0.45	0.20	0.17	0.36	0.45	0.29	0.1
	3-辛醇	0.15	0.20	0.16	0.64	0.45	0.36	0.27	0.60	0.60	0.70
	正辛醇	-	2.97	3.01	3.80	2.51	-	3.04	2.14	1.92	-
	其他醇类	2.39	1.19	3.31	3.29	2.18	8.40	3.11	3.61	3.01	8.83
小计	50.12	54.12	49.26	45.61	25.71	32.32	27.31	21.40	18.68	31.85	
酮类	2,3-辛二酮	16.69	-	-	0.28	7.99	7.20	6.26	9.88	7.96	7.95
	2,5-己二酮	-	18.96	12.23	9.03	-	-	-	-	-	-
	其他酮类	1.93	0.73	1.02	0.86	0.87	7.91	1.45	-	4.09	1.18
	小计	18.62	19.69	13.25	10.17	8.86	15.11	7.71	9.88	12.05	9.13
羧基化合物和醇类总量		92.22	95.51	94.79	93.45	88.88	76.71	92.45	84.80	84.24	68.48
酸类	乙酸	-	0.19	0.52	0.39	0.34	4.48	0.2	0.30	1.04	6.30
	十四酸	-	-	-	0.31	0.16	0.46	0.19	0.13	0.16	0.31
	十六酸	-	-	-	-	4.33	10.27	-	2.87	2.89	5.12
	其他酸类	-	0.07	0.11	0.18	0.63	0.96	0.06	0.09	2.37	6.22
	小计	-	0.26	0.63	0.88	5.46	16.17	0.45	3.39	6.46	17.95
胺类	乙胺、三甲胺及其他胺类	-	-	-	0.95	1.73	1.75	0.86	2.42	3.32	4.75
酸类和胺类总量		-	0.26	0.63	1.83	7.19	17.92	1.31	5.81	9.78	22.70
烃类及其他类	烃类	2.88	2.40	1.47	3.16	2.28	2.03	4.21	6.06	1.97	8.35
	其他	4.90	1.83	3.11	1.56	1.65	3.34	2.03	3.33	4.01	0.47
	小计	7.78	4.23	4.58	4.72	3.93	5.37	6.24	9.39	5.98	8.82
总计		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

注：“-”代表未检出。

## 2.2 主要挥发性成分含量的比较

### 2.2.1 醛类化合物

醛类是脂肪氧化的主要产物, 阈值相对较低, 具有脂肪香, 对鱼类总体风味有重要影响。庚醛通常产生辛辣的刺激性气味, 辛醛和壬醛均为油酸的氧化产物, 前者具有水果香和青草香, 后者表现为不愉快气味; 而苯甲醛则由亚油酸降解产生, 也可能涉及其他非脂肪氧化途径<sup>[5]</sup>, 对鱼腥味的产生具有一定影响。己醛因其合成途径多样, 如由油酸、亚油酸和花生四烯酸氧化形成的氢过氧化物的裂解生成, 或者由其它不饱和醛如 2,4-癸二烯醛降解生成<sup>[6]</sup>, 在鱼类挥发性成分中通常占有很大比例, 表现为酸腐味。不饱和醛在鱼肉特征风味形成中发挥着很大作用, 其中, 2,4-癸二烯醛作为腥味物质普遍存在于鱼体内。2-辛烯醛和 2-壬烯醛均为亚油酸降解产物, 2-癸烯醛则为油酸和亚油酸的降解产物, 常带有油脂腐臭味及鱼腥味<sup>[7]</sup>。

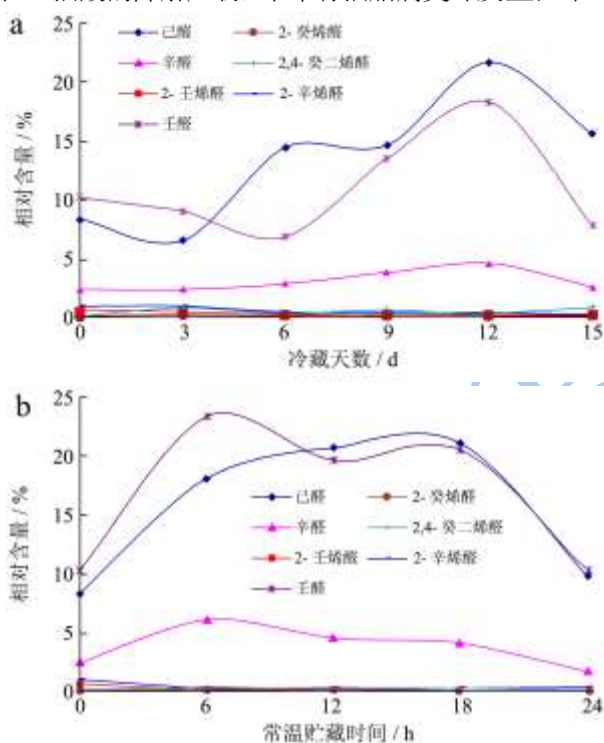


图2 冷藏 (a) 及常温 (b) 贮藏过程中草鱼肌肉主要挥发性醛类的变化

Fig.2 The variations of volatile aldehydes in grass carp muscle of chilled storage (a) and at room temperature (b)

由表 1 可知, 在草鱼肌肉的挥发性成分中醛类物质所占比例较大, 且常温贮藏条件下草鱼肌肉挥发性醛类相对冷藏样品要多。在不同贮藏时期草鱼肌肉产生的挥发性醛类中, 己醛、庚醛、辛醛、壬醛和烯醛类化合物等, 因阈值较低, 故对草鱼肌肉特征风味的产生起重要作用, 这与 Rabe 等人的研究结果一致,

即脂肪氧化产物对风味成分的组成有重要影响<sup>[8]</sup>。在主要的挥发性醛类物质中, 己醛和壬醛的含量较高, 且随着草鱼肌肉贮藏时间的延长, 己醛和壬醛含量的变化比较明显, 由图 2 可见, 0 d 到冷藏 12 d 和常温 18 h 期间, 己醛含量呈上升趋势, 由 8.34% 分别上升到 21.70%、21.10%; 0 d 到冷藏 6 d, 壬醛含量稍有下降, 由 10.24% 降至 6.90%, 冷藏 6 d 至 12 d 又上升至 18.27%, 0 d 到常温 6 h 壬醛含量由 10.24% 上升至 23.27% 而后下降。常温贮藏下这种变化速度更快, 这是由于随着脂肪氧化程度的加深, 油酸、亚油酸和花生四烯酸氧化加剧而形成, 常温下脂肪酸的氧化降解更为迅速。冷藏 12 d 及常温 18 h 后己醛含量下降, 冷藏 12 d 及常温 6 h 后壬醛含量下降, 可能是氧化生成酸或其它腐败味成分相对增加的缘故。2-辛烯醛、2-壬烯醛、2-癸烯醛和 2,4-癸二烯醛等不饱和醛具有较低阈值, 虽含量低, 对草鱼腥味的形成也有一定的影响。此外, 研究发现其它醛类物质的微量存在, 如十二醛、十四醛、十八醛, 分别具有柑橘香、脂肪香和椰子香。由此可见, 0 d 到冷藏 12 d 及常温 18 h 草鱼肌肉中己醛引起的酸腐味不断加重, 而后相对减弱; 0 d 到冷藏 12 d 及常温 6 h 壬醛引起的不愉快气味加重, 而后相对减弱。

### 2.2.2 醇类化合物

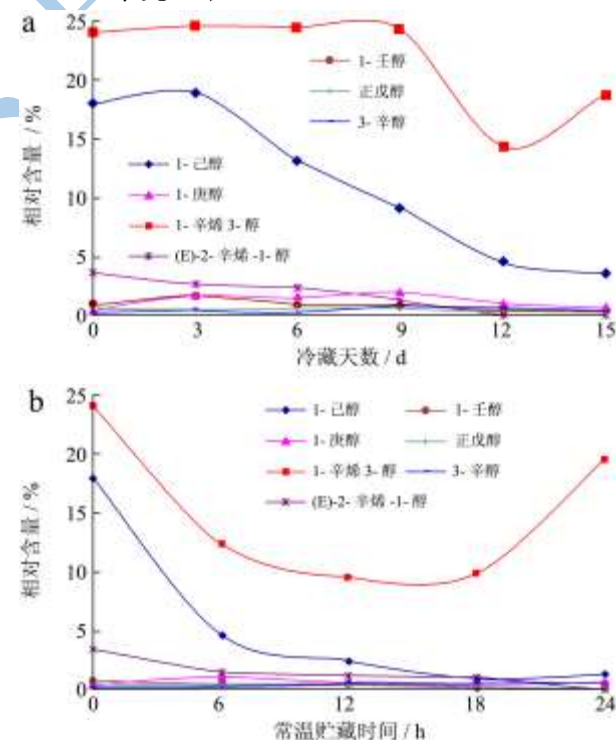


图3 冷藏 (a) 及常温 (b) 贮藏过程中草鱼肌肉主要挥发性醇类的变化

Fig.3 The variations of volatile alcohols in grass carp muscle of chilled storage (a) and at room temperature (b)

醇类的风味阈值较醛酮类高,其分子结构对香气强度及类型有一定影响,挥发性醇通常产生柔和的气味,而低级脂肪醇香气不明显;但随着碳链的增长,可产生清香、木香、脂肪香;而不饱和醇的阈值一般较低,具有蘑菇香及类似金属味<sup>[9]</sup>,这些醇类物质一般通过脂肪的氧化分解或羰基化合物还原生成。1-己醇与新鲜淡水鱼的植物性气味密切相关,呈现出青草味<sup>[10]</sup>,正辛醇由油酸氧化分解产生,表现为金属味,(E)-2-辛烯-1-醇则带有泥土气味,1-辛烯-3-醇是一种亚油酸的氢过氧化物的降解产物,具有类似泥土或蘑菇气味<sup>[11]</sup>,在鱼类的挥发性成分中普遍存在,因其阈值较低,且在草鱼肉中含量较高,可能是造成草鱼较重泥土味的重要原因。

由表1可见,醇类物质在草鱼肉挥发性成分中亦占相当比例,与醛类物质相反,冷藏草鱼肌肉中挥发性醇类相对常温样品要多。草鱼肌肉中主要的挥发性饱和醇有1-己醇、1-庚醇、异辛醇、1-壬醇、正戊醇、3-辛醇和正辛醇7种,主要不饱和醇有1-辛烯-3-醇和(E)-2-辛烯-1-醇2种。其中,含量相对较大的有1-己醇、正辛醇、1-辛烯-3-醇和(E)-2-辛烯-1-醇4种。由图3可见,1-己醇和1-辛烯-3-醇在草鱼肌肉贮藏过程中产生量多且变化明显。冷藏条件下草鱼肌肉挥发性成分中,1-己醇的相对含量由新鲜时的17.97%降为15d的3.55%,1-辛烯-3-醇由新鲜时的24.03%降为12d的14.36%;常温条件下1-己醇的相对含量由新鲜时的17.97%降至18h的1.37%,1-辛烯-3-醇由新鲜时的24.03%降为18h的9.99%。该两种物质在常温贮藏草鱼肌肉样品中下降幅度更大,即表现出的青草味和泥土味减弱,说明常温贮藏条件下醇类挥发性成分组成变化更为明显,而其具体原因有待进一步深入研究。而冷藏12d和常温18h后,1-辛烯-3-醇的含量有所上升,可能是因为腐败加剧,亚油酸降解加速的缘故。总体来说,由于醇类物质的阈值较高,除非以高浓度存在,否则对鱼肉风味的贡献较小。本研究中1-辛烯-3-醇阈值相对其他醇类较低,且以高浓度存在,可能对贮藏期间草鱼特征风味影响较大,1-己醇、(E)-2-辛烯-1-醇次之。

### 2.2.3 酮类化合物

酮类主要由不饱和脂肪酸的氧化、微生物作用或氨基酸降解产生<sup>[12]</sup>,对腥味物质起到增强作用。草鱼肌肉中存在量较多的酮类物质包括2,3-辛二酮和2,5-己二酮两种,已有报道称这两种酮类是很多鱼类肌肉中对风味影响较大的成分,故可推测其对草鱼肌肉特征风味的形成也有一定影响。从表1可知,该两种酮类物质含量的总和在整个贮藏过程中呈现先升高后下

降的趋势,即0d到冷藏3d由16.69%上升至18.96%,到冷藏15d下降至7.20%;0d到常温6h由16.69%下降至6.26%,到常温12h上升至9.88%而后又下降。其变化原因有待于进一步研究。

### 2.2.4 其他类化合物

由检测结果可见,对草鱼肌肉风味影响较大的挥发性成分除了羰基化合物及醇类物质外,酸类,胺类及一些其它化合物对草鱼肉风味影响亦很大,尤其是对腐败的草鱼肌肉而言。酸类的来源较复杂,如乙酸、丙酸等小分子酸多通过微生物降解糖类而产生<sup>[13]</sup>,而一些带支链的脂肪酸则可能由氨基酸的微生物降解产生。鱼类死后,鱼体组织中的含氮物质被分解生成氨、三甲胺、组胺等胺类物质,使鱼肉散发出具有腐败特征的臭味。由表1可见,草鱼肌肉贮藏过程中酸类主要以乙酸、十四酸及十六酸为主,胺类物质有乙胺和三甲胺等。随着贮藏时间的延长,其新鲜度下降,所产生的挥发性酸类、胺类物质逐渐增多。冷藏15d和常温24h总酸含量分别达到16.17%和17.95%,总胺类物质含量分别达到1.75%和4.75%;冷藏12d草鱼肌肉中的酸类物质含量为4.83%,与常温18h的4.08%含量相当,常温贮藏12h草鱼肉中的胺类物质含量为2.42%,已超过冷藏15d的1.75%,即常温贮藏的草鱼肉腐败变质速度更快,凸显出了冷藏的优势。

烃类主要由脂肪酸烷氧自由基的均裂产生,阈值较高,对草鱼肌肉风味贡献不大,但有助于提高其整体风味效果,而3,5,5-三甲基-2-己烯、3,5,5-三甲基己烯、8-甲基十一烯等烯烃在一定条件下可能形成酮或醛,是腥味产生的潜在因素。此外,还检测到一些化合物如萘、1-甲基萘、甲苯等通常会造造成鱼肉不愉快风味的物质,可能是环境污染物转移到鱼体内而形成<sup>[14]</sup>。酯类、呋喃类物质等也微量检出,如戊酸甲酯、2-戊基呋喃等,这些物质通常有较低的阈值,对草鱼肌肉的肉香味有一定贡献。

## 3 结论

本研究采用SPME-GC-MS技术研究了新鲜草鱼肌肉在冷藏(0~4℃)和常温(25℃)贮藏期间的挥发性气味的变化,共检出9大类物质,主要是醛酮类、醇类、酸类、胺类、烃类及少量其他类化合物。新鲜至冷藏9d和常温6h的草鱼肌肉挥发性气味以羰基化合物和醇类为主,且醇类物质含量较多,此时青草味、土腥味明显;冷藏9d及常温6h后,酸类、胺类等低阈值物质明显增加,加之醛类物质的作用,此时表现为酸腐味和氨臭味;与冷藏相比,常温贮藏草鱼肌肉产生特征腐败气味速度快,腐败更为迅速。究其风味

劣变原因,主要是脂质、蛋白质的氧化降解所引起,而温度是影响脂质、蛋白质氧化降解的重要因素,常温条件下草鱼肌肉内源酶活性及微生物活动等加强,更易发生腐败变质。本研究揭示了对草鱼肉风味影响较大的主要成分,在丰富风味化学理论的同时,也为淡水鱼的风味研究、土腥味脱除和加工利用提供了理论依据。

### 参考文献

- [1] 顾赛麒,王锡昌,刘源,等.不同新鲜度冷却猪肉中挥发物的变化[J].江苏农业学报,2011,27(1):169-176  
GU Sai-qi, WANG Xi-chang, LIU Yuan, et al. Changes of volatile compounds in chilled pork at different freshness[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2011, 27(1): 169-176
- [2] 王璐,王锡昌,刘源.草鱼不同部位气味研究[J].食品科学, 2010,6:158-164  
WANG Lu, WANG Xi-chang, LIU Yuan. Comparative analysis of odor and volatile composition of different parts of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) carcass [J]. Food Science, 2010,6: 158-164
- [3] Fu X, Xu S, Wang Z. Kinetics of lipid oxidation and off-odor formation in silver carp mince: the effect of lipoxygenase and hemoglobin [J]. Food research international, 2009, 42(1): 85-90
- [4] Shi W Z, Ying M M, Wang X C. Effect of seasons on volatile compounds in grass carp meat [J]. Advanced Materials Research, 2012, 554(6): 1565-1571
- [5] Chen W S, Liu D C, Chen M T. The effect of roasting temperature on the formation of volatile compounds in Chinese-style pork jerky [J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2002, 15(3): 427-431
- [6] Nieto G, Bañón S, Garrido M D. Effect of supplementing ewes' diet with thyme (*Thymus zygis ssp. gracilis*) leaves on the lipid oxidation of cooked lamb meat [J]. Food Chemistry, 2011, 125(4): 1147-1152
- [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] Rabe S, Krings U, Berger R G. Influence of oil-in-water emulsion properties on the initial dynamic flavor release [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(11): 1124-1133
- [9] 刘红,杨荣华,戴志远,等.利用鲢鱼制备肉味香精及其香气成分的分析[J].中国食品学报,2010,10(2):149-153  
LIU Hong, YANG Rong-hua, DAI Zhi-yuan, et al. The preparation of meat flavor essence from silver carp and the analysis of flavor components [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10(2): 149-153
- [10] Calkins C R, Hodgen J M. A fresh look at meat flavor [J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63-80
- [11] Josephson D B, Lindsay R C, Stuibler 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
- [12] 俞海峰,何芳,周浙良.水产品的风味研究进展[J].现代渔业信息,2009,24(3):14-16  
YU Hai-feng, HE Fang, ZHOU Zhe-liang. Progress in research of flavor of aquatic products [J]. Modern Fisheries Information, 2009, 24(3): 14-16
- [13] Kandler O. Carbohydrate metabolism in lactic acid bacteria [J]. Antonie van Leeuwenhoek, 1983, 49(3): 209-224
- [14] 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 Agricultural Sciences, 2011, 27(1): 177-182