

不同温度条件下草鱼肉挥发性成分的检测

施文正, 陈青云, 尤其嘉, 王锡昌*

(上海海洋大学食品学院, 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 采用固相微萃取-气相色谱-质谱分析不同温度条件下草鱼背肉挥发性风味成分。固相微萃取-气相色谱操作条件: 采用65 μm PDMS/DVB萃取头, 萃取时间40 min; 色谱条件采用程序升温: 柱初温40 $^{\circ}\text{C}$, 保持2 min, 以4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至160 $^{\circ}\text{C}$, 而后以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至250 $^{\circ}\text{C}$, 保持5 min。经气相色谱-质谱分析检测, 草鱼背肉在30、45、60、80、95 $^{\circ}\text{C}$ 分别确定出23、43、52、68、74种挥发性成分; 随着温度的升高, 草鱼背肉挥发性成分的种类也随之增多, 醇类、醛酮类、烃类及芳香族等化合物的相对含量有明显变化; 80 $^{\circ}\text{C}$ 与95 $^{\circ}\text{C}$ 检测到的挥发性成分大部分差异不显著, 可以认为代表熟鱼肉的风味特征。挥发性成分中的1-己醇、1-辛烯-3-醇、己醛、2,3-辛二酮及其他饱和醛通常被认为对水产品风味有较大影响, 当温度变化时, 含量变化也较大。

关键词: 温度; 草鱼肉; 气质联用仪; 挥发性成分

Effect of Solid-Phase Microextraction Temperature on the Determination of Volatile Compounds of Grass Carp Meat

SHI Wen-zheng, CHEN Qing-yun, YOU Qi-jia, WANG Xi-chang*

(Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-product Processing & Preservation,
College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In this work, the volatile compounds of grass carp meat were extracted and concentrated by headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME) and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The optimum operating conditions for the HS-SPME method were determined as follows: extraction for 40 min using a 65 μm PDMS/DVB SPME fiber at different temperatures; the initial column temperature was set at 40 $^{\circ}\text{C}$ for 2 min and programmed to increase to 160 $^{\circ}\text{C}$ at a rate of 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, then to 250 $^{\circ}\text{C}$ at a rate of 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ and kept at 250 $^{\circ}\text{C}$ for 5 min. The results of GC-MS analysis showed that 23, 43, 52, 68 and 74 volatile compounds were detected in dorsal meat of cultured grass carp extracted at 30, 45, 60, 80 and 95 $^{\circ}\text{C}$, respectively. Moreover, it was found that with increasing extraction temperature, the number of volatile compounds identified from grass carp meat and the contents of alcohols, aldehydes, ketones, aromatic and hydrocarbon compounds were significantly altered. The volatile compounds detected at 80 and 95 $^{\circ}\text{C}$ were not significantly different, which may represent the flavor characteristics of cooked grass carp meat. 1-Hexanol, 1-octen-3-ol, hexanal, 2,3-octanedione and other saturated aldehydes are generally considered to be mainly responsible for the flavor aquatic products. We found that the contents of these compounds considerably changed with temperature.

Key words: temperature; grass carp meat; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); volatile compounds

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 04-0066-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201404014

我国淡水资源丰富, 淡水鱼产量已连续十几年居世界首位, 但是淡水鱼特殊的风味很难被一部分人群接受, 使其加工与消费受到了严重地制约^[1]。加热是人们食用鱼肉的最常见的加工方式, 而对其引起的鱼肉风味的变化则研究较少。加热对鱼肉的风味有较大的影响, 温度升高会使鱼肉中酶活性降低并失活, 蛋白质、脂肪

等大分子物质降解, 使草鱼肉的风味产生变化。固相微萃取-气相色谱-质谱 (solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS) 法^[2-8]是目前研究食品中挥发性成分的主要方法, 本实验通过控制SPME的萃取温度, 得到不同温度条件下草鱼肉的挥发性风味成分, 进而采用GC-MS对挥发性成分进行分离

收稿日期: 2013-04-25

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31171764); 上海海洋大学博士启动基金项目 (110201);

上海市科委工程中心建设项目 (11DZ2280300); 上海市高校知识服务平台项目 (ZF1206)

作者简介: 施文正 (1975—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为水产品加工、食品风味。E-mail: wzshi@shou.edu.cn

*通信作者: 王锡昌 (1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品营养与风味。E-mail: xcwang@shou.edu.cn

和定性定量分析,不仅可以丰富鱼肉风味化学的理论知识,还可以为淡水鱼的加工利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

草鱼购于上海市果园农贸市场,所选体质量为2.5~3.0 kg/尾,采用重击头部致死(晕)后去头,取草鱼背肉,−18℃冻藏备用。

1.2 仪器与设备

固相微萃取头(选用聚二甲基硅氧烷/二乙烯苯(polydimethylsiloxane/divinylbenzene, PDMS/DVB),涂层厚度65 μm) 美国Supelco公司; GC 6890气相色谱-MS5975质谱联用仪 美国Agilent公司; HP-5MS弹性毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)。

1.3 方法

1.3.1 样品制备方法

准确称取经搅碎的草鱼肉2.5 g,并加入2.5 mL 0.18 g/mL NaCl溶液,匀浆后置于含有微型搅拌子的15 mL顶空瓶中。

1.3.2 顶空固相微萃取条件

采用65 μm PDMS/DVB萃取头,萃取温度分别选取30、45、60、80℃和95℃,萃取时间均为40 min,磁力搅拌选用中速(500~700 r/min)。

1.3.3 色谱条件

采用程序升温^[9]:柱初温40℃,保持2 min,后以4℃/min升至160℃,然后以10℃/min升至250℃,保持5 min;进样口温度:250℃;解吸温度:250℃;解吸时间:5 min;模式进样:不分流;载气(He)流量:1.0 mL/min。

1.3.4 质谱条件

传输线温度:280℃;离子源温度:230℃;四极杆温度:150℃;电子能量:70 eV;质量扫描范围 m/z 35~350。

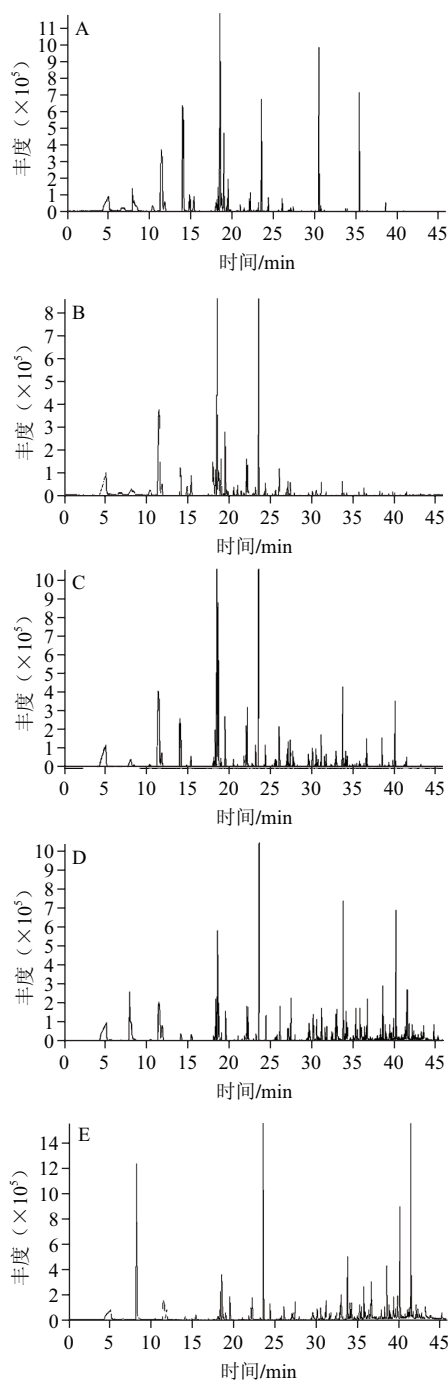
1.4 数据处理

GC-MS数据处理由Xcalibur软件系统完成,草鱼肉挥发性成分通过NIST 02和Wiley质谱数据库定性确认;采用面积归一化法求得各成分在不同样品的挥发性成分中的相对含量;在方差分析的基础上,利用最小显著差数法对实验结果进行多重比较,分析加热温度对草鱼肉挥发性成分的影响^[10]。

2 结果与分析

2.1 不同温度条件下草鱼肉挥发性成分总离子流图

不同温度条件下草鱼背肉挥发性成分的GC-MS色谱图如图1所示。



A. 30℃; B. 45℃; C. 60℃; D. 80℃; E. 95℃。

图1 不同温度条件下草鱼背肉挥发性成分总离子流图

Fig.1 TIC of volatile compounds in the dorsal meat at different extraction temperatures

2.2 不同加热条件下草鱼肉挥发性成分的分析

表1为不同温度条件下草鱼肉的挥发性成分分析结果^[8,11-14], 30、45、60、80、95℃条件下草鱼肉挥发性成分分别有23、43、52、68、74种,随着温度的升高,挥发性成分中醇类含量快速下降,芳香族及其他类含量急剧上升,醛酮类总量略有增加;相对含量变化较大的有1-己醇(从45℃时的15.06%下降到95℃时的0.58%)和1-辛

烯-3-醇（从18.85%下降到4.99%）等；醛酮类中，低分子质量的醛含量下降，高分子质量的饱和醛增加，不饱和醛和酮类变化不明显；烃类及其他中检出化合物大量增加，由于这些物质阈值较高，对风味只是起到协同作用的影响。

为了更明确温度对草鱼背肉挥发性成分的影响，对草鱼肉中含量较高或阈值很小的主要挥发性成分进行方差分析（最小显著差数法）比较，结果见表1，结果表明，这些主要挥发成分都差异显著，更进一步说明温度对草鱼背肉的挥发性成分有很大影响。由方差分析结果可知，80℃和95℃检测到的草鱼肉主要挥发性成分大都差异不显著，说明80℃与95℃加热后草鱼风味差别很小，即80℃以上加热40 min后草鱼基本为熟草鱼。

表1 不同加热温度条件下草鱼肉挥发性成分分析结果
Table 1 Volatile compounds detected in dorsal meat at different extraction temperatures

类别	化合物名称	相对含量/%				
		30℃	45℃	60℃	80℃	95℃
醇类	1-戊醇	2.01±0.89	0.18±0.03	0.13±0.04	ND	ND
	1-己醇	12.92±1.11 ^{aA}	15.06±2.52 ^{aA}	7.26±1.50 ^{bB}	1.55±0.44 ^{cC}	0.58±0.16 ^{cC}
	1-庚醇	0.28±0.01 ^{cB}	0.66±0.03 ^{aA}	0.71±0.03 ^{aA}	0.41±0.08 ^{bB}	0.35±0.00 ^{bB}
	1-辛烯-3-醇	12.25±1.33 ^{bB}	18.85±0.91 ^{aA}	14.20±1.16 ^{bB}	8.36±0.31 ^{cC}	4.99±0.40 ^{dD}
	3-辛醇	ND	0.14±0.03	ND	ND	ND
	2-乙基-1-己醇	0.21±0.02	0.12±0.01	ND	0.14±0.06	ND
	4-乙基-环己醇	ND	ND	0.29±0.03	0.41±0.04	0.33±0.10
	2-辛烯-1-醇	0.80±0.09	1.20±0.07	1.95±0.23	1.84±0.17	1.11±0.05
	1-辛醇	0.97±0.06	2.20±0.22	2.93±0.29	1.96±0.13	1.85±0.39
	1-壬烯-4-醇	ND	1.78±0.22	1.12±0.03	0.56±0.10	0.28±0.01
	1-壬醇	ND	0.68±0.06	1.95±0.15	ND	ND
	正十四醇	ND	ND	ND	0.35±0.02	0.54±0.00
	1-十六醇	ND	ND	ND	0.42±0.06	1.04±0.16
	叶绿醇	ND	ND	ND	ND	0.19±0.04
	雪松醇	ND	ND	ND	0.28±0.04	0.53±0.04
	1-十八醇	ND	ND	ND	0.42±0.09	0.98±0.15
	小计	29.44	40.87	30.54	16.94	12.77
醛酮类	己醛	43.84±1.58 ^{aA}	18.26±1.92 ^{bB}	17.13±0.74 ^{bB}	10.73±1.18 ^{cC}	7.20±0.05 ^{dC}
	庚醛	0.71±0.13 ^{cB}	0.80±0.01 ^{cB}	1.28±0.12 ^{aA}	1.02±0.13 ^{bAB}	1.01±0.13 ^{bAB}
	庚烯醛	0.53±0.02	0.20±0.03	ND	ND	ND
	苯甲醛	ND	0.25±0.01	0.40±0.04	0.63±0.05	0.64±0.01
	1-辛烯-3-酮	0.31±0.07	ND	ND	ND	ND
	2,3-辛二酮	11.78±1.29 ^{bB}	17.75±0.82 ^{aA}	9.47±0.16 ^{cC}	2.95±0.04 ^{dD}	0.88±0.06 ^{dD}
	3-辛酮	0.58±0.35	0.59±0.03	0.64±0.04	0.44±0.06	0.30±0.05
	辛醛	1.09±0.19 ^{cB}	1.48±0.23 ^{bB}	2.51±0.30 ^{aA}	1.94±0.18 ^{bAB}	1.86±0.35 ^{aAB}
	2,4-庚二烯醛	ND	0.16±0.02	ND	ND	ND
	3-辛烯-2-酮	ND	0.13±0.09	ND	ND	ND
	2-辛烯醛	1.34±0.01 ^{aA}	1.09±0.07 ^{bB}	0.60±0.06 ^{cC}	0.43±0.05 ^{dD}	0.40±0.00 ^{dD}
	2-甲基-3-辛酮	ND	0.38±0.02	0.18±0.01	ND	ND
	壬醛	6.24±0.57 ^{bB}	10.21±3.21 ^{bAB}	16.94±2.35 ^{aA}	14.36±1.32 ^{bAB}	11.53±2.76 ^{aAB}
	2,6-壬二烯醛	ND	0.12±0.01 ^{bB}	0.24±0.06 ^{aA}	0.24±0.03 ^{aA}	ND
	2-壬烯醛	0.14±0.01 ^{dC}	0.20±0.02 ^{bC}	0.28±0.01 ^{bAB}	0.38±0.08 ^{aA}	0.31±0.01 ^{abAB}
	4-乙基苯乙醛	ND	ND	ND	2.12±0.23	1.37±0.00
	4-癸烯醛	ND	0.23±0.04	0.54±0.06	0.71±0.07	0.48±0.01
	癸醛	0.30±0.03 ^{dD}	0.42±0.09 ^{dD}	1.08±0.12 ^{cB}	1.92±0.09 ^{aA}	1.33±0.03 ^{bB}
	2-癸烯醛	ND	0.31±0.04 ^{cC}	0.16±0.04 ^{dD}	0.47±0.03 ^{bB}	0.64±0.02 ^{aA}
	2-十一烯醛	ND	ND	0.51±0.01	1.05±0.02	0.70±0.05

续表1

类别	化合物名称	相对含量/%				
		30℃	45℃	60℃	80℃	95℃
醛酮类	3-十一酮	ND	0.41±0.09	0.73±0.11	ND	ND
	(E,Z)-2,4-癸二烯醛	ND	0.59±0.13 ^{aA}	ND	ND	ND
	正十一醛	ND	ND	0.20±0.02	0.47±0.05	0.53±0.02
	(E,E)-2,4-癸二烯醛	ND	0.60±0.14 ^{abA}	0.52±0.08 ^{aA}	0.70±0.10 ^{abA}	0.78±0.06 ^{aA}
	环癸酮	ND	ND	0.19±0.02	0.50±0.06	0.41±0.04
	3,5-壬二烯-2-酮	ND	0.55±0.14	ND	ND	ND
	2-十二烯醛	ND	ND	ND	2.44±0.46	2.55±0.32
	正十二醛	ND	ND	0.41±0.07 ^{bB}	1.06±0.12 ^{aA}	1.19±0.09 ^{aA}
	4-戊基-苯甲醛	ND	ND	0.21±0.01	1.40±0.01	1.36±0.10
	正十三醛	ND	0.21±0.04	0.78±0.05	1.66±0.02	2.18±0.14
	正十四醛	ND	ND	0.82±0.08	2.20±0.15	2.24±0.08
	正十六醛	ND	0.36±0.12	1.65±0.12	4.28±0.20	5.73±0.43
	正十八醛	ND	ND	0.34±0.11	3.14±0.38	10.15±0.75
	9-十八碳烯醛	ND	ND	ND	0.26±0.10	0.99±0.19
	10-十八碳烯醛	ND	ND	ND	ND	0.70±0.15
	小计	66.86	55.30	57.81	57.52	59.56
羧酸类	乙酸	ND	ND	ND	ND	0.12±0.03
	2-戊基呋喃	ND	0.38±0.09 ^{bB}	0.60±0.08 ^{abB}	0.76±0.16 ^{abA}	0.87±0.08 ^{aA}
	1,2,3,4-四甲基苯	0.22±0.05	0.08±0.01	0.16±0.01	ND	ND
	1,2,4,5-四甲基苯	0.68±0.06	0.29±0.03	0.55±0.08	0.42±0.02	0.28±0.02
	萘	1.42±0.05	0.81±0.10	1.41±0.04	1.29±0.01	0.99±0.03
	壬酸	ND	ND	ND	0.23±0.03	0.25±0.02
	4-甲基-5-噻唑乙醇	ND	ND	0.65±0.01	3.39±1.05	2.06±0.12
	正十三烷	ND	ND	0.47±0.06	0.62±0.04	0.59±0.10
	2-甲基萘	1.00±0.01	0.77±0.09	1.39±0.02	1.86±0.09	1.50±0.03
	4-(1-甲基-丙基)苯酚	ND	ND	ND	0.25±0.03	0.27±0.02
	1-甲基萘	0.38±0.00	0.32±0.03	0.62±0.02	0.91±0.05	0.72±0.04
	1,3,5-十一碳三烯	ND	ND	0.38±0.03	1.36±0.09	1.08±0.18
	环巴比妥	ND	0.83±0.60	2.93±0.42	6.14±0.38	4.31±0.41
	联苯	ND	ND	0.17±0.07	0.31±0.04	0.21±0.10
	十四烷	ND	ND	ND	0.38±0.05	0.33±0.08
	5-苯基-4-戊烯酸	ND	ND	ND	0.33±0.04	0.35±0.11
萜烯类及其他	2-噻啉胺	ND	0.21±0.04	ND	ND	ND
	十氢化-1,6-二甲基萘	ND	ND	0.59±0.07	1.42±0.12	1.19±0.09
	2,7-二甲基萘	ND	ND	ND	0.15±0.03	0.21±0.01
	1,5-二甲基萘	ND	ND	ND	0.12±0.05	0.20±0.01
	1,4-二甲基萘	ND	0.07±0.01	0.16±0.02	0.35±0.01	0.38±0.00
	1,6-二甲基萘	ND	ND	ND	0.17±0.00	0.20±0.00
	6,10-二甲基-5,9-十一碳二烯-2-酮	ND	ND	0.18±0.11	0.88±0.58	0.77±0.12
	1-丁烯基苯	ND	ND	ND	ND	0.59±0.03
	1,3,5-十二碳三烯	ND	ND	ND	0.26±0.01	0.37±0.01
	正十五烷	ND	0.06±0.02	0.22±0.17	0.49±0.10	0.52±0.04
	2-甲基联苯	ND	ND	ND	0.32±0.01	0.40±0.03
	1,6-二甲基-4-异丙基四氢萘	ND	ND	ND	ND	0.34±0.03
	邻苯二甲酸二乙酯	ND	ND	ND	ND	0.22±0.05
	十六烷	ND	ND	0.41±0.50	0.43±0.09	0.69±0.04
	2-甲硫基苯并噻唑	ND	ND	0.16±0.02	0.62±0.05	1.10±0.15
	正十七烷	ND	ND	0.61±0.77	1.02±0.22	1.66±0.10
	2,4-二甲基苯乙炔	ND	ND	ND	0.23±0.06	0.76±0.00
	十八烷	ND	ND	ND	0.37±0.13	0.72±0.09
	二十烷	ND	ND	ND	0.34±0.09	0.75±0.16
	邻苯二甲酸丁辛酯	ND	ND	ND	0.38±0.18	1.11±0.24
	二十七烷	ND	ND	ND	ND	0.45±0.03
	十六碳酸	ND	ND	ND	ND	1.15±0.03
	小计	3.70	3.82	11.66	25.54	27.71

注：ND：未检出；样品平行测定3次；同行肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），不同大写字母表示差异极显著（P<0.01）。

一般情况下,由于醇类化合物的阈值比较高,除非浓度很高,否则对食品的风味贡献不大^[15-17]。通过表1可知,在30、45、60、80、95℃条件下,萃取得到的醇类化合物分别占挥发性物质总含量的29.44%、40.87%、30.54%、16.94%、12.77%。除了30℃之外,其余温度条件下的醇类挥发性物质总含量随温度的升高而下降。在不同温度条件下,1-辛烯-3-醇和1-己醇的含量都很高,这两种化合物的含量同样也是随温度的升高而下降。由于1-辛烯-3-醇的阈值为 1×10^{-6} ,相对较小,与醛类接近^[18-19],且其在草鱼肉中相对含量较高,由此推测,1-辛烯-3-醇对草鱼的风味贡献较大。碳原子数大于8的醇(表1中从3-壬烯-1-醇、1-十八醇等)在温度相对较低(低于60℃)时未检测到,温度升高后却检测到这些醇类,应当是随温度升高,草鱼肉中蛋白质、脂肪等大分子降解所产生。

与醇类相比,醛酮类化合物的阈值较低,因此其对肉风味的形成有着较为重要的作用^[20-22]。由表1可知,在30、45、60、80、90℃时,醛酮类化合物分别达到66.86%、55.30%、57.81%、57.52%、59.56%。在醛酮类化合物含量上,除30℃外,其他温度间差别较小。但是在检测出的醛酮类化合物的种类及相对含量上却有较大差别,例如一些分子质量较小的化合物在45℃时检出,如庚烯醛、2,4-庚二烯醛、3-辛烯-2-酮等,随着温度升高,醛类发生氧化或脂肪降解生成,超过60℃后未检出;另外一些分子质量较大,碳原子数超过10个的醛酮类化合物却只在温度较高时检出,如正十八醛、9-十八碳烯醛、10-十八碳烯醛等,这在45℃和95℃之间表现的最明显。在所有萃取温度中,醛酮类化合物中占主要地位的化合物均为己醛、2,3-辛二酮、壬醛等,并且随温度升高所占的百分比呈下降趋势,特别是己醛,在30℃时,其含量达到了43.84%,95℃时含量只有7.20%。因此推测碳原子数低于10个的醛酮对生草鱼肉的风味贡献较大,而碳原子数超过10个的醛酮对熟草鱼肉的风味有贡献。

芳香族类与烃类等具有较高的阈值^[18-19],在温度不高时,含量也较少,因此对草鱼肉的风味贡献也较小。当温度升高到60℃以上时,此类化合物含量随温度升高明显增加,80℃和95℃时相差不大。因此此类化合物应当是温度升高后,脂肪、蛋白质等大分子热降解所产生的,对熟草鱼肉的风味形成有较大贡献。除30℃外,其他温度条件下都检测到2-戊基呋喃,被认为对肉制品的整体风味有较大贡献^[22]。

2.3 温度对草鱼背肉挥发成分总有效面积影响

不同温度草鱼背肉挥发性成分有效峰面积的比较见图2,可以看出,随着温度的升高,草鱼肉的挥发性成分有效峰面积先增加再减小,大约在60℃左右达到最大,

可能是虽然随着温度的升高,鱼肉的整体挥发性成分增加,但是萃取头受温度影响吸附的物质却减少,因此当温度升高到一定程度时,利用SPME技术得到的挥发性成分有效峰面积达到最大,然后下降或维持在一定量;由于温度对所有物质影响是都存在的,因此SPME萃取到的物质也在一定程度上准确、真实地反映了该温度条件下草鱼肉的挥发成分。

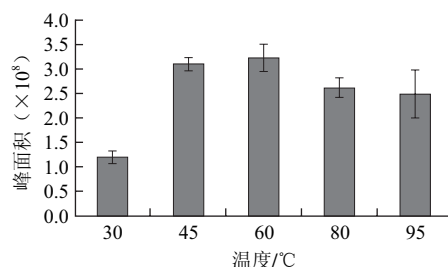


图2 温度对草鱼背肉挥发性成分有效峰面积的影响

Fig.2 Total area of volatile components in dorsal meat at different extraction temperatures

3 结论

根据实验结果,得出以下结论:1)随着温度的升高,在草鱼背肉的挥发性物质中,醇类的含量下降,醛酮类化合物的含量也随之下降,但烃类和芳香族类化合物的含量则随温度的升高而升高。2)随着温度的升高,检出的化合物也越多。草鱼背肉在30、45、60、80、95℃时分别确定出23、43、52、68、74种挥发性成分。3)温度在30℃时,检测到的草鱼背肉的挥发性物质更多的表现生鱼肉的风味。表现草鱼新鲜风味的醇类和醛类占大多数,代表鱼新鲜程度的化合物如1-己醇、1-辛烯-3-醇、己醛、2,3-辛二酮等在挥发性物质的总量中占有很大一部分。温度为45℃和60℃时,草鱼肉开始由生鱼肉向熟鱼肉过渡。温度在80℃和95℃时,草鱼肉中的挥发性物质代表熟鱼肉的风味,其中一些高分子的饱和醛含量明显增加,如2-十二烯醛、正十二醛、正十六醛等。另外还有一部分烃类和芳香族类的化合物也是从无到有,如2,4-二甲基苯乙烯、十八烷、二十烷等。

参考文献:

- [1] 王锡昌,福田裕,陈舜胜,等.中国淡水鱼中间素材的开发[C]//上海市食品学会2002年年会报告汇编,2002:163-165.
- [2] 陈俊卿,王锡昌.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分析白鲢鱼中的挥发性成分[J].质谱学报,2005,26(2):76-80.
- [3] 刘晓丽,解万翠,杨锡洪,等.SPME-GC-MS分析近江牡蛎酶解液挥发性风味成分[J].食品科学,2010,31(24):410-414.
- [4] IGLESIAS J, MEDINA I, BIANCHI F. 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.
- [5] 郑平安, 黄健, 孙静, 等. HS-SPME结合GC-MS法分析鲢鱼肉加热前后挥发性成分变化[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 242-246.
- [6] IGLESIAS J, MEDINA I. Solid-phase microextraction method for the determination of volatile compounds associated to oxidation of fish muscle[J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1192(1): 9-16.
- [7] RENATA B, PETRAS R V, ALGIRDAS G. Testing of microencapsulated flavours by electronic nose and SPME-GC[J]. Food Chemistry, 2005, 92(1): 45-54.
- [8] BIANCHI F, CARERI M, MUSCI M. Fish and food safety: determination of formaldehyde in 12 fish species by SPME extraction and GC-MS analysis[J]. Food Chemistry, 2007, 100(3): 1049-1053.
- [9] 施文正, 王锡昌, 刘源, 等. 养殖草鱼不同生长期挥发性成分的比较[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 342-347.
- [10] 王钦德, 杨坚. 食品试验设计与统计分析[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010: 84.
- [11] 江健, 王锡昌, 陈西瑶. 顶空固相微萃取与GC-MS联用法分析淡水鱼肉气味成分[J]. 现代食品科技, 2006, 22(2): 219-222.
- [12] 赵庆喜, 薛长湖, 徐杰, 等. 微波蒸馏-固相微萃取-气相色谱-质谱-嗅觉检测器联用分析鲢鱼鱼肉中的挥发性成分[J]. 色谱, 2007, 25(2): 267-271.
- [13] 宋国新, 余应新, 王林详, 等. 香气分析技术与实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 428-431.
- [14] 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): 303-307.
- [15] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Volatile compounds characterizing the aroma of fresh Atlantic and Pacific oysters[J]. Journal of Food Science, 1985, 50(1): 5-9.
- [16] WURZENBERGER M. Stereochemistry of the cleavage of the 10-hydroperoxide isomer linoleic acid to 1-octen-3-ol by a hydroperoxide lyase from mushrooms[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1984, 795(1): 163-165.
- [17] JOSEPHSON D. Enzymic hydroperoxide initiated effects in fresh fish[J]. Journal of Food Science, 1985, 52(3): 596-600.
- [18] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 25-32.
- [19] Leffingwell & Associates. Odor and flavor detection thresholds in water (in parts per billion)[DB/OL]. [2013-03-01]. <http://www.leffingwell.com/odorthre.htm>.
- [20] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Variations in the occurrences of enzymically derived volatile aroma compounds in salt and freshwater fish[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1984, 32(6): 1344-1347.
- [21] HANNE H, REFSGAARD F. Isolation and quantification of volatiles in fish by dynamic headspace sampling and mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 47(3): 1114-1118.
- [22] IGLESIAS J, MEDINA I, BIANCHI F. 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.
- [22] CAVALLI J F, FERNANDEZ X, LIZZANI-CUVELIER L, et al. Comparison of static headspace, headspace solid phase microextraction, headspace sorptive extraction, and direct thermal desorption techniques on chemical composition of french olive oils[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(26): 7709-7716.