

精制沙丁鱼油品质及挥发性风味成分分析

张蒙娜¹, 宋恭帅¹, 彭 茜¹, 薛 静¹, 戴志远^{1,2}

(1. 浙江工商大学 海洋食品研究院, 杭州 310012; 2. 浙江省水产品加工技术研究联合重点实验室, 杭州 310012)

摘要:为研究精制沙丁鱼油品质及挥发性风味成分,采用气相色谱仪(GC)和顶空固相微萃取-气质联用仪(HS-SPME-GC-MS)对其理化指标、脂肪酸组成及挥发性风味成分进行系统研究。结果表明:精制沙丁鱼油水分及挥发物、酸值、过氧化值均达到SC/T 3502—2016规定的精制鱼油二级标准;精制沙丁鱼油中多不饱和脂肪酸含量为(26.66±0.18)%,其中EPA与DHA总含量为(23.41±0.16)%;精制沙丁鱼油的关键风味成分为壬醛、丁醛、己醛、十一醛、2-壬酮、乙苯,具有甜香、果香等风味的挥发性成分种类较多,如萘、2-十一酮,对鱼油的风味有一定的修饰作用。该研究为精制沙丁鱼油的进一步开发利用提供了一定的理论依据。

关键词:精制沙丁鱼油;理化指标;脂肪酸组成;关键风味成分

中图分类号:TS254.9;TS227 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)04-0048-05

Quality and volatile flavor components of refined sardine oil

ZHANG Mengna¹, SONG Gongshuai¹, PENG Xi¹,
XUE Jing¹, DAI Zhiyuan^{1,2}

(1. Institute of Seafood, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310012, China;

2. State Key Laboratory of Aquatic Processing of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China)

Abstract:To study the quality and volatile flavor components of refined sardine oil, the physicochemical indexes, fatty acid composition and volatile flavor components were analyzed systematically using gas chromatography(GC)and headspace solid phase micro extraction(HS-SPME)coupled with gas chromatography-mass spectrometer(GC-MS). The results showed that the content of moisture and volatile matter, acid value and peroxide value of the refined sardine oil could meet the standard of second grade refined fish oil of SC/T 3502—2016. The content of polyunsaturated fatty acid in refined sardine oil was (26.66±0.18)%, in which the total content of EPA and DHA was (23.41±0.16)%. The key odor components of refined sardine oil were nonanal, butyraldehyde, hexanal, undecanal, 2-nonanone, ethylbenzene. The volatile flavor components with sweet and fruity, such as naphthalene and 2-undecanone, were various, which had a certain role in the modification of the oil flavor. This study provided some theoretical basis for the further development and utilization of refined sardine oil.

Key words:refined sardine oil; physicochemical index; fatty acid composition; key odor component

随着人们对多不饱和脂肪酸营养价值的深入认识和研究,鱼油相关产品越来越畅销。但是深海鱼

油资源少,且价格昂贵,难以满足大众消费。因而为适应市场经济的需要,充分利用各种浅海鱼,如柴鱼、沙丁鱼等,不仅可以有效利用鱼类资源,提高鱼类生产加工的附加值,还可以减少环境污染,带来巨大的经济效益^[1]。沙丁鱼含油量较高,且多不饱和脂肪酸含量高,因此将沙丁鱼作为生产精制鱼油的原料具有较大的经济价值^[2]。

大量科学研究证明,鱼油中含有大量的 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸,如二十碳五烯酸(EPA)和二十二

收稿日期:2017-08-22;修回日期:2017-09-10

基金项目:科技部国际科技合作项目(2014DFA32880);浙江省重点研发项目(2017C03041)

作者简介:张蒙娜(1993),女,硕士研究生,研究方向为水产品加工与贮藏(E-mail)1063552284@qq.com。

通信作者:戴志远,教授(E-mail)dzy@mail.zjgsu.edu.cn。

碳六烯酸(DHA)^[3],是存在于大脑、视网膜、精子、神经组织中的一种重要生物活性物质,具有预防动脉粥样硬化和心脑血管疾病、调节机体脂质代谢、预防癌症、防止大脑衰老、抗炎作用等生理保健功能^[4-6]。

粗鱼油一般颜色较深、黏稠、还带有浓重的腥臭味,需要通过精制过程除去粗鱼油中的非甘油酯杂质成分,从而提升鱼油的品质。精制工艺一般包括脱胶、脱酸、脱色、脱臭4个过程,得到的精制鱼油呈亮黄色、透明澄澈、鱼腥味相较粗鱼油明显减轻^[7]。朱建龙等^[8-9]通过响应面法优化粗鱼油的脱酸、脱色工艺,得到了最佳工艺条件。李冲冲等^[7]添加1%磷酸(体积分数为60%)脱胶,在85℃条件下减压蒸馏脱臭10 min,明显提高了鱼油品质。

目前,大多研究都集中在鱼油工艺方面,而对于精制鱼油品质和挥发性风味成分分析方面研究较少。因此,本研究以精制沙丁鱼油为原料,分别测定了其理化指标、脂肪酸组成、挥发性风味成分,并运用相对气味活度值方法确定关键风味成分,以期为精制沙丁鱼油的开发利用提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

精制沙丁鱼油,购于浙江舟山奥旭鱼油制品有限公司。沙丁鱼油精制工艺为:酸法脱胶,85%磷酸,添加量为油质量1%;碱法脱酸,质量分数约20% NaOH 溶液,添加量根据样品酸值确定;吸附脱色,活性白土用量约为油质量10%;真空脱臭,高真空度下操作。实验所用试剂均购于西陇化工股份有限公司。

50/30 μm 二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(DVB/CAR/PDMS)涂层萃取头,美国 Supelco 公司;7890A 气相色谱仪,美国 Agilent 公司;Trace GC Ultra 气相色谱与 DSQ II 质谱联用仪,美国 Thermo Fisher Scientific 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鱼油理化指标的测定

水分及挥发物测定:参照 GB 5009.236—2016 中的电热干燥箱法;过氧化值测定:参照 GB 5009.227—2016 中的滴定法;酸值测定:参照 GB 5009.229—2016 中的冷溶剂指示剂滴定法;碘值测定:参照 GB/T 5532—2008;皂化值测定:参照 GB/T 5534—2008。

1.2.2 鱼油脂肪酸组成分析

1.2.2.1 样品甲酯化

取鱼油 0.1 g,加入 2 mL 0.5 mL/mol 的 NaOH -

甲醇溶液,摇匀,65℃水浴加热 30 min,取出后自然冷却,然后加 2 mL BF₃ - 甲醇溶液,摇匀,65℃水浴加热 3 min。取出冷却至室温,加入 2 mL 正己烷提取,取出上层清液,再向上层清液中加入适量无水硫酸钠,取上层清液用于 GC 分析^[10]。

1.2.2.2 GC 测定条件

HP-88 氰丙基色谱柱(30 m × 0.25 mm, 0.20 μm);载气为 H₂;不分流进样;进样量 1 μL;检测温度 220℃;程序升温为起始柱温 70℃,以 15℃/min 升至 120℃,保持 1 min,再以 5℃/min 升至 175℃,保持 10 min,最后以 5℃/min 升至 220℃,保持 5 min。

1.2.3 鱼油挥发性风味成分测定

1.2.3.1 固相微萃取条件

称取 5 g 鱼油样品置于 15 mL 顶空进样瓶中,将老化好的 50/30 μm 二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(DVB/CAR/PDMS)涂层萃取头插入进样瓶顶空部分,60℃下吸附 30 min,取出后插入 GC 进样口,250℃解吸 3 min。

1.2.3.2 GC-MS 测定条件

GC 条件:色谱柱为 TR-35MS(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm);载气为高纯氦气;进样口温度 250℃,不分流进样;升温程序为初始温度 40℃,保持 3 min,以 5℃/min 升至 90℃,再以 10℃/min 升至 230℃,保持 7 min。

MS 条件:离子源温度 200℃;电子离子源(EI);电子能量 70 eV;传输线温度 250℃;检测器温度 280℃;质量扫描范围(*m/z*)30~500。

1.2.4 关键风味成分评价方法

采用相对气味活度值的方法^[11]进行评价。

$$ROAV \approx 100 \times \frac{C_A}{C_{\text{stan}}} \times \frac{T_{\text{stan}}}{T_A}$$

式中:ROAV 为相对气味活度值;*C_A* 为物质 A 的绝对浓度;*C_{stan}* 为对样品总体风味贡献最大的组分的绝对浓度(本研究以壬醛为标准物质);*T_{stan}* 为标准物质的感觉阈值;*T_A* 为物质 A 的感觉阈值。

1.2.5 数据分析

实验数据定性分析时,通过 NIST 2.0 谱库自动检索确定定性,当正反匹配度(SI/RSI)均大于 800(最大值为 1 000)的鉴定结果予以保留。定量分析时采用峰面积归一化法求得各挥发性成分的相对含量。每个样品重复测定 3 次,实验结果用“平均值 ± 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 理化指标

精制沙丁鱼油理化指标测定结果见表 1。

表1 精制沙丁鱼油理化指标

指标	精制沙丁鱼油	SC/T 3502—2016 精制鱼油	
		一级	二级
水分及挥发物/%	0.13 ± 0.01	≤0.1	≤0.2
过氧化值/(mmol/kg)	5.89 ± 0.04	≤5.0	≤10.0
酸值(KOH)/(mg/g)	1.32 ± 0.01	≤1.0	≤3.0
碘值(I)/(g/100 g)	159.94 ± 0.12	≥140	
皂化值(KOH)/(mg/g)	221.87 ± 0.15	-	-

鱼油中水分含量过高,会与温度、光照强度、增强剂、微生物及酶等单独或协同作用引发酸败^[12-13],影响鱼油品质;而成品鱼油中残留的易挥发性物质,如提取溶剂等,同样会影响鱼油品质及利用安全性。因此,测定鱼油中水分及挥发物含量对保障鱼油基本品质具有重要意义。由表1可知,精制沙丁鱼油水分及挥发物含量为(0.13 ± 0.01)%,达到了精制鱼油的二级标准。

过氧化值可作为油脂是否酸败或酸败程度的表征指标,主要反映氢过氧化物的含量,氢过氧化物是油脂自动氧化的初级产物,具有高度活性,能迅速地继续发生变化,分解为醛酮类和氧化物等致使油脂酸败变质^[14]。由表1可知,精制沙丁鱼油的过氧化值为(5.89 ± 0.04) mmol/kg,符合 SC/T 3502—2016 规定的精制鱼油二级标准。本测定结果与朱建龙等^[14]测得的粗沙丁鱼油过氧化值(10.00 ± 0.44) mmol/kg 相比,明显降低,表明精制过程提高了沙丁鱼油品质。

酸值可用于判断鱼油中的游离脂肪酸含量,衡量油脂的抗氧化性能,在一定程度上可以反应鱼油品质的劣变程度。由表1可知,精制沙丁鱼油的酸值(KOH)仅为1.32 mg/g,达到精制鱼油二级标准,而朱建龙等^[14]测定的粗沙丁鱼油酸值(KOH)高达(14.34 ± 0.02) mg/g。

碘值是指鱼油在规定条件下吸收卤素的质量,可反映鱼油的不饱和程度。由表1可知,精制沙丁鱼油的碘值(I)为(159.94 ± 0.12) g/100 g,达到精制鱼油标准。

皂化值反映油脂脂肪酸平均相对分子质量,反映油脂的中、短链脂肪酸的比例,在正常油脂种类中,皂化值高的品种,平均相对分子质量小,脂肪酸的平均链长就越短,利用率高^[15]。由表1可知,精制沙丁鱼油的皂化值(KOH)为(221.87 ± 0.15) mg/g,较骆婷等^[16]通过酶解法提取得到的白鲢鱼油皂化

值(KOH)(169.21 ± 1.25) mg/g 高。

2.2 脂肪酸组成及相对含量

对精制沙丁鱼油采用气相色谱分析其脂肪酸组成及相对含量,结果见表2。

表2 精制沙丁鱼油的脂肪酸组成及相对含量 %

脂肪酸	相对含量	脂肪酸	相对含量
月桂酸	0.11 ± 0.00	花生酸	0.99 ± 0.00
十三烷酸	0.04 ± 0.00	α-亚麻酸	0.66 ± 0.01
肉豆蔻酸	9.26 ± 0.04	二十碳烯酸	0.73 ± 0.00
十五烷酸	0.63 ± 0.01	二十一烷酸	0.25 ± 0.01
棕榈酸	22.92 ± 0.18	二十二碳烯酸	1.22 ± 0.00
棕榈油酸	11.51 ± 0.10	EPA	15.41 ± 0.13
十七烷酸	0.67 ± 0.00	DHA	8.00 ± 0.03
十七碳烯酸	0.30 ± 0.01	ΣSFA	42.42 ± 0.28
硬脂酸	7.55 ± 0.04	ΣMUFA	30.92 ± 0.27
油酸(顺)	17.16 ± 0.16	ΣPUFA	26.66 ± 0.18
亚油酸(顺)	2.27 ± 0.01	EPA + DHA	23.41 ± 0.16
γ-亚麻酸	0.32 ± 0.00		

由表2可知,精制沙丁鱼油主要由19种脂肪酸组成,分布范围为C12~C22,饱和脂肪酸共9种,含量为(42.42 ± 0.28)%,以棕榈酸(22.92 ± 0.18)%、肉豆蔻酸(9.26 ± 0.04)%、硬脂酸(7.55 ± 0.04)%为主;不饱和脂肪酸含量为(57.58 ± 0.45)%,其中单不饱和脂肪酸共5种,含量为(30.92 ± 0.27)%,以油酸(顺)(17.16 ± 0.16)%、棕榈油酸(11.51 ± 0.10)%为主,多不饱和脂肪酸共5种,含量为(26.66 ± 0.18)%,以EPA(15.41 ± 0.13)%和DHA(8.00 ± 0.03)%为主。

一般而言,不饱和脂肪酸的含量越高,利用价值越高^[14],单不饱和脂肪酸能降低胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和甘油三酯浓度,从而具有降低血脂、预防动脉粥样硬化和心血管疾病的生理功能;多不饱和脂肪酸是细胞和有机体生物膜的重要组成部分,并可以转化为具有生理功能的代谢产物,体现为抗癌、调节免疫力、延缓衰老等作用,特别是ω-3系列的EPA和DHA。EPA和DHA含量可作为鱼油脂肪酸特征组分和品质评价指标。由表2可知,精制沙丁鱼油的不饱和脂肪酸含量达到50%以上,EPA和DHA总含量所占比例较高。

2.3 挥发性风味成分

2.3.1 挥发性风味成分及相对含量

利用顶空固相微萃取和气质联用技术对精制沙丁鱼油中的挥发性风味成分进行分析,结果见表3。

表3 精制沙丁鱼油挥发性成分及相对含量

化合物	相对含量/%
醇类	
环戊醇	2.70 ± 0.01
1-戊炔-3-醇	4.45 ± 0.05
1-十三醇	0.41 ± 0.02
总计	7.56 ± 0.08
醛类	
丁醛	1.21 ± 0.01
己醛	4.52 ± 0.11
壬醛	5.92 ± 0.02
2-乙基丁烯醛	1.46 ± 0.01
十一醛	0.87 ± 0.01
十二醛	0.22 ± 0.03
苯甲醛	0.58 ± 0.08
2-(4-甲基-3-环己烯基)丙醛	0.41 ± 0.01
总计	15.19 ± 0.28
酮类	
2-庚酮	0.77 ± 0.11
2-壬酮	0.58 ± 0.03
2-十一酮	0.07 ± 0.02
总计	1.42 ± 0.16
烃类	
辛烷	1.86 ± 0.02
苯	1.32 ± 0.03
乙苯	1.05 ± 0.02
丙苯	0.30 ± 0.01
乙基环己烷	0.87 ± 0.03
萘	0.29 ± 0.01
1-甲基萘	0.08 ± 0.08
1,2,4,5-四甲苯	0.44 ± 0.02
4-异丙基甲苯	0.20 ± 0.08
十二烷	0.08 ± 0.01
十四烷	0.13 ± 0.03
十五烷	1.94 ± 0.06
十六烷	0.05 ± 0.04
十七烷	0.32 ± 0.02
姥鲛烷	0.19 ± 0.02
2,4-己二烯	0.17 ± 0.02
1-辛烯	1.11 ± 0.05
1-十二烯	0.19 ± 0.01
1-十三烯	0.03 ± 0.02
总计	10.62 ± 0.58
酸类	
草酸	2.48 ± 0.00
总计	2.48 ± 0.00
其他	
2-烯丙基-6-甲基苯酚	0.27 ± 0.03
总计	0.27 ± 0.03

由表3可知,共鉴定出35种挥发性物质,包括

3种醇类、8种醛类、3种酮类、19种烃类、1种酸类、1种其他。

醛类化合物是精制沙丁鱼油中鉴定出的含量最高的一类化合物,为(15.19 ± 0.28)%,其中壬醛(5.92 ± 0.02)%含量最高,醛类的阈值低,是鱼油嗅感的主要物质,对鱼油的挥发性风味有重要影响;精制沙丁鱼油酮类化合物的相对含量为(1.42 ± 0.16)%,由于酮类化合物的阈值较低,对鱼油整体挥发性风味有一定贡献;醇类化合物的阈值一般较高,对于风味贡献相对较小,精制沙丁鱼油中的醇类化合物相对含量为(7.56 ± 0.08)%,主要是1-戊炔-3-醇(4.45 ± 0.05)%;烃类化合物种类较多,共有19种,含量为(10.62 ± 0.58)%,仅次于醛类,但由于烃类化合物阈值较高,因此其对鱼油的整体挥发性风味影响并不是很大;另外,还鉴定出草酸(2.48 ± 0.00)%、2-烯丙基-6-甲基苯酚(0.27 ± 0.03)%。

2.3.2 关键风味成分

由于挥发性物质相对含量高的,其对于鱼油的整体风味贡献不一定大,而是由挥发性成分浓度和感觉阈值共同决定,因此采用相对气味活度值法对精制沙丁鱼油的关键风味成分进行分析,结果见表4。

表4 精制沙丁鱼油挥发性风味成分的相对气味活度值及其气味特征

化合物	香气特征 ^[17-19]	感觉阈值 ^[20] / (μg/kg)	ROAV
醛类			
丁醛		9	2.27
己醛	鱼腥味,青草香	4.5	16.97
壬醛	脂肪味,清香	1	100
十一醛	脂香,甜橙香	5	2.94
苯甲醛	苦杏仁味,坚果香	350	0.03
酮类			
2-庚酮	清香,水果香	140	0.09
2-壬酮	水果香,甜香	5.5	1.78
2-十一酮	水果香,香草味	7	0.17
烃类			
乙苯	芳香气味	29	1.05
萘	花香,水果香,甜香	21	0.61
十二烷		2 040	<0.01
十四烷		1 000	<0.01

由表4可知,醛类物质相对含量较高,且其阈值较低,因此对鱼油的整体风味具有重要贡献;壬醛相对含量高,且阈值低,将其定义为相对气味活度值100,其具有脂肪味、清香,对鱼油的总体风味贡献最

大;丁醛、己醛、十一醛的相对气味活度值均大于1,为鱼油的关键风味物质,己醛贡献鱼腥味和青草香,十一醛贡献脂香和甜橙香。酮类化合物的阈值相比醛类较高,但对鱼油的整体风味具有一定的影响,有独特的清香和果香^[21],能对鱼油的整体风味进行修饰,2-壬酮的相对气味活度值大于1,是关键风味成分,贡献水果香、甜香。烃类物质阈值较大,但相对含量较高,对于鱼油的整体风味也有一定修饰作用,其中乙苯和萘,贡献了芳香气味、花香、水果香、甜香,十二烷、十四烷的相对气味活度值均小于0.01,对鱼油的整体风味几乎没有影响。

3 结论

精制沙丁鱼油的水分及挥发物、酸值、过氧化值均达到 SC/T 3502—2016 规定的精制鱼油二级标准;碘值和皂化值均较高,表明不饱和脂肪酸的含量和脂肪酸利用率较高;精制沙丁鱼油脂肪酸分布范围为 C12 ~ C22,饱和脂肪酸含量为(42.42 ± 0.28)%,单不饱和脂肪酸含量为(30.92 ± 0.27)%,多不饱和脂肪酸含量为(26.66 ± 0.18)%,EPA 与 DHA 总含量为(23.41 ± 0.16)%。精制沙丁鱼油中共鉴定出 35 种挥发性物质,关键风味成分如壬醛、己醛、十一醛、2-壬酮、乙苯,贡献了脂肪味、鱼腥味、清香等,具有甜香、果香等风味的挥发性成分,如萘、2-十一酮,对鱼油的风味有一定的修饰作用。综上所述,精制沙丁鱼油是一种值得深度开发的鱼油制品,本研究为今后精制沙丁鱼油的进一步开发利用提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 王倩倩,吕顺陆,陆剑锋,等. 酶法提取罗非鱼内脏鱼油及脂肪酸组成分析[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(9): 72-78.
- [2] MORALES M R, DELEÓN G, MUNIO M, et al. Mass transfer modeling of sardine oil polyunsaturated fatty acid (PUFA) concentration by low temperature crystallization [J]. J Food Eng, 2016, 183:16-23.
- [3] HERNÁNDEZ M M, GALLARDO V T, OSORIO R G, et al. Prediction of total fat, fatty acid composition and nutritional parameters in fish fillets using MID-FTIR spectroscopy and chemometrics [J]. LWT - Food Sci Technol, 2013, 52(1):12-20.
- [4] 张红燕,李晔,袁贝,等. 金枪鱼油冬化前后脂肪酸含量和主体风味的解析[J]. 核农学报, 2017, 31(2): 314-324.
- [5] 孙文菊,武瑞霞,陈杨扬,等. 尿素包合法富集鱼油中 EPA 和 DHA 的研究[J]. 食品工业, 2016, 37(10): 37-40.
- [6] 王亚男,徐茂琴,季晓,等. 分子蒸馏富集金枪鱼油油 ω -3 脂肪酸的研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(7): 52-58.
- [7] 李冲冲,李子豪,柳余莉,等. 鱼粉加工副产物中鱼油的精炼及其脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2015, 36(20): 190-193.
- [8] 朱建龙,薛静,宋恭帅,等. 响应面法优化杂鱼油脱酸工艺[J]. 中国食品学报, 2017, 17(1): 154-160.
- [9] 朱建龙,薛静,宋恭帅,等. 响应面法优化杂鱼油脱色工艺[J]. 中国食品学报, 2017, 17(2): 121-126.
- [10] 刘闪,刘良忠,翟路,等. 白鲢鱼头中鱼油的提取、精炼及 EPA、DHA 测定 [J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 158-170.
- [11] ZHAO D Y, TANG J, DING X L. Analysis of volatile components during potherb mustard (*Brassica juncea*, Coss.) pickle fermentation using SPME-GC-MS [J]. LWT - Food Sci Technol, 2007, 40(3): 439-447.
- [12] COZZOLINNO D, MURRAYAL I, CHREEB A, et al. Multivariate determination of free fatty acids and moisture in fish oils by partial least-squares regression and near-infrared spectroscopy [J]. LWT - Food Sci Technol, 2005, 38(8): 821-828.
- [13] 黄雨薇,叶元土,蔡春芳,等. MDA 对草鱼肠道黏膜结构屏障损伤和肝胰脏、肠道胆固醇、胆汁酸合成影响 [J]. 水生生物学报, 2016, 40(4): 869-878.
- [14] 朱建龙,薛静,宋恭帅,等. 4 种粗鱼油的品质分析比较 [J]. 中国油脂, 2016, 41(8): 92-95.
- [15] 刘耀敏,毛艳贞,宋军. 饲料用油脂新鲜度评价体系的研究 [J]. 饲料工业, 2012, 33(7): 61-64.
- [16] 骆婷,许学勤,夏文水,等. 酶解法提取白鲢鱼油的工艺研究及品质分析 [J]. 安徽农业科学, 2016, 44(17): 96-100.
- [17] SUZUKI J, ICHIMURA N. Volatile components of boiled scallop [J]. Food Rev Int, 1990, 6: 537-552.
- [18] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish (*Coregonus clupeaformis*) [J]. J Agric Food Chem, 1983, 31: 326-330.
- [19] FRATINI G, LOIS S, PAZOS M, et al. Volatile profile of Atlantic shellfish species by HS-SPME GC/MS [J]. Food Res Int, 2012, 48(2): 856-865.
- [20] 孙宝国. 食用调香术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 25-32, 123.
- [21] FRATINI G, LOIS S, PAZOS M, et al. Volatile profile of Atlantic shellfish species by HS-SPME GC/MS [J]. Food Res Int, 2012, 48(2): 856-865.