

固相微萃取-气质联用法测定鲈鱼风干成熟工艺过程中的挥发性化合物变化

刘昌华, 王 艳, 章建浩*, 张迎阳

(南京农业大学食品学院, 国家肉品质量与安全控制工程技术研究中心, 教育部肉品加工与质量控制重点实验室,
农业部农畜产品加工与质量控制重点开放实验室, 江苏 南京 210095)

摘 要: 采用固相微萃取-气质联用技术, 对鲈鱼腌制风干成熟工艺过程中挥发性化合物进行测定, 分析鲈鱼加工不同阶段主要挥发性化合物的成分、种类、相对含量的变化情况。结果表明: 鲈鱼腌制风干成熟过程中共鉴定出64种挥发性化合物, 其中醛类15种、醇类20种、酮类7种、酯类7种、烃类15种; 其中己醛、2-甲基-4-戊烯醛、2-己烯醛、2-辛烯醛、苯甲醛、1-辛烯-3-醇、2-庚酮、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮等为产品重要挥发性化合物; 不同加工阶段鱼肉中的挥发性成分组成差异明显, 原料肉中烃类化合物是含量最丰富的挥发性成分, 腌制风干成熟工艺过程中随着肌肉氧化程度增加, 醛类、酮类、酯类化合物含量升高, 烃类和醇类挥发性化合物含量降低, 挥发性风味化合物种类随着工艺过程中脂质的氧化而不断增多, 说明脂质是风鱼挥发性风味化合物最重要的前体物质。

关键词: 鲈鱼; 风干成熟; 固相微萃取-气质; 挥发性化合物; 风味

Changes in Volatile Compounds of Perch during Curing-Drying/Ripening Process

LIU Chang-hua, WANG Yan, ZHANG Jian-hao*, ZHANG Ying-yang

(National Central of Meat Quality and Safety Control, Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Key Laboratory of Agricultural and Animal Products Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Volatile components in dry-cured perch during processing were analyzed by headspace-solid phase micro-extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME/GC-MS). Qualitative analysis of volatile compounds was performed followed by comparative analysis of the changes in relative content for the identified components. The results showed that 64 volatile compounds were isolated and identified, which included 15 aldehydes, 20 alcohols, 7 ketones, 7 esters and 15 hydrocarbons. Among these volatile compounds, hexanal, 2-methyl-4-pentenol, 2-aldehyde, 2-octene aldehyde, benzaldehyde, 1-octen-3-ethanol, 2-heptanone and (E,E)-3,5-octadiene-2-ketone were important volatile flavor compounds of perch. Volatile composition differed significantly across various processing stages. Hydrocarbons were found to be the most abundant volatile compounds in raw perch meat. The contents of aldehydes, ketones and esters increased and new volatile compounds were produced as a consequence of aggravated lipid oxidation during the curing-drying/ripening process, whereas the contents of hydrocarbons and alcohols exhibited a reduction, suggesting that lipids are the most precursors of volatile compounds in dry-cured perch.

Key words: perch; drying-ripening; headspace-solid phase micro-extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS); volatile compounds; flavor

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)10-0250-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201310055

鲈鱼作为我国高档淡水鱼品种之一, 其养殖量每年都在增加; 鲈鱼肉质较嫩, 脂肪含量较高, 且骨刺较少, 适宜进行深加工。我国不同地区风鱼制作基本采用腌制风干工艺, 如腌腊鱼、风干武昌鱼、风干鲈鱼。风

味是食品重要的品质指标, 腌腊制品以其独特的腊香风味深受广大消费者喜爱, 产品可接受度主要取决于产品滋味和风味两个方面, 挥发性化合物组成和含量对产品独特风味有重要影响^[1]。水产品脂肪含量较高, 且不饱和

收稿日期: 2012-02-08

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)

作者简介: 刘昌华(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: 2009108069@njau.edu.cn

*通信作者: 章建浩(1961—), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: nau_zjh@njau.edu.cn

脂肪酸含量较高,加工过程中易分解氧化^[2],脂肪酶将脂肪分解为脂肪酸,在鱼的腌制和风干过程中,鱼肉中的脂肪产生挥发性的脂肪酸及脂肪酸降解所产生的低级醛、酮和脂肪酸甲酯等化合物^[3],促进产品风味的形成,因此一般认为由脂肪氧化生成的挥发性化合物在水产品风味形成的过程中有重要作用^[4-5]。

通过借鉴金华火腿的现代风干成熟工艺,控制风干成熟温度来激活肌肉内源酶活力,调控脂质分解氧化的速率,达到加快脂质分解氧化速度和改善或提高风味品质,同时有效降低脂肪氧化指标的目的,即在保证传统腌腊制品卫生安全的基础上,有效提高产品的品质特性。本实验以鲈鱼为原料,研究原料腌制、风干过程中挥发性风味化合物组成及含量变化情况,并分析鉴定风鱼加工工艺过程中主体风味物质,讨论脂质分解氧化情况对挥发性风味化合物的影响,探究风鱼加工过程中风味化合物的变化规律,以期为新产品的规模化开发提供一种新的工艺技术支持和强有力的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜鲈鱼(约500g/条)市售,宰杀清洗加入适量料酒,沥干,4℃条件下冷却。任意抽取3条鲈鱼作为原料对照组进行分析测定,剩余鲈鱼用2.5g/100g(肌肉)的食盐,采用干腌方式在4℃、相对湿度85%~90%条件下腌制2d;然后在控温控湿培养箱中按照表1中工艺参数风干成熟。分别于主要工艺点随机抽取3条鲈鱼样品,取肌肉将其切碎、混匀,用不透光真空袋真空包装,−18℃条件下冷藏备用。

表1 风鱼加工过程中的取样工艺点
Table 1 Sampling points during the processing of dry-cured fish

取样工艺点	原料	腌制结束	风干时间/d			风干结束
			1	2	3	
工艺时间/d	0	2	3	4	5	5.5
温度/℃	4	4	14	16	18	19
相对湿度/%	100	85~90	55	57	59	60

1.2 仪器与设备

SPX-250型恒温恒湿箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;DSQ II型气质联用仪 美国Thermo公司;AS2000自动样器SPME装置(配手动进样手柄及75μm碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(CAR/PDMS)萃取头) 美国Supelco公司;HJ-3型恒温磁力搅拌器 江苏金坛国华仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 挥发性风味物质的提取

样品于室温下迅速剪成1~2mm大小的颗粒,取鱼肉15.0g立即装于萃取瓶(15cm×1cm)中,采用静态顶空

固相微萃取(headspace-solid phase microextraction, HS-SPME)方法进行风味成分的提取。聚二甲基硅氧烷CAR/PDMS萃取头插入密封的萃取瓶内,萃取头暴露在瓶内样品上部的顶空中,于60℃萃取40min。

1.3.2 风味成分的鉴定

利用气相色谱-质谱联用仪(gas chromatograph-mass spectrometer-computer, GC-MS)进行风味成分分析。气相色谱条件:毛细管柱为DB-5MS(60m×0.32mm, 1μm);载气为氦气;进样口温度280℃,采用不分流进样模式,不分流时间2min;柱流速1mL/min;解吸3min;采用阶段式程序升温:初始温度40℃保持4min;第一升温阶段从40℃至90℃,保持1min,升温速率6℃/min;第二阶段从90℃至230℃,升温速率10℃/min;最后于230℃保留6min。

质谱条件:电子电离源(electron ionization, EI);发射电流200μA;电子能量70eV;接口温度250℃;离子源温度200℃;质量扫描范围 m/z 33~450;检测电压350V。

定性方法:利用计算机比较样品和标准谱库的质谱数据进行成分鉴定,以相似指数(similar index)和反相似指数(reverse similar index)均大于800作为定性依据。

定量方法:相对百分含量按峰面积归一化法计算。

1.3.3 鲈鱼风干过程中的感官评定

对鲈鱼风干工艺过程中的色泽、香味、异味、硬度、干燥度5个指标进行感官评定。

1.3.4 数据统计分析

利用Origin 8.0作图,用SAS 8.2统计软件进行方差分析,不同平均值之间利用Fisher's最小显著差异法(Fisher's least significant difference, LSD)进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 鲈鱼风干成熟工艺过程中挥发性成分含量的变化

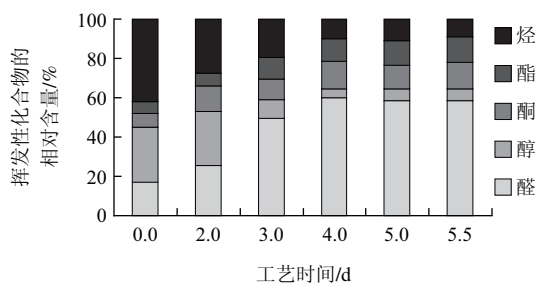


图1 鲈鱼风干成熟工艺过程中主要挥发性化合物的相对含量
Fig.1 Relative content change of volatile compounds in dry-cured perch during processing

鲈鱼风干成熟工艺过程中检出的挥发性化合物有醇类、醛类、酮类、酯类、烃类、含硫类化合物及呋喃类化合物,含硫及呋喃类化合物相对含量较低且种类很

少。鲈鱼风干成熟工艺前后各类挥发性成分的相对含量发生了明显的变化(图1), 原料鱼肉中烃类化合物是含量最丰富的挥发性成分, 相对含量高达42.24%, 经过腌制风干成熟后其相对含量显著减少, 成品中含量为9.22%; 在原料鱼肉和腌制结束时的鱼肉中酯类化合物含量相对较低, 风干成熟过程中酯类化合物含量因温度升高, 醇和酸发生酯化反应, 含量升高; 酮类化合物含量在腌制结束时达到13.37%, 风干后期酮类化合物含量均无明显变化; 醇类化合物相对含量在腌制前后变化不大(约27%), 在风干过程中挥发性风味化合物相对含量逐渐减少, 最终成品中仅有5.68%。鲈鱼腌制前后, 鱼肉中醛类化合物的相对含量均较低(16.76%~25.68%), 风干成熟过程中, 随着温度升高、时间延长, 脂质氧化促进了醛类物质大量生成, 产品中的醛类物质含量高达58.72%, 并成为风鱼中最主要的挥发性成分。由上述分析可知, 由上述分析可知, 在鲈鱼风干成熟过程中, 鱼肉中的不饱和烃、醇等物质逐渐被氧化分解而生成醛、酯类化合物, 其中醛是主要产物, 同时生成酯类物质, 最终促进风鱼特征风味的形成, 即风鱼特征风味的形成主要发生在风干成熟阶段。

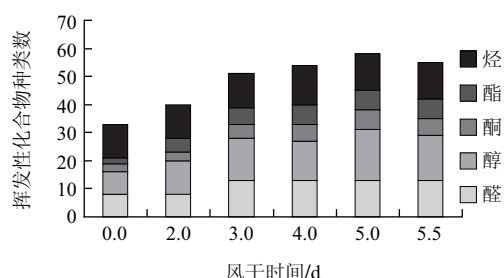


图2 鲈鱼风干成熟工艺过程中主要挥发性成分化合物种类的变化

Fig.2 Content change of volatile compounds in dry-cured perch during processing

从图2可以看出, 鲈鱼风干过程中, 烃类、醇类和醛类化合物种类较多, 酯类和酮类化合物种类数量随着工艺时间的延长不断增加; 原料加工前的成分大多是由烃类、醇类和醛类化合物组成的, 而腌制后鱼肉中酯类化合物种类增加, 说明腌制能促使鱼肉中挥发性物质和前体向风鱼的特征风味物质转化。酯类、酮类和醛类化合物的种类在腌制、风干过程中明显增加, 后期趋于稳定, 醇类化合物种类在风干过程也明显增加, 从而导致鲈鱼中挥发性成分的总体数量在加工后明显增多, 有利于产品风味的形成。

2.2 鲈鱼风干成熟工艺过程中挥发性风味化合物变化的分析

由表2可知, 鲈鱼肌肉中检出的挥发性风味成分主要为64种, 其中在原料鱼肉中检测到33种风味化合物, 在干腌结束后增加至42种, 最终产品中检出55种。检出的64种挥发性成分中, 包括醛类15种、醇类20种、酮类7种、酯类7种、烃类15种。醇类风味化合物种类最多, 其

次是醛类和烃类。在鲈鱼风干结束后产品含有55种风味成分中, 与原料中成分相比新增加风味化合物22种, 其中醛类5种、醇类8种、酮类3种、酯类5种、烃类1种。

醛类化合物的风味阈值低, 可能对产品风鱼风味的形成发挥了重要作用^[6]。检出的挥发性风味成分中醛类化合物是最主要的挥发性风味化合物, 且风味阈值通常比其他化合物的阈值低, 具有脂肪香味^[7], 对风鱼整体风味有重要贡献。一般认为3~4个碳原子的醛具有强烈的刺激性风味, 5~9个碳原子的醛具有油香、脂香味, 分子质量较高的醛具有橘子皮似的风味^[8], 如辛醛和壬醛具有鲜青草气味, 2-己烯醛具有苹果花香味^[9], 而支链醛则具有愉快的甜味或水果特征味-甲基丁醛具有干果味、奶酪味和咸味^[10]。戊醛、己醛、庚醛、辛醛和壬醛作为鲈鱼肌肉中主要的挥发性饱和醛类, 可能对最终产品的风味有重要作用。己醛是亚油酸氧化的基本产物, 与脂肪氧化关系密切, 腌制阶段鲈鱼肌肉中脂肪氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性增加, 促进LOX催化亚油酸底物氧化, 因此风干初期己醛含量迅速增加。到风干后期LOX活性下降, 氧化亚油酸速度下降, 己醛含量变化也趋于平缓, 说明脂质氧化对产品风味化合物积累有重要影响, 己醛为产品中含量最高的挥发性成分, 其阈值较低, 并具有清香青草气味, 对产品风味的产生有重大贡献。风干1d时的样品中检出了少量的2,2-二甲基-4-戊烯醛、5-甲基己醛等不饱和醛类, 多种烯醛被检出, 因为其感官阈值低于饱和醛类, 对产品风味也起着较重要的作用; 另一种含量较高的芳香醛-苯甲醛具有令人愉快的坚果香和水果香, 为海鲜中重要的挥发性风味物质^[11]。

醇类与醛类相比, 具有较高的阈值, 一般不会对产品风味产生很大影响。但不饱和醇类是鲈鱼风干成熟过程中主要的醇类化合物, 可能对风味产生一定的影响。鲈鱼风干加工初期乙醇含量较高, 可能是与腌制时添加了料酒有关, 料酒一方面抑制微生物的生长^[12], 另一方面促进产品风味的形成。实验发现腌制结束醇类化合物种类明显增加, 说明添加料酒促进了醇类风味化合物的形成。原料中含量较丰富的乙醇、1-丁醇、1-辛烯-3-醇、1-壬烯-3-醇等醇类化合物在风干成熟过程中明显下降, 可能是参与了成酯反应而被消耗; 1-庚醇、苯乙醇、1-辛烯-3-醇、2-辛烯醇在风干结束时含量明显增加。原料与腌制后的鱼肉中检出的主要是不饱和醇, 不饱和醇的化学性质不稳定, 在鲈鱼风干工艺过程中易进一步转化为其他物质。鲈鱼风干工艺过程中检出的碳链较长直链醇及一些不饱和醇往往具有某种独特的香味, 如1-辛烯-3-醇有蘑菇香味, 苯乙醇具有花香味且它们的风味阈值较低, 所以醇类化合物对风鱼风味的形成也具有重要作用^[13]。

酮类化合物是脂肪酸氧化的最终产物, 是典型的

表2 鲈鱼风干成熟工艺过程中挥发性化合物相对含量的变化
Table 2 Relative content change of volatile compounds in dry-cured perch during processing

%

	化合物名称	原料	腌制	风干时间/d			风干结束
				1	2	3	
醛类	己醛	6.61±0.13	8.70±6.02	41.60±8.10	52.35±3.95	51.84±3.11	50.83±1.20
	2-甲基-4-戊烯醛	0.93±0.74	2.68±1.95	2.16±0.10	1.20±1.33	2.00±1.41	2.29±0.45
	2-己烯醛	1.50±0.13	3.91±0.75	1.56±0.12	1.54±0.37	1.63±1.05	1.91±0.20
	庚醛	1.54±0.25	4.41±0.65	0.04±0.02	0.03±0.02	0.02±0.01	0.04±0.05
	苯甲醛	1.03±0.37	2.09±1.81	0.86±0.38	1.05±0.12	0.60±0.21	1.03±0.05
	辛醛	0.76±0.29	0.52±0.41	0.88±0.42	0.21±0.01	0.45±0.16	0.33±0.05
	壬醛	1.18±0.43	2.11±1.69	0.68±0.12	1.00±0.06	0.75±0.30	0.80±0.08
	2-甲基丁醛	—	—	—	—	—	0.66±0.41
	2-辛烯醛	1.21±0.08	1.26±0.40	1.10±0.02	2.35±0.42	0.37±0.24	0.36±0.16
	4-戊烯醛	—	—	0.13±0.02	0.13±0.03	—	0.12±0.02
	3-甲基己醛	—	—	0.15±0.03	0.15±0.04	0.11±0.05	0.14±0.02
	2,2-二甲基-4-戊烯醛	—	—	0.03±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01	—
	5-甲基己醛	—	—	0.08±0.01	0.02±0.00	0.08±0.03	—
	5,5-二甲基-己醛	—	—	0.15±0.05	—	0.17±0.07	0.02±0.01
	癸醛	—	—	—	0.15±0.02	0.90±0.02	0.19±0.02
醇类	乙醇	2.90±0.07	20.19±0.12	4.56±0.04	0.03±0.01	0.13±0.05	—
	2-甲基-2,3-戊二醇	—	0.36±0.10	0.05±0.00	—	0.05±0.05	0.01±0.00
	环丁醇	—	0.72±0.84	0.11±0.02	0.26±0.15	0.21±0.11	0.25±0.15
	1-丁醇	1.86±0.27	—	0.01±0.00	0.17±0.02	0.11±0.08	0.02±0.00
	2,3-二甲基-1-戊醇	—	0.25±0.08	—	0.11±0.02	0.07±0.03	0.47±0.07
	4-戊烯-1-醇	—	1.08±0.65	—	0.64±0.08	0.48±0.16	0.04±0.00
	2-甲基-2-丁烯-1-醇	—	0.34±0.02	0.01±0.00	0.01±0.00	—	0.03±0.00
	1-庚醇	1.78±0.10	0.23±0.14	—	—	0.33±0.13	0.73±0.17
	苯乙醇	—	0.38±0.23	0.10±0.02	0.37±0.08	0.24±0.10	0.70±0.15
	2-壬烯-1-醇	—	0.26±0.26	0.02±0.01	0.23±0.03	0.21±0.07	—
	(E)-2-戊烯-1-醇	—	0.47±0.65	0.43±0.86	0.41±0.10	0.21±0.09	—
	1-辛烯-3-醇	7.84±0.30	2.49±0.24	1.98±0.06	1.38±0.04	1.35±0.16	1.02±1.29
	2-辛烯醇	—	0.11±0.06	0.69±0.17	0.79±0.49	1.15±0.53	1.60±0.93
	1-壬烯-3-醇	1.61±0.04	0.13±0.08	0.04±0.01	0.07±0.02	0.09±0.03	0.04±0.01
	2-壬烯醇	—	—	—	0.02±0.01	0.02±0.02	0.05±0.00
	2-甲基-6-亚甲基-7-辛烯-2-醇	0.74±0.09	—	0.03±0.01	—	0.10±0.03	0.22±0.10
	6-氨基-2-甲基-2-庚醇	2.48±0.52	—	1.07±0.23	0.06±0.01	0.51±0.12	0.07±0.03
	芳樟醇	4.83±0.30	0.11±0.05	0.24±0.04	—	—	—
	2,4-二甲基-环己醇	—	—	0.06±0.01	—	0.02±0.01	0.05±0.01
1,5-戊二醇	—	—	—	—	0.59±0.22	0.38±0.15	
酮类	2-庚酮	0.89±0.34	8.32±6.65	5.49±0.28	6.78±0.27	5.67±0.69	3.91±1.35
	(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮	5.16±0.17	1.32±1.10	1.49±0.11	2.50±0.12	1.26±0.10d	0.60±0.22
	2-戊酮	—	—	0.82±0.06	1.03±0.01	1.26±0.10	7.71±2.31
	3-辛酮	—	—	—	0.25±0.08	0.55±0.01	—
	5-甲基-3-庚酮	—	—	—	—	0.50±0.17	0.63±0.40
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.21±0.17	0.71±0.17	1.49±0.01	2.49±0.01	1.51±0.00	0.01±0.01
	3,5-辛二烯-2-酮	—	—	1.07±0.28	0.51±0.11	1.52±0.44	0.67±0.28
酯类	己酸戊烯酯	—	—	0.57±0.09	0.76±0.00	1.01±0.00	1.11±0.06
	乙酸乙酯	2.38±0.85	4.29±2.59	5.72±2.65	5.38±0.32	6.38±0.32	6.31±0.52
	丁酸丁酯	—	0.27±0.01	0.57±0.01	0.52±0.01	0.64±0.01	1.04±0.01
	乙酸芳樟酯	—	0.36±0.03	1.54±0.01	1.12±0.01	1.25±0.08	1.46±0.08
	乙酸罗勒烯酯	3.32±0.97	0.57±0.36	1.57±0.36	0.92±0.09d	0.84±0.02	0.96±0.27
	乙酸香叶草酯	—	0.50±0.00	0.97±0.09d	0.96±0.27	1.43±0.64	1.27±0.44
	邻苯二甲酸二乙酯	—	—	—	0.93±0.09d	1.56±0.38	0.70±0.28
烃类	甲苯	2.77±1.31	0.62±0.47	1.65±0.27	1.29±0.10	1.54±0.26	1.36±0.19
	己烷	0.14±0.05	0.16±0.13	0.11±0.03	0.24±0.01	0.49±0.02	0.53±0.01
	对二甲苯	3.46±2.72	1.83±.93	3.00±0.30	1.28±0.09	1.91±0.34	1.75±0.28
	(3-甲基丁基)-环氧乙烷	2.65±0.94	1.40±0.30	1.85±0.02	0.31±0.12	1.26±0.10	0.91±0.16
	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	0.53±0.01	0.50±0.06	—	0.02±0.01	0.45±0.02	0.32±0.01
	2,2-二甲基己烷	0.86±0.30	—	0.40±0.09	0.53±0.12	0.89±0.13	0.73±0.12
	(1-甲基乙基)-苯	2.07±0.66	1.07±0.66	1.70±0.09	0.87±0.10	1.29±0.11	0.32±0.09
	2-甲基-1-戊烯	1.92±0.70	2.97±1.78	—	0.94±0.70	0.01±0.00	1.12±0.54
	1-柠檬精油	11.71±0.21	12.71±0.51	9.01±0.00	2.51±0.00	2.01±0.01	1.01±0.01
	1,3,5,7-环辛四烯	—	—	0.58±0.19	0.26±0.13	0.32±0.09	0.43±0.12
	庚烷	—	—	0.01±0.00	—	0.48±0.18	0.05±0.02
	罗勒烯	0.52±0.01	0.62±0.01	0.03±0.02	0.43±0.02	—	—
	2,4-二甲基庚烷	0.60±0.03	0.46±0.10	—	0.03±0.01	0.21±0.14	0.11±0.04
1-甲氧基-4-(1-丙烯基)-苯	—	0.85±2.97	0.02±0.00	0.76±0.06	—	—	
十七烷	7.01±0.12	4.05±0.03	1.21±0.04	0.63±0.00	0.31±0.01	0.61±0.00	

注：—，未检出。

风味物质。酮类一般由脂肪分解、氧化或其进一步反应生成。酮类物质的阈值高于其同分异构体醛，对风味贡献相对较小。但是不饱和酮是动物特征风味的来源。在鲈鱼的整个风干成熟工艺过程中均能检测到2-庚酮，风干过程中不饱和酮种类及含量明显增加，它们一般具有典型的动物油脂味^[14]，是风鱼挥发性风味的重要组成部分。2-庚酮相对含量在腌制结束时明显增加，干燥过程中呈下降趋势，其中2-庚酮是含量最丰富的酮类化合物，2-庚酮是亚油酸的一种氧化产物，提供了“蓝莓味”；(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮具有很强的挥发性^[14]，可能来自脂肪降解、糖类物质代谢或蛋白质分解，赋予熟肉以黄油的特性；上述2种酮作为酮类化合物中的最强气味剂^[15]，对产品的特征风味可能起较大作用。

酯类会赋予食品一种香甜的果香。鲈鱼原料肉中仅检出乙酸乙酯和乙酸罗勒烯酯2种酯，其中乙酸乙酯在加工过程中含量逐渐增加，而乙酸罗勒烯酯含量逐渐减少。腌制结束时鱼肉中可检出少量的己酸戊烯酯、丁酸丁酯、乙酸芳樟酯和乙酸香叶草酯。风干后期鲈鱼中检出了邻苯二甲酸二乙酯。酯类化合物种类和相对含量在腌制、风干成熟工艺过程中增加，后期趋于平稳。酯类化合物是酸和醇经酯化而成，一般而言，短链酸形成的酯具有水果香味^[16]，而长链酸形成的酯具有轻微的油脂味，故认为酯类对风鱼风味的形成也做出了贡献。

各种烷烃(C₆~C₁₉)广泛存在于鱼肉的挥发物中，但由于它们阈值较高，对食品的整体风味贡献较小。在鲈鱼风干成熟工艺过程中检出的烃类化合物中，饱和烷烃有4种，不饱和烷烃11种。鲈鱼腌制风干成熟工艺过程中均能检测到甲苯、己烷、对二甲苯、(3-甲基丁基)-环氧乙烷4种挥发性烃，其中甲苯、对二甲苯、(3-甲基丁基)-环氧乙烷3种挥发性烃相对含量在加工过程中均呈下降趋势。腌制结束时烯烃类风味化合物含量增加，如2-甲基-1-戊烯，但烯烃的化学性质不稳定易氧化，因此产品中的烯烃化合物明显减少。

2.3 鲈鱼风干过程中感官评定结果

表3 鲈鱼风干过程中感官评定结果
Table 3 Changes in sensory characteristics of dry-cured fish during processing

指标	样品			
	原料	腌制结束	风干2d	最终产品
色泽	灰白	浅白	淡黄	淡黄、有透明感
香味	新鲜的清香	淡淡的黄酒味	明显的腊香味	浓郁的腊香味
腥味	重	较重	较淡	无
硬度	肉质松软、指压后凹痕	肉质较软、指压有凹痕	肉质坚实、指压有轻微凹痕	肉质坚实、指压无明显凹痕
干燥度	潮湿	有潮湿、黏稠感	较干燥	干燥

由表3可知，肌肉颜色经历了灰白、浅白到浅黄色并带有透明感的变化，香味从新鲜鱼的清香到腌后黄酒味到产品浓郁的腊香味；鱼腥味在风干过程中逐渐消失；硬度从松软变为坚实，干燥度从潮湿变为干爽坚实。感官分析表明，最后的产品具有明显的传统风鱼的特征。

鲈鱼风干工艺过程中感官评定结果与GC-MS的分析结果和鲈鱼风干成熟工艺过程中主要挥发性风味物质成分含量的变化趋势基本一致，由此可见，鲈鱼加工过程中主要风味物质是构成其整体风味特性的基础，因此可以作为衡量风味品质的指标。

3 结 论

3.1 鲈鱼腌制风干成熟过程中共鉴定出64种挥发性化合物，主要挥发性风味成分可归类为：醛类、醇类、酮类、酯类、烃类5类化合物，其中醛类15种、醇类20种、酮类7种、酯类7种、烃类15种。

3.2 鲈鱼腌制风干成熟工艺过程中随着肌肉氧化程度增加，醛、酮、酯类挥发性风味化合物含量均不断升高，烃类和醇类化合物的含量不断降低，其中烯醛、不饱和醇和不饱和酮类化合物成为主要的风味化合物。

3.3 通过分析讨论挥发性成分对风鱼产品整体特征风味的可能贡献，初步认定己醛、2-甲基-4-戊烯醛、2-己烯醛、2-辛烯醛、苯甲醛、1-辛烯-3-醇、2-庚酮、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮等风味化合物为风鱼的重要挥发性风味物质。

参考文献：

[1] MURIEL E, ANTEQUERA T, PETRON M J, et al. Volatile compounds in Iberian dry-cured loin[J]. Meat Science, 2004, 68(3): 391-400.

[2] 赵大云, 汤坚, 丁霄霖. 雪里蕻腌菜特征风味物质的分离和鉴定[J]. 无锡轻工大学学报, 2001, 20(3): 291-298.

[3] KARSTEN H, PIA L, LOTTE F, et al. Dynamic headspace gas chromatography/mass spectrometry characterization of volatiles produced in fish oil enriched mayonnaise during storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(10): 4858-4867.

[4] 章超群, 平野敏行. 鲷的挥发性成分[J]. 水产学报, 2000, 24(4): 354-358.

[5] VINCENT V, CAROLE P, THIERRY S. Volatile aldehydes in smoked fish: analysis methods, occurrence and mechanisms of formation[J]. Food Chemistry, 2007, 105: 1536-1556.

[6] MOHAMMAD A M, AMURADHA B, HITOSHI T, et al. Volatile flavor compounds of some sea fish and prawn species[J]. Fisheries Science, 2003, 69(4): 864-886.

[7] 章建造, 唐志勇, 曾强, 等. 金华火腿发酵成熟现代工艺及装备研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 230-234.

[8] MONICA F, CASEY C, GRIMM F T. Correlations of sensory and volatile compounds of Spanish “Serrano” dry-cured ham as a function of two processing times[J]. Food Chemistry, 1997, 45(6): 2178-2186.

[9] ALICIA O, JOSELUIS N, MONICA F. Establishment of the contribution of volatile compounds to the aroma of fermented sausages at different stages of processing and storage[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1464-1472.

[10] IAN C C N, CELENE S A, ONOFRE M M. Volatile constituents of cooked bullfrog (*Rana catesbeiana*) legs[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 186-191.

[11] SHAHIDI F. 肉制品与水产品的风味[M]. 李洁, 朱国斌, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 143-175.

[12] 刘源, 徐幸莲, 王锡昌, 等. 脂肪对鸭肉风味作用研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(1): 95-100.

[13] 王宏海, 戴志远, 杨荣华, 等. GC-MS法分析烟熏前后鲈鱼的风味成分[J]. 食品研究与开发, 2011, 31(11): 149-153.

[14] 肖宏艳, 曾庆孝. 潮汕鱼露发酵过程中挥发性风味成分分析[J]. 中国调味品, 2010, 2(35): 92-96.

[15] 律佳雪, 陈运中. 风味鲱鱼生产过程中腌制条件的优化研究[J]. 食品科技, 2007, 33(3): 110-114.

[16] BRONCANO J M, PERON M J, PARRA V, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of free cholesterol oxidation products (COPs) in *Latissimus dorsi* muscle of Iberian pigs[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 431-437.