

固相微萃取-气质联用检测鸭汤中挥发性风味成分

张 音, 夏延斌, 罗凤莲
(湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 采用固相微萃取-气质联用的方法, 对麻鸭、北京鸭、水鸭、洋鸭 4 种鸭汤中的挥发性风味成分进行分离鉴定。共鉴定出 159 种挥发性风味化合物, 包括醛类 31 种、酮类 13 种、醇类 24 种、酸类 3 种、酯类 14 种、烃类 44 种、胺类 4 种、醚类 3 种、呋喃类 3 种、含 N 化合物 2 种、含 S 化合物 10 种、含 S、N 化合物 5 种、其他化合物 3 种。4 种鸭汤中共有的风味化合物有 12 种, 分别为戊醛、己醛、庚醛、(Z)-2-庚烯醛、辛醛、(E)-2-辛烯-1-醛、(E)-2-壬烯醛、癸醛、(E)-2-癸烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯、2-戊基-呋喃。
关键词: 鸭汤; 风味成分; 固相微萃取; 气质联用

Analysis of Volatile Compounds in Duck Soup by SPME-GC-MS

ZHANG Yin, XIA Yan-bin, LUO Feng-lian
(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Volatile compounds in duck soup were analyzed by solid-phase micro-extraction (SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). 159 Volatile compounds were identified including aldehydes (31 kinds), ketones (13 kinds), alcohols (24 kinds), acids (3 kinds), esters (14 kinds), hydrocarbons (44 kinds), amines (4 kinds), ethers (3 kinds), furans (3 kinds), N-containing compounds (2 kinds), S-containing compounds (10 kinds), S, N-containing compounds (5 kinds), other compounds (4 kinds). Four duck soups share 12 flavor compounds: pentanal, hexanal, heptanal, (Z)-2-heptenal, octanal, (E)-2-octen-1-al, (E)-2-nonenal, decanal, (E)-2-decenal, (E,E)-2,4-decadienal, 3-ethyl-2-methyl-1,3-hexadiene, and 2-pentyl-furan.

Key words: duck soup; flavour compounds; solid-phase micro-extraction; gas chromatography-mass spectrometry
中图分类号: TS207.3 文献标识码: A 文章编号: 1002-6630(2012)06-0225-07

随着人们消费习惯的改变和市场对鸭产品需求量的不断增加, 近年来我国鸭产业得到了迅速发展, 鸭的饲养总量正以每年 10%~15% 的速度递增。2005 年, 世界肉鸭屠宰量约为 22.8 亿只, 我国为 16.34 亿只, 占世界总屠宰量的 71.7%, 由此可见, 我国不但是世界肉鸭第一生产大国, 同时也是第一消费大国^[1]。

鸭肉中蛋白质的含量比其他畜肉中蛋白质含量高很多^[2], 其脂肪含量适中, 约为 7.5%, 且分布均匀。由于其脂肪酸主要是不饱和脂肪酸和低碳饱和脂肪酸, 故熔点低, 易于消化。鸭肉中 B 族维生素和 VE 的含量较为丰富, 100g 鸭肉中含有 B 族水溶性维生素约 10mg, 其中 6~8mg 是尼克酸, 其次是核黄素和硫胺素; 含 VE

90~400mg。与其他畜肉不同的是, 鸭肉中钾含量很高, 还含有较高的铁、铜、锌等微量元素^[3-4]。

食品风味研究始于 19 世纪 50 年代, 而肉制品风味的研究则始于 20 世纪 50 年代。随着现代科学技术的不断发展, 肉制品风味特征的研究经历了从鉴定非挥发性水溶性前体物质到重点关注挥发性风味物质的演变过程^[5]。目前来看, 肉制品风味的研究主要集中在鸡肉、牛肉、海鲜和火腿等产品上, 对于鸭肉的风味特征研究并不是很多。

利用鸭肉来制备鸭肉风味强化剂是食品风味研究的一类新模式, 本研究采用固相微萃取和气质联用法 (solid-phase micro-extraction-gas chromatography-mass

收稿日期: 2011-04-06

作者简介: 张音(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品化学与营养。E-mail: zhangyin051111@126.com

spectrometry, SPME-GC-MS)分析鉴定4个不同品种鸭的鸭汤中的挥发性风味成分,并得到其共有的风味物质,以期找到鸭品种与其风味特性间的关系,为鸭肉的高值化加工利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 原料

麻鸭 株洲好棒美食品有限公司;洋鸭、北京鸭、水鸭 长沙市榔梨农贸市场。

1.2 仪器与设备

手动 SPME 进样器、50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头 上海安谱科学仪器有限公司;GCMS-QP2010 气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司;GL-3250 磁力搅拌器 海门市其林贝尔仪器制造有限公司。

1.3 鸭汤的熬制工艺

参照传统的鸭汤熬制方法,取宰杀去毛去内脏后的整鸭,切成小块状,注意取样的均匀性,从不同部位共取 500g 鸭肉,放入 1200mL 开水中煮 2min,再将其一起倒入高压锅中,按鸭肉的质量加入 2% 的食盐,搅拌均匀,高压锅上汽后大火煮 5min,后用小火熬 1.5h,得鸭汤备用。

1.4 风味成分的提取

1.4.1 萃取头老化

50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头,于气相色谱进样口老化,老化温度 270 $^{\circ}\text{C}$,老化时间 1h。

1.4.2 挥发性风味成分的提取

从熬制好的鸭汤中,取 8mL 放入 15mL 的样品瓶中,密封好后置于磁力搅拌器上,将 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头插入样品瓶中,推出纤维头 85 $^{\circ}\text{C}$ 吸附 1h,然后将萃取头插入气相色谱仪进样口,250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 2min,抽回纤维头后拔出萃取头,同时启动仪器采集数据。

1.5 风味成分的鉴定

1.5.1 挥发性风味成分的鉴定方法

DB-5MS 毛细管色谱柱(30m \times 0.25mm, 0.25 μm)对鸭汤中的挥发性风味成分进行分析,萃取头热解吸温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 2min,不分流模式,解吸过程炉温保持在 40 $^{\circ}\text{C}$,进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,接口温度 220 $^{\circ}\text{C}$;起始柱温 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 2min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 60 $^{\circ}\text{C}$,无保留;再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 100 $^{\circ}\text{C}$,无保留;再以 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 270 $^{\circ}\text{C}$,保留 8min,检测温度 270 $^{\circ}\text{C}$,载气为 He,流速为 1.0mL/min,不分流,恒压 35kPa。离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$,电离方式 EI,电子能量 70eV,灯丝电流 150 μA ,扫描质量范围 33~500u。

1.5.2 定性定量方法

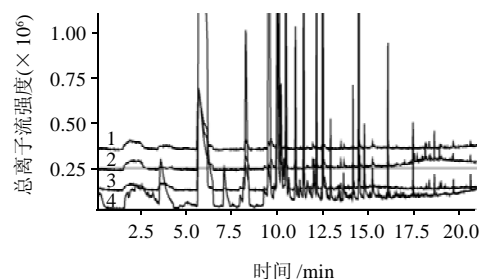
定性分析:总离子流图中各峰经质谱扫描后所得的质谱图,采用计算机对 NIST08.LIB 数据库进行检索,人工谱图解析,分别对各峰加以确认,经综合分析鉴定。

定量分析:通过化学工作站数据处理系统,采用面积归一化法进行定量分析,分别求得各化学成分在鸭汤挥发性风味成分中的相对含量。

2 结果与分析

2.1 鸭汤的 GC-MS 总离子流图

用顶空固相微萃取气质联用法分析麻鸭、北京鸭、水鸭和洋鸭鸭汤中的挥发性风味成分,得到总离子流图,见图 1。



1.北京鸭鸭汤; 2.水鸭鸭汤; 3.洋鸭鸭汤; 4.麻鸭鸭汤。

图1 4种鸭汤 GC-MS 总离子流图

Fig.1 GC-MS total ion current chromatogram of volatile compounds in 4 duck soups

由图 1 可知,随着离子强度的不断增强,4 种鸭汤的总离子流图基本一致。

2.2 鸭汤的风味成分组成

表1 鸭汤中各类风味化合物的含量和峰面积

Table 1 Contents and peak areas of flavor compound in duck soup

项目	麻鸭		北京鸭		水鸭		洋鸭	
	峰面积	相对含量/%	峰面积	相对含量/%	峰面积	相对含量/%	峰面积	相对含量/%
总峰面积	143388855		12596431		19040905		24602677	
醛类	118791371	82.85	9877515	78.42	15007229	78.82	20310117	82.55
酮类	1753648	1.22	419976	3.33	1032006	5.42	237296	0.96
醇类	3814742	2.66	347444	2.76	595105	3.13	430653	1.75
酸类	5824778	4.06	—	—	—	—	—	—
酯类	285322	0.20	684207	5.43	228105	1.20	146152	0.59
烃类	6981046	4.87	246389	1.96	1576968	8.28	788993	3.21
胺类	1530821	1.07	406367	3.23	—	—	540390	2.20
醚类	530536	0.37	—	—	42411	0.22	—	—
呋喃	2799397	1.95	136192	1.08	81100	0.43	1657988	6.74
含 N 化合物	812579	0.57	166887	1.32	—	—	349034	1.42
含 S 化合物	82263	0.57	582861	4.63	102850	0.54	97279	0.40
含 S、N 化合物	169606	0.12	134960	1.07	352091	1.85	—	—
其他化合物	12746	0.01	—	—	23040	0.12	44775	0.18

表2 4种鸭汤中挥发性风味成分的组成及相对含量
Table 2 Volatile compounds composition and percentage content in 4 duck soups

化合物	相对含量/%			
	麻鸭/%	北京鸭/%	水鸭/%	洋鸭/%
戊醛 pentanal	3.15	0.79	1.50	3.03
(E)-2-戊二醛(E)-2-pentenal	0.11	—	—	—
己醛 hexanal	46.35	51.77	46.83	45.98
(E)-2-己烯醛(E)-2-hexenal	1.44	—	—	0.57
庚醛 heptanal	4.56	4.17	3.85	5.00
(Z)-2-庚烯醛(Z)-2-heptenal	14.09	1.74	0.56	3.62
苯甲醛(安息香醛)benzaldehyde	—	3.77	2.12	—
辛醛 octanal	4.31	5.37	6.58	5.35
(E,E)-2,4-庚二烯醛(E,E)-2,4-heptadienal	0.60	—	—	0.16
(E)-2-辛烯-1-醛(E)-2-octen-1-al	4.75	1.30	1.88	1.92
(E,E)-2,4-辛二烯醛(E,E)-2,4-octadienal	0.17	—	—	—
壬醛 nonanal	—	6.40	11.45	8.18
(E)-2-壬烯醛(E)-2-nonenal	0.85	0.44	0.73	0.90
4-乙基苯甲醛 4-ethyl-benzaldehyde	0.01	—	—	—
癸醛 decanal	0.06	0.33	0.12	0.24
(E,E)-2,4-壬二烯醛(E,E)-2,4-nonadienal	0.30	—	—	0.52
(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛(Z)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal	—	—	—	0.21
(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛(E)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal	—	—	—	0.35
(Z)-4-癸烯醛(Z)-4-decenal	—	—	0.06	—
(E)-2-癸烯醛(E)-2-decenal	0.70	0.82	0.65	1.44
十一醛 undecanal	0.03	—	0.19	0.18
(E,E)-2,4-癸二烯醛(E,E)-2,4-decadienal	1.06	0.37	0.23	0.85
2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal	—	—	—	2.34
2-十一烯醛 2-undecenal	0.31	—	—	1.09
(E)-2-十一烯醛(E)-2-undecenal	—	0.86	—	—
十二醛 dodecanal	—	—	0.11	—
十四碳醛(肉豆蔻醛)tetradecanal	—	—	0.74	0.24
十六醛(棕榈醛)hexadecanal	—	—	—	0.22
十八醛 octadecanal	—	0.28	—	—
5-十八烯醛 5-octadecenal	—	—	1.21	—
1,2-二甲基-4-含氧环己二烯-2-烯酮甲醛 1,2-dimethyl-4-oxocyclohex-2-enecarboxaldehyde	—	—	—	0.17
2-丁酮 2-butanone	—	—	4.45	—
2-庚酮 2-heptanone	0.30	—	0.38	0.62
1-辛烯-3-酮 1-octen-3-one	0.21	0.48	—	—
3-辛烯-2-酮 3-octen-2-one	0.34	—	—	—
2,3-辛二酮 2,3-octanedione	0.22	—	—	—
DL-莰酮 DL-oamphor	—	—	0.28	—
2-癸酮 2-decanone	0.01	—	0.09	—
2-(2-甲基亚丙基)-环己酮 2-(2-methylpropylidene)-cyclohexanone	0.07	—	0.19	—
六氢-3-亚甲基-2(3H)-香豆酮 hexahydro-3-methylene-2(3H)-benzofuranone	0.08	—	—	—
5-氨基-6-亚硝基-嘧啶-2,4(1H,2H)-二酮 5-amino-6-nitroso-pyrimidine-2,4(1H,3H)-dione	—	2.85	—	—
6,10,14-三甲基-2-十五烷酮 6,10,14-trimethyl-2-pentadecanone	—	—	0.04	—
2-十九烷酮 2-nonadecanone	—	—	—	0.21
甲基辛基甲酮 2-decanone	—	—	—	0.14
1-戊醇 1-pentanol	0.27	1.01	—	—
1-己醇 1-hexanol	0.08	—	—	—
1-庚醇 1-heptanol	0.13	0.80	—	0.38
(E)-3-辛烯-1-醇(E)-3-octen-1-ol	0.97	—	—	—
2,4-二甲基-环己醇 2,4-dimethyl-cyclohexanol	—	0.22	—	—
4-乙基-环己醇 4-ethylcyclohexanol	0.17	—	—	—
4,7,7-三甲基双环庚烷[4.1.0]庚烷-3-醇 4,7,7-trimethylbicyclo[4.1.0]heptan-3-ol	—	0.33	—	—
1-辛醇 1-octanol	0.69	0.39	0.41	0.66
4-环己基-1-丁醇 4-cyclohexyl-1-butanol	0.02	—	—	—

续表 2

化合物	相对含量/%			
	麻鸭/%	北京鸭/%	水鸭/%	洋鸭/%
2,4-癸二烯-1-醇 2,4-decadien-1-ol	0.19	—	—	—
2,2-二甲基-1-癸醇 2,2-dimethyl-1-decanol	0.02	—	—	—
3,5-二(1,1-二甲基乙基)-苯酚 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol	0.06	—	—	—
1-十六醇 1-hexadecanol	0.03	—	—	—
2,2-二甲基-1-辛醇 2,2-dimethyl-1-octanol	0.01	—	—	—
2-异丙基-5-甲基-1-己醇 2-isopropyl-5-methyl-1-hexanol	0.02	—	—	—
2-特丁基-4-(二甲基苄基)苯酚 2-tert-butyl-4-(dimethylbenzyl)phenol	0.02	—	—	—
2,6-bis(1,1-二甲氧乙基)-4-(1-甲基丙基)苯酚 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-(1-methylpropyl)-phenol	—	—	0.60	—
八氢-(1 <i>S</i> - <i>cis</i>)-2 <i>H</i> -喹啉-1-甲醇 octahydro-, (1 <i>S</i> - <i>cis</i>)-2 <i>H</i> -quinolizine-1-methanol	—	—	0.80	—
3,7,11,15-四甲基-1-十六醇 3,7,11,15-tetramethyl-1-hexadecanol	—	—	0.38	—
3,7,11-三甲基-1-十二烷醇 3,7,11-trimethyl-1-dodecanol	—	—	0.93	—
2,5-二甲基-3-乙烯基-4-己烯醇 2,5-dimethyl-3-vinyl-4-hexen-1-ol	—	—	—	0.18
2,4-癸二烯-1-醇 2,4-decadien-1-ol	—	—	—	0.43
2-甲基-1-(2-硝基环戊基)-1-丙醇 2-methyl-1-(2-nitrocyclopentyl)-1-propanol	—	—	—	0.04
3,5-叔丁基苯酚 3,5-di-tert-butylphenol	—	—	—	0.05
丙二酸 propanedioic acid	0.25	—	—	—
壬酸 nonanal	3.79	—	—	—
4-甲基壬酸 4-methylnonanoic acid	0.02	—	—	—
<i>DL</i> -丙氨酸乙酯 <i>DL</i> -alanine ethyl ester	0.13	—	—	—
乙基-乙烯基醚 ethyl vinyl ether	—	5.43	—	—
3-吡啶甲酸,1-甲基乙基酯 3-pyridinecarboxylic acid, 1-methylethyl ester	tr	—	—	—
二癸酯 decyl ether	0.02	—	—	—
碳酸,癸基异丁基酯 carbonic acid, decyl isobutyl ester	0.03	—	—	—
草酸,十六基异己基酯 oxalic acid, hexadecyl isohexyl ester	0.01	—	—	—
草酸,3,6-二乙基丙基酯 oxalic acid, 6-ethyloct-3-yl propyl ester	0.01	—	—	—
碳酸,乙基庚基酯 carbonic acid, ethyl heptyl ester	—	—	0.02	—
2-甲基丙酸,3-羟基-2,4,4-三甲基酯 propanoic acid,2-methyl-,3-hydroxy-,2,4,4-trimethylpentyl ester	—	—	0.05	0.24
己基辛基酯 hexyl octyl ether	—	—	0.41	—
乙酸,3,7,11,15-四甲基-十六烷基酯 acetic acid, 3,7,11,15-tetramethyl-hexadecyl ester	—	—	0.50	—
草酸,3,6-二乙基庚基酯 oxalic acid, 6-ethyloct-3-yl heptyl ester	—	—	0.22	—
丁酸,1-丙基戊基酯 butyric acid, 1-propylpentyl ester	—	—	—	0.33
6-癸内酯 7-butyl-2-oxepanone	—	—	—	0.02
1-乙基-1-甲基-环戊烷 1-ethyl-1-methyl-cyclopentane	0.27	—	—	—
顺式-1,1,3,4-四甲基环戊烷 <i>cis</i> -1,1,3,4-tetramethylcyclopentane	0.04	—	—	—
5-丙基壬烷 5-propyl-nonane	0.03	—	—	—
3-甲基-癸烷 3-methyl-decane	—	—	0.05	—
十二烷 dodecane	—	—	0.04	—
十三烷 tridecane	0.03	—	—	—
2,4-二甲基-十一烷 2,4-dimethyl-undecane	0.01	—	—	—
3,8-二甲基-十一烷 3,8-dimethyl-undecane	—	—	—	0.05
4-甲基-十四烷 4-methyl-tetradecane	0.02	—	—	—
9-乙基-9-庚基-十八烷 9-ethyl-9-heptyl-octadecane	tr	—	—	—
2-甲基-5-丙基-壬烷 2-methyl-5-propyl-nonane	0.02	—	—	—
5-甲基-十四烷 5-methyl-tetradecane	0.01	—	—	—
3-甲基-十四烷 3-methyl-tetradecane	0.03	—	—	—
十五烷 pentadecane	0.02	—	—	—
十六烷 hexadecane	0.04	—	0.27	—
2,6,10,14-四甲基-十五烷 2,6,10,14-tetramethyl-pentadecane	—	—	1.68	—
2,6,10,14-四甲基-十六烷 2,6,10,14-tetramethyl-hexadecane	—	—	2.10	—
2,4-二甲基二十三烷 2,4-dimethyl-docosane	0.03	—	—	—
3-甲基-十五烷 3-methyl-pentadecane	0.03	—	—	—
十七烷 tetracosane	0.02	—	—	—
3-甲基-二十一烷 3-methyl-heneicosane	tr	—	—	—
5-(1-甲基丙基)-壬烷 5-(1-methylpropyl)-nonane	0.03	—	—	—
2,6,10,15-四甲基-十七烷 2,6,10,15-tetramethylheptadecane	0.01	—	—	—

续表 2

化合物	相对含量/%			
	麻鸭/%	北京鸭/%	水鸭/%	洋鸭/%
二十烷 eicosane	0.04	—	—	—
2,6,11,15-四甲基十六烷 2,6,11,15-tetramethyl-hexadecane	0.02	—	0.32	—
1,2-二甲基-3-戊基-4-丙基-环己烷 1,2-dimethyl-3-pentyl-4-propyl-cyclohexane	—	—	0.43	—
十九烷 nonadecane	—	—	—	0.18
3-甲基-4-亚甲基-正己烷 3-methyl-4-methylene-hexane	0.60	—	—	—
2,3-二甲基-2-己烯 2,3-dimethyl-2-hexene	0.31	—	—	—
3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯 3-ethyl-2-methyl-1,3-hexadiene	2.17	0.70	1.05	1.79
1-丁氧基-2,4-二甲基-2-戊烯 1-butoxy-2,4-dimethyl-2-pentene	0.88	—	—	—
1-十三烯 1-tridecene	0.01	—	—	—
Z-5-十九烯 Z-5-nonadecene	—	—	0.03	—
3-(2-环戊烯基)-2-甲基-1,1-联苯-1-丙烯 3-(2-cyclopentenyl)-2-methyl-1,1-diphenyl-1-propene	—	0.29	—	0.16
2,3-二氢-1,1,3-三甲基-3-苯基-1 <i>H</i> -茚 2,3-dihydro-1,1,3-trimethyl-3-phenyl-1 <i>H</i> -inden	—	0.64	1.46	0.37
1,1'-(1,1,2,2-四甲基-1,2-亚乙基)二苯 1,1'-(1,1,2,2-tetramethyl-1,2-ethanediyl)bis-benzene	—	0.32	—	—
2,4-联苯-4-甲基-2(<i>E</i>)戊烯 2,4-diphenyl-4-methyl-2(<i>E</i>)-pentene	—	—	0.85	0.16
2,4-联苯-4-甲基-1-戊烯 2,4-diphenyl-4-methyl-1-pentene	—	—	—	0.17
(<i>Z</i>)-7-甲基-2-癸烯 (<i>Z</i>)-7-methyl-2-decene	—	—	—	0.21
(<i>Z</i>)-3-甲基-5-十一碳烯 (<i>Z</i>)-3-methyl-5-undecene	—	—	—	0.11
1-辛炔 1-octyne	0.03	—	—	—
1-十二炔 1-dodecyne	0.07	—	—	—
6-(1-乙氧基)-1-己炔 6-(1-ethoxyethoxy)-1-hexyne	0.04	—	—	—
2-乙烯基-1,3-二甲苯-苯 2-ethenyl-1,3-dimethyl-benzene	0.07	—	—	—
2-异丙氧基乙胺 2-isopropoxyethylamine	0.82	—	—	—
2,2-二甲氧基- <i>N</i> -甲基-乙胺 2,2-dimethoxy- <i>N</i> -methyl-ethanamine	0.25	—	—	—
<i>N,N'</i> -二氨基乙烷-1,2-二亚胺 <i>N,N'</i> -diamino-ethane-1,2-diimine	—	—	—	2.13
落草胺 cisanilide	—	—	—	0.07
二乙醚 ethyl ether	0.04	—	—	—
2,3,5-三甲苯基甲醚 2,3,5-trimethylanizole	0.33	—	—	—
十二烷基异丙醚 dodecyl isopropyl ether	—	—	0.22	—
2-戊基-呋喃 2-pentyl-furan	1.95	1.08	0.20	6.34
呋喃它酮 furaltadone	—	—	0.23	—
<i>trans</i> -2-(2-戊烯基)呋喃 <i>trans</i> -2-(2-pentenyl)furan	—	—	—	0.40
(<i>S</i>)-1-丙氨酸乙基氨基化合物 (<i>S</i>)-1-alanine ethylamide	0.57	—	—	1.42
(2 <i>E</i>)-4-甲基-2-戊酮-二甲基腙 (2 <i>E</i>)-4-methyl-2-pentanone dimethylhydrazone	—	1.32	—	—
庚硫醇 1-heptanethiol	—	—	0.29	—
二烯丙基二硫 diallyl disulphide	—	—	—	0.28
<i>L</i> -半胱氨酸亚磺酸 <i>L</i> -cysteine sulfinic acid	—	1.40	—	—
硫磺酸十五基-2-丙基酯 sulfurous acid, pentadecyl 2-propyl ester	0.03	—	—	—
硫磺酸, 乙基辛基酯 sulfurous acid, hexyl octyl este	0.01	—	—	—
硫磺酸丁基十二烷基酯 sulfurous acid, butyl dodecyl ester	0.01	—	—	—
硫磺酸-2-丙基十四基酯 sulfurous acid, 2-propyl tetradecyl ester	0.01	—	—	—
2-噻吩乙酸, 3-十四(烷)基酯 2-thiopheneacetic acid, 3-tetradecyl ester	—	—	0.25	—
2-噻吩乙酸, 庚基酯 2-thiopheneacetic acid, heptyl ester	—	—	—	0.12
dimethyl-(6-methyl-2-thioxo-[1,3,2]oxathiaphosphinan-2-yl)-amine	—	3.23	—	—
硫代氨基甲酸, <i>N,N</i> -二甲基, <i>S</i> -1,3-联苯-2-丁烯酯	—	—	0.57	—
thiocarbamic acid, <i>N,N</i> -dimethyl, <i>S</i> -1,3-diphenyl-2-butenyl ester	—	—	—	—
甲基硫甲酰胺 methylthioformamide	0.02	—	—	—
2-乙酰基噻唑 2-acetylthiazole	0.10	—	—	—
<i>DL</i> -双硫丙氨酸 <i>DL</i> -cystine	—	1.07	—	—
<i>N</i> -(二硫代羧基)- <i>N</i> -甲基-甘氨酸 <i>N</i> -(dithiocarboxy)- <i>N</i> -methyl-glycine	—	—	1.28	—
1-碘代-2-甲基十一烷 1-iodo-2-methylundecane	0.01	—	—	—
4-十八基-吗啉 4-octadecyl-morpholine	—	—	0.12	0.08
2-(7-heptadecynyloxy)tetrahydro-2 <i>H</i> -pyran	—	—	—	0.10

注: tr 表示相对含量小于 0.01%; — 表示未检出。

由表 1、2 可知, 麻鸭中共检测到 90 种组分, 其中醛类、酸类和烃类是主要成分, 占有挥发性风味成分的 91.78%。北京鸭共检测到 31 种风味化合物, 主要组分为醛类 78.42%、酯类 5.43%、含 S 化合物 4.63%。水鸭中共检测到 52 种风味成分, 醛类 78.82%、烃类 8.28% 和酮类 5.42% 为主要风味化合物。洋鸭中共检测到 52 种组分, 主要组分为醛类 82.55%、呋喃 6.74%、烃类 3.21%。

由表 2 可知, 本研究从麻鸭、北京鸭、水鸭、洋鸭 4 种鸭的鸭汤中共鉴定出 159 种挥发性化合物并确定他们的相对含量。在已检出的挥发性化合物中, 含醛类 31 种、酮类 13 种、醇类 24 种、酸类 3 种、酯类 14 种、烃类 44 种、胺类 4 种、醚类 3 种、呋喃类 3 种、含 N 化合物 2 种、含 S 化合物 10 种、含 S、N 化合物 5 种、其他化合物 3 种。

表 3 4 种鸭汤中共有的挥发性化合物
Table 3 Flavor compounds shared by 4 duck soup

分类	化合物	相对含量/%			
		麻鸭	北京鸭	水鸭	洋鸭
醛类	戊醛	3.15	0.79	1.50	3.03
	己醛	46.35	51.77	46.83	45.98
	庚醛	4.56	4.17	3.85	5.00
	(Z)-2-庚烯醛	14.09	1.74	0.56	3.62
	辛醛	4.31	5.37	6.58	5.35
	(E)-2-辛烯-1-醛	4.75	1.30	1.88	1.92
	(E)-2-壬烯醛	0.85	0.44	0.73	0.90
	癸醛	0.06	0.33	0.12	0.24
	(E)-2-癸烯醛	0.70	0.82	0.65	1.44
烯醛	(E,E)-2,4-癸二烯醛	1.06	0.37	0.23	0.85
	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	2.17	0.70	1.05	1.79
呋喃	2-戊基-呋喃	1.95	1.08	0.20	6.34

由表 3 可见, 4 种鸭汤中, 共有的挥发性风味物质有 12 种, 其中醛类物质 10 种, 分别为: 戊醛、己醛、庚醛、(Z)-2-庚烯醛、辛醛、(E)-2-辛烯-1-醛、(E)-2-壬烯醛、癸醛、(E)-2-癸烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛; 烯醛 1 种: 3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯; 呋喃 1 种: 2-戊基-呋喃。这 12 种共有物质在 4 种鸭汤中总的相对含量分别为麻鸭 84%、北京鸭 68.88%、水鸭 64.18%、洋鸭 76.46%。

3 讨论

不饱和脂肪酸, 因其含有双键, 在加热煮制的过程中易氧化降解, 生产醛、酮、酸、炔烃、烷基呋喃等挥发性化合物, 这些化合物对肉类的特征风味有着重要的影响, 是区分肉类香味的依据^[6-7]。本研究结果

表明, 在麻鸭、北京鸭、水鸭和洋鸭 4 种鸭汤中, 与其他风味成分相比, 醛类物质含量均为最高, 分别为 82.85%、78.42%、78.82%、82.55%, 这说明醛类物质是构成鸭汤特征风味的重要物质。该结果与文献[8-10]的研究结果有一定的相似性。刘源等^[8]对南京盐水鸭挥发性风味化合物进行研究, 发现醛类是盐水鸭中含量最高的挥发性风味化合物, 其中己醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、3-甲基丁醛、苯甲醛和糠醛对于盐水鸭风味贡献较大。徐为民等^[9]研究了南京板鸭生产过程中风味成分的组成及变化, 发现南京板鸭风干阶段结束后, 风味物质中含量最高的是醛类, 达 37.78%。刘源等^[10]用同时蒸馏萃取法分析鸭肉挥发性风味成分时得出结论, 醛类是构成鸭肉油脂气味及鸭特征气味的重要物质。

鸭肉中不饱和脂肪酸含量很高, 如亚油酸。ω-6 不饱和脂肪酸的主要降解产物是己醛^[11-13], 己醛呈生的油脂、青香、叶香、果香和木香香味, 广泛的存在于肉品中。刘源等^[14]研究水煮鸭肉中的风味成分发现, 其己醛含量达 72.14%, 他们认为己醛是评价肉类产品氧化状态和风味质量的重要指标, 可能与鸭肉腥味有关。水煮鸭肉和熬制鸭汤加工工艺相近, 本研究中 4 种鸭汤己醛含量均高于 45%。

在 10 种共有的醛类中, 虽然己醛的相对百分含量最高, 但其阈值也是相对较高的, 为 4.5 μg/kg, 分别是癸醛(0.1~2 μg/kg)、辛醛(0.7 μg/kg)、(E)-2-壬烯醛(0.08 μg/kg)、(E)-2-癸烯醛(0.3~0.4 μg/kg)、(E,E)-2,4-癸二烯醛(0.07 μg/kg)阈值的 45~2、6、56、15~11、64 倍。阈值越低的醛类, 其香气越强烈, 因此它们对鸭汤香味的影响较重要。癸醛具有强烈的醛香香气, 浓度较低时有甜香、蜡香、花香、柑橘、脂肪香气以及蜡香、脂肪、柑橘皮的味道。辛醛较高浓度时具有粗油脂的气息及强烈、尖刺的水果香气, 低浓度时具有似未成熟柑橘的香气, 和令人愉快的甜橙、轻微油脂、蜂蜜样香气, 味稍甜, 似杏子。(E)-2-壬烯醛具有脂肪气息、青香、蜡香、黄瓜香和甜瓜香。(E)-2-癸烯醛具有脂肪、蘑菇的气味, 并带有蜡香、猪肉、鸡肉香韵。(E,E)-2,4-癸二烯醛具有脂肪香、鸡味、青香、油炸香味、土豆样气味^[15-17]。

2-戊基-呋喃具有豆香、果香、泥土、青香、根香、类似蔬菜的香韵及青香、蜡香、萜烯味道^[16], 其可能为亚油酸氧化的产物^[18], 阈值为 6 μg/kg。

本研究表明, 鸭汤中含硫化合物种类较少, 其相对百分含量也较低。但在肉类的挥发性香味成分中, 含硫化合物起着非常重要的作用, 因为绝大部分含硫风味化合物是含硫氨基酸, 如胱氨酸、半胱氨酸、蛋氨酸等降解的产物, 它们的阈值虽低, 但却是肉香味的核

心和基础^[19-20]。

4 结 论

4.1 采用 SPME-GC-MS 的方法对麻鸭、北京鸭、水鸭、洋鸭 4 种鸭汤中的风味成分进行分离鉴定, 共鉴定出 159 种挥发性化合物, 其中醛类 31 种, 酮类 13 种, 醇类 24 种, 酸类 3 种, 酯类 14 种, 烃类 44 种, 胺类 4 种, 醚类 3 种, 呋喃类 3 种, 含 N 化合物 2 种, 含 S 化合物 10 种, 含 S、N 化合物 5 种, 其他化合物 3 种。

4.2 醛类物质是构成鸭汤特征风味的主要挥发性风味化合物, 己醛是所有挥发性风味化合物中含量最高的。

4.3 4 种鸭汤中, 共有的物质有 12 种戊醛、己醛、庚醛、(Z)-2-庚烯醛、辛醛、(E)-2-辛烯-1-醛、(E)-2-壬烯醛、癸醛、(E)-2-癸烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯、2-戊基-呋喃。

参考文献:

- [1] 曹家富. 对我国鸭产业市场的分析及思考[J]. 中国牧业通讯, 2008 (9): 20-21.
- [2] 鸭肉[J]. 新疆畜牧业, 2010(3): 33.
- [3] 陈海燕. 热反应鸭肉香精的研究与制备[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [4] 张海彬. 风味卤鸭的加工工艺研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [5] 陈耿秋. 全聚德烤鸭香味活性化合物分析及其气相色谱指纹图研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2009.
- [6] 卜凡艳. 鸡肉香气特征指纹图谱研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2008.
- [7] 杨二刚. 酶解鸡肉制备热反应天然鸡肉香精的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [8] 刘源, 周光宏, 徐幸莲, 等. 南京盐水鸭挥发性风味化合物的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 166-171.
- [9] 徐为民, 周光宏, 徐幸莲, 等. 南京板鸭生产过程中风味成分组成及其变化[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(1): 109-115.
- [10] 刘源, 徐幸莲, 王锡昌, 等. 同时蒸馏萃取法分析鸭肉挥发性风味[J]. 食品机械, 2007, 23(4): 15-23.
- [11] MOTTRAM D S. Flavor formation in meat and meat products: a review[J]. Food chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [12] ELMORE J S, MOTTAM D S, ENSER M, et al. Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles[J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(4): 1619-1625.
- [13] GASSER U, GROSCH W. Identification of volatile flavor compounds with high aroma values from cooked beef[J]. Z Lebensm Unters Forsch, 1988, 186: 489-494.
- [14] 刘源, 周光宏, 徐幸莲, 等. 顶空固相微萃取气质联用检测鸭肉挥发性风味成分[J]. 江苏农业学报, 2005, 21(2): 131-136.
- [15] 孙国宝. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 117-118.
- [16] 孙宝国, 何坚. 香料化学与工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 7.
- [17] 刘树文. 合成香料手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 1.
- [18] DRUNM T D, SPANIER A M. Change in the content of lipid autoxidation and sulphur-containing compounds in cooked beef during storage[J]. J Agric Food Chem, 1991, 39(2): 336-343.
- [19] 孙宝国. 特征香味含硫食品香料化合物[J]. 食品科技, 2006, 31(7): 173-176.
- [20] 孙宝国. 含硫香料化学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 20.