

漂洗过程中白鲢鱼糜风味物质变化的分析

马海建, 施文正, 付强, 汪之和

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 以白鲢为原料, 研究了漂洗过程中白鲢鱼糜的呈味核苷酸类物质和游离氨基酸含量的变化, 通过电子鼻及气相质谱联用仪 (GC-MS) 分析了其挥发性成分的变化。结果表明: 一次漂洗和二次漂洗后鱼糜中 IMP 含量显著性减少, 三次漂洗后 AMP 含量显著性减少; 漂洗过程中一次、二次和三次漂洗后游离氨基酸总量和鲜、甜味氨基酸总量均显著性减少; 漂洗过程对白鲢鱼糜的气味有所影响, 电子鼻主成分分析 (PCA) 结果显示二次漂洗和脱水后的两组鱼糜气味相似, 其它各组间均能得到有效区分; 通过 GC-MS 分析, 未漂洗、一次漂洗、二次漂洗、三次漂洗、脱水后的白鲢鱼糜样品分别检测确认 30、27、21、15、18 种挥发性物质, 主要为己醛、庚醛、壬醛、1-己醇、1-辛烯-3-醇等羰基化合物和醇类。

关键词: 白鲢; 鱼糜; 呈味核苷酸; 游离氨基酸; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2015)7-354-360

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.055

Changes in Flavor Compounds of Silver Carp Surimi during Rinsing

MA Hai-jian, SHI Wen-zheng, FU Qiang, WANG Zhi-he

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Changes in the content of flavor nucleotides and free amino acids of silver carp surimi during the rinsing process were studied and volatile compounds were analyzed using electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that inosinic acid/IMP content reduced significantly after the first and second rinsing, whereas adenosine monophosphate AMP content after the third rinsing was significantly less than the unwashed surimi. The amount of free amino acids reduced significantly after the first, second, and third rinsing, while umami amino acid and sweet amino acid content reduced during the overall rinsing process. Additionally, the rinsing process affected the aroma of silver carp surimi. The results from the electronic nose principal component analysis showed that the aroma of surimi after the second rinsing was similar to that of dehydrated surimi, while that of the other groups were effectively distinguishable. Furthermore, the types of volatile compounds in unwashed surimi after the first, second, and third rinsing, and dehydration were 30, 27, 21, 15, and 18, respectively. These included mostly carbonyl compounds and alcohols such as hexanal, heptanal, nonanal, 1-hexanol, and 1-octen-3-ol, as detected by GC-MS.

Key words: silver carp; surimi; flavor nucleotides; free amino acids; volatile compounds

我国已连续多年渔业总产量居世界首位, 其中淡水鱼的养殖产量占世界 2/3 以上, 2013 年我国淡水鱼养殖产量达到 2481.73 万 t, 相比 2012 年增加 6.32%^[1]。但是我国水产品的加工比例却远远落后于发达国家, 2013 年我国用于加工的淡水产品 555.52 万 t, 加工比例只有 18.31%^[1]。鱼糜制品是目前被认为最适宜淡水鱼深加工的产品, 2013 年我国鱼糜制品产量达到 132.68 万 t^[1], 其具有低脂肪、高蛋白等优点, 口感爽滑且营养价值丰富深受广大消费者喜爱。2013 年我国

收稿日期: 2014-10-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31471685、31171764)

作者简介: 马海建 (1990-), 男, 在读研究生, 研究方向: 水产品加工与贮藏

通讯作者: 施文正 (1975-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工和食品风味

白鲢养殖产量 385.09 万 t^[1], 是我国产量较大的淡水鱼之一, 其肉质嫩、白度较好且生长快、成本低, 将其做成鱼糜不仅可充分利用白鲢资源, 也可为鱼糜制品的生产提供大量原料。在鱼糜制品的加工过程中漂洗是一道非常重要的工序, 目的是除去鱼肉中的残余碎屑、色素、水溶性蛋白质、气味和脂肪等成分^[2]。漂洗使肌原纤维蛋白浓度得到相对提高, 从而改进了鱼糜的凝胶形成能力, 改善了鱼糜质量^[2], 另外漂洗可去除腥臭味以及一些水溶性的游离氨基酸和呈味核苷酸类物质, 因而会使鱼糜的风味物质有一定的变化。风味是消费者评价食品质量的常用指标之一, 包括滋味和气味两个组成部分, 鱼肉滋味物质包括核酸降解产生的核苷酸以及蛋白质水解产生的游离氨基酸和小分子肽等等; 气味由醇类、羰基化合物等一些挥发性物质构成。各种呈味物质间的相互协同作用是决定其

风味的重要因素。国内外报道中关于漂洗对鱼糜的白度、质构特性和凝胶强度等凝胶特性影响的研究较多,而关于漂洗过程中鱼糜风味物质变化的报道较少。本文以白鲢为原料,研究了漂洗过程中白鲢鱼糜的主要呈味核苷酸类物质和游离氨基酸的含量变化,通过电子鼻和气相质谱联用仪(GC-MS)分析了其挥发性成分的变化。

1 材料与方法

1.1 实验材料

鲜活白鲢,购于上海市浦东新区古棕路农贸市场,体重为2.0~2.5 kg/尾。

1.2 主要试剂及仪器

标准品三磷酸腺苷(ATP)、二磷酸腺苷(ADP)、一磷酸腺苷(AMP)、肌苷酸(IMP)、次黄嘌呤核苷(HxR)、次黄嘌呤(Hx),购于Sigma公司;甲醇、磷酸二氢钠和磷酸氢二钠为色谱纯;氢氧化钾、氢氧化钠、氯化钠、高氯酸、三氯乙酸、磷酸为分析纯。

LC-15C 高效液相色谱仪,日本岛津公司;L-8800 氨基酸全自动分析仪,日本 Hitachi 公司;FOX-4000 气味指纹分析仪(电子鼻),法国 Alpha M.O.S 公司;7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪,美国 Agilent 公司;固相萃取整体捕集剂 MonoTrap RCC18(2.9 mm×5 mm,孔径1 mm),日本 GL sciences 公司;热脱附器(TDU)、多功能进样器(MPS)、具有 PTV 的冷却型进样口(CIS),德国 Gerstel 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品准备

冷冻鱼糜的制作工艺:鲜活白鲢→去头、尾及内脏→剖片→清洗(去除淤血、内侧黑膜)→采肉→精滤→漂洗三次(五倍于鱼肉质量的低温清水,每次漂洗时间为10 min)→离心脱水→斩拌(添加抗冻剂)→包装并于-20℃冻藏

上述整个过程均在0~10℃下操作,在上述加工过程中取采肉未漂洗、一次漂洗后、二次漂洗后、三次漂洗后以及离心脱水后的鱼糜样品分别进行后续指标测定。

1.3.2 ATP 关联物的测定

参考 Yokoyama^[3]的方法,略有改动。分别称取鱼糜样品5 g,加入10 mL 10%的高氯酸,匀浆,10000 r/min 离心15 min,取其上清液,沉淀用5 mL 5%的高氯酸洗涤,再次离心取上清液,重复操作两次,合并上清液,用10 mol/L 和1 mol/L 的 KOH 溶液调节 pH

至6.5,静止30 min,取上清液定容至50 mL,摇匀,过0.45 μm 膜后待测。整个过程在0~4℃下操作。

高效液相色谱仪(HPLC)条件:GL Sciences 公司 Inertsil ODS-SP C18 (4.6×250 mm, 5 μm) 液相色谱柱;保护柱柱芯 Inertsil ODS-SP (4×10 mm, 5 μm);流动相:A 为 0.05 mol/L 磷酸二氢钾和磷酸氢二钾(1:1)溶液,用磷酸调节 pH 至 6.5, B 为甲醇溶液, A:B=95:5, 等度洗脱;流速:1 mL/min;柱温:28℃;进样量:10 μL;检测波长:254 nm。

1.3.3 游离氨基酸的测定

参考姚志勇^[4]的方法,略有改动。分别称取鱼糜样品2 g,加入15 mL 15%的三氯乙酸,匀浆,静置沉淀2 h,然后用10000 r/min 冷冻离心机离心15 min,取5 mL 上清液,用3 mol/L NaOH 溶液调节 pH 值至2.0,定容至10 mL,摇匀,过0.22 μm 膜后待测。

氨基酸自动分析仪条件:分离柱:4.6 mm I.D.×60 mm,分离树脂为阳离子交换树脂;分离柱温度:57℃;检测波长:570 nm(脯氨酸为440 nm);缓冲溶液流速:0.40 mL/min;反应液:茚三酮试剂;反应液流量:0.35 mL/min;反应单元温度:135℃;进样量20 μL。

1.3.4 电子鼻分析

分别准确称取各组鱼糜样品1.0 g,置于10 mL 进样瓶中封盖待测,每组做5个平行。

电子鼻参数:以干燥洁净空气为载气,流速150 mL/min;顶空平衡温度60℃,顶空平衡时间300 s,振荡速度500 r/min;注射针温度70℃,进样体积2500 μL,注射速度2500 μL/s,即1 s 完成;数据采集时间120 s,获取延滞时间10 min。

1.3.5 挥发性成分的测定

萃取方法^[5]:称取鱼糜样品3 g,置于20 mL 顶空瓶内,将7个固相萃取整体捕集剂 MonoTrap RCC18(下文以 MTRCC18 表示)用固定装置相连,置于顶空瓶中样品上方。50℃水浴45 min,磁力搅拌, MTRCC18 对样品中挥发性成分萃取完全后将其与固定装置分离,迅速装入热脱附管中,由多功能进样器将其转移至热脱附器(TDU)中进行热脱附。

TDU 条件:不分流模式,起始温度50℃,以180℃/min 升至250℃,保留10 min。

CIS 条件:起始温度55℃,平衡60 s,以12℃/s 升至270℃,保留2 min。

色谱条件:DB-5MS 弹性毛细管柱(60 m×0.32 mm×1 μm),不分流模式;程序升温:柱初温40℃,保持3 min,以4℃/min 升至160℃,保持2 min,以10℃/min,升至230℃,保持10 min;载气(He)流量1.0 mL/min。

质谱条件: 传输线温度 280 °C; 离子源温度 230 °C; 四极杆温度 150 °C; 电子能量 70 eV; 质量扫描范围 m/z : 35-350。

1.4 数据处理

利用电子鼻配套软件 Alpha soft 11.0 对样品数据信息进行主成分分析(principal component analysis, PCA)。挥发性物质通过 NIST 2008 和 Wiley 谱库进行定性, 通过面积归一化法求得各挥发性物质的相对百分含量。实验数据均由 Excel、SPSS17.0 等软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 漂洗过程中白鲢鱼糜的 AMP 和 IMP 含量的变化

核苷酸及其关联物是水产品鲜味产生的主要因素之一。ATP 及其分解产物是鱼肉中核苷酸的重要组成部分, ATP 在其体内的降解顺序依次为 ADP、AMP、IMP、HxR 和 Hx^[4]。对鱼肉风味形成有贡献的主要是 IMP 和 AMP。IMP 是肉类的一种主要呈味物质, 是鲜味极强的风味增强剂, 与谷氨酸共存时呈味阈值会有所降低, 两者有着显著的风味协同作用^[3], 在水或脂肪中同时加热 IMP 和糖蛋白会有明显肉鲜味。AMP 有抑制苦味的特性, 能使食品产生理想的咸味与甜味, Yokoyama 等^[3]认为 AMP 与糖原作用有鲜味产生, 也有研究证实 AMP 和 IMP 具有协同增效的作用^[6]。

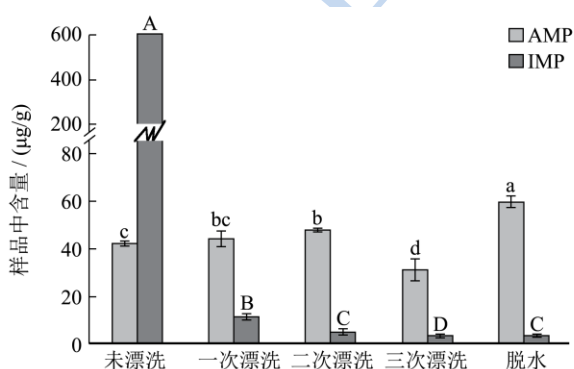


图 1 漂洗过程中白鲢鱼糜 AMP 和 IMP 含量的变化

Fig.1 Change in AMP and IMP content of silver carp surimi after rinsing

注: 图中数据均已换算到相同水分含量(80%); 不同小写字母表示各组 AMP 含量间有显著性差异($p < 0.05$); 不同大写字母表示各组 IMP 含量间有显著性差异($p < 0.05$)。

图 1 为漂洗过程中白鲢鱼糜 AMP 和 IMP 含量的变化。漂洗过程中 AMP 含量变化比较平缓, 未漂洗

鱼糜中 AMP 含量是 40.68 $\mu\text{g/g}$, 一次漂洗后是 43.26 $\mu\text{g/g}$, 与未漂洗组的差异不显著 ($p > 0.05$), 二次漂洗后鱼糜样品的 AMP 含量和一次漂洗组的差异也不显著, 三次漂洗后的 AMP 含量减少到 30.12 $\mu\text{g/g}$ ($p < 0.05$), 相比未漂洗组减少了 25.96%, 脱水后的鱼糜中 AMP 含量增加到 58.97 $\mu\text{g/g}$, 这可能是由于 ATP 降解以及离心时一些其他水溶性物质随水分脱除而使 AMP 含量相对提升; 未漂洗鱼糜的 IMP 含量是 591.51 $\mu\text{g/g}$, 一次漂洗后含量迅速下降到 10.70 $\mu\text{g/g}$, 差异显著, 降幅达 98.19%, 二次漂洗后含量继续下降到 3.78 $\mu\text{g/g}$ ($p < 0.05$), 二次漂洗、三次漂洗和脱水后三组的鱼糜样品的 IMP 含量差异不显著, 脱水后 IMP 的含量为 2.36 $\mu\text{g/g}$, 相对未漂洗组减少了 99.60%。

因此漂洗过程对白鲢鱼糜中核苷酸类物质的含量有明显影响。一次漂洗使 IMP 损失最为严重, 一次漂洗和二次漂洗使得鱼糜中 IMP 含量显著减少, 而对鱼糜 AMP 含量的影响较小, 差异不显著; 三次漂洗对 IMP 含量影响较小, 三次漂洗后和二次漂洗后鱼糜的 IMP 含量无显著变化, 但三次漂洗后 AMP 含量显著减少, 使得鱼糜的呈味核苷酸类风味物质进一步损失。

2.2 漂洗过程中白鲢鱼糜的游离氨基酸含量的变化

除因酸性条件遭受破坏的色氨酸外, 其它 17 种游离氨基酸测定结果如表 1 所示。游离氨基酸对滋味的影响十分复杂, 不仅与种类和含量有关, 还与氨基酸之间及与其它成分的相互作用有关。本实验中含量较高的有 Gly、His、Ala、Lys 等, 未漂洗鱼糜样品中 Gly 的含量最高, 其对鱼的甜味有贡献, 可除去咸味和苦味, 与其他鲜味物质有相乘作用, Ala 是略带苦味的甜味氨基酸, 与 Glu、肌苷酸等也有协同作用, His 本身呈苦味, 但起到增强风味的效果, 形成某些海产品中的“肉香”特征, Lys 是人体第一必需氨基酸, 能在体内发生转氨基反应, 在营养学上意义重要^[7]。

由表 1 可知, 各组白鲢鱼糜样品的游离氨基酸总量呈逐渐减少的趋势, 其中三次漂洗后和脱水后的鱼糜样品间差异不显著, 其他各组均存在显著性差异。未漂洗的鱼糜中游离氨基酸总量是 3027 $\mu\text{g/g}$, 一次漂洗后减少到 963.11 $\mu\text{g/g}$, 降幅达 68.19%, 二次漂洗后鱼糜的游离氨基酸总量相比一次漂洗后减少了 55.81%, 三次漂洗后相比二次漂洗后减少了 40.51%, 因此, 第一次漂洗后游离氨基酸总量损失的最为严重,

二次、三次漂洗对游离氨基酸的损失率逐渐减小，一次、二次、三次漂洗均使游离氨基酸总量显著性减少。

表 1 漂洗过程中白鲢鱼糜游离氨基酸含量的变化 (μg/g)

Table 1 Changes in free amino acid content of silver carp surimi during rinsing process (μg/g)

氨基酸种类	未漂洗	一次漂洗	二次漂洗	三次漂洗	脱水
天冬氨酸(Asp) [*]	2.76±0.29 ^b	2.14±0.32 ^c	2.74±0.12 ^b	3.57±0.82 ^a	4.00±0.11 ^a
苏氨酸(Thr) [*]	76.96±1.01 ^a	23.69±2.06 ^b	9.86±0.67 ^c	4.72±0.03 ^d	4.64±0.31 ^d
丝氨酸(Ser) [*]	35.46±0.56 ^a	13.19±1.51 ^b	6.39±0.03 ^c	5.58±0.39 ^{cd}	3.95±0.16 ^d
谷氨酸(Glu) [*]	11.57±2.80 ^a	13.03±0.11 ^a	6.47±1.59 ^b	7.22±0.01 ^b	7.47±0.14 ^b
甘氨酸(Gly) [*]	1113.93±16.87 ^a	254.5±13.55 ^b	79.48±2.36 ^c	14.15±0.62 ^d	15.03±0.32 ^d
丙氨酸(Ala) [*]	235.45±10.58 ^a	68.28±1.61 ^b	26.20±2.40 ^c	8.98±0.38 ^d	9.19±1.08 ^d
半胱氨酸(Cys)	84.04±1.49 ^a	41.76±2.37 ^b	24.58±4.17 ^c	17.98±0.79 ^d	10.71±1.77 ^e
缬氨酸(Val)	30.96±0.49 ^a	16.55±0.59 ^b	14.04±1.67 ^{bc}	17.65±2.69 ^b	12.11±1.42 ^c
蛋氨酸(Met)	28.18±0.67 ^a	22.78±2.75 ^b	16.47±0.94 ^d	19.08±2.54 ^{bc}	12.60±0.02 ^d
异亮氨酸(Ile)	25.91±3.30 ^a	18.72±3.27 ^{ab}	14.83±1.59 ^b	24.59±4.90 ^{ab}	15.59±4.27 ^b
亮氨酸(Leu)	34.75±0.24 ^a	20.94±0.50 ^b	17.76±1.38 ^b	22.13±5.86 ^b	17.46±0.94 ^b
酪氨酸(Tyr)	28.56±1.62 ^a	25.21±0.52 ^a	26.48±5.49 ^a	31.82±5.61 ^a	14.25±1.62 ^b
苯丙氨酸(Phe)	48.53±5.77 ^{ab}	36.24±1.31 ^c	41.09±3.17 ^{bc}	52.54±3.15 ^a	36.38±5.67 ^c
赖氨酸(Lys)	150.09±0.20 ^a	53.61±6.05 ^b	25.28±1.24 ^c	10.86±1.16 ^d	14.29±1.13 ^d
组氨酸(His)	923.54±10.42 ^a	285.62±34.33 ^b	89.75±6.47 ^c	12.31±0.09 ^d	20.35±0.11 ^d
精氨酸(Arg)	23.68±0.39 ^a	9.84±0.23 ^b	4.72±2.47 ^c	ND	3.22±0.16 ^c
脯氨酸(Pro) [*]	173.13±2.30 ^a	56.99±1.41 ^b	19.48±1.56 ^c	ND	ND
游离氨基酸总量	3027.5±6.61 ^a	963.11±49.89 ^b	425.61±16.19	253.20±4.10 ^d	201.24±7.87 ^d
鲜、甜味氨基酸总量	1649.26±7.65 ^a	431.83±17.37 ^b	150.62±0.46 ^c	44.21±0.65 ^d	44.30±0.67 ^d

注：表中数据均已换算到相同水分含量(80%)；^{*}为鲜、甜味氨基酸，不同字母表示同一行间有显著性差异 (P<0.05)，ND 表示未测出。

鲜、甜味氨基酸主要包括 Asp、Thr、Ser、Glu、Gly、Ala、Pro 七种，其中 Asp 和 Glu 是呈鲜味的特征性氨基酸，其他五种氨基酸和甜味有关^[7]。脱水对鲜、甜味氨基酸总量的影响不明显，三次漂洗后和脱水后的两组鱼糜样品间差异不显著 (P>0.05)，一次、二次、三次漂洗均使鲜、甜味氨基酸的总量显著性减少。一次漂洗后的含量由未漂洗鱼糜的 1649.26 μg/g 减少到 431.83 μg/g，降幅为 73.82%，二次漂洗、三次漂洗和脱水后的鱼糜相比未漂洗鱼糜的降幅分别为 90.87%、97.07%、97.31%，可见，一次漂洗使鲜、甜味氨基酸的损失最为严重，漂洗次数越多，鲜、甜味氨基酸损失越多。七种氨基酸中 Gly、Ala 等含量变化比较明显，未漂洗鱼糜中 Gly 的含量为 1113.93 μg/g，而脱水后仅为 15.03 μg/g；而 Asp 和 Glu 含量的变化相对比较平缓，脱水后鱼糜的 Glu 含量由未漂洗时的 11.57 μg/g 减少到 7.47 μg/g，降幅仅为 35.44%，可见漂洗对甜味氨基酸的影响要大于对鲜味氨基酸的影响。

因此漂洗过程对白鲢鱼糜的游离氨基酸含量有明显影响。其中脱水对游离氨基酸总量和鲜、甜味氨

基酸总量的影响不显著，第一次漂洗使游离氨基酸含量降低最显著，二次和三次漂洗使游离氨基酸含量进一步降低，但降低幅度趋缓。

2.3 电子鼻分析结果

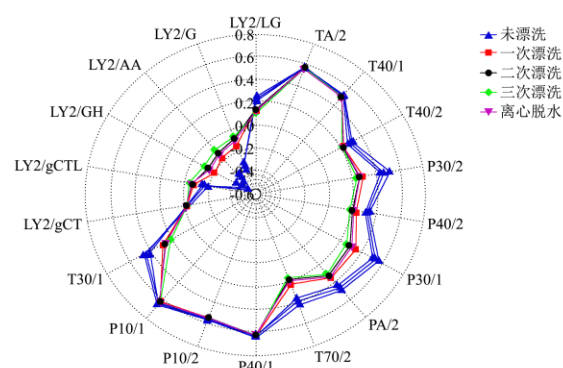


图 2 各组样品的挥发性气味传感器响应值雷达图

Fig.2 E-nose sensor response for each sample

电子鼻由气敏传感器阵列、信号处理器系统、模式识别系统等器件组成，利用传感器阵列的响应曲线识别样品挥发性气味，对检测的气味进行判别和分析^[8]。图 2 为白鲢鱼糜漂洗过程各组样品对传感器响应

值的雷达图。每组样品的响应强度最大值均在 0.6 以上, 达到了电子鼻检测的响应值要求。传感器 P10/1、P10/2、P40/1、T40/1、TA/2 的响应值较高但各组差异不大, T30/1、T70/2、PA/2、P30/1、P30/2、P40/2 的响应值适中且各组间有所差异, 传感器 LY2/G、LY2/AA、LY2/GH、LY2/gCTL 响应值较低但有较好的区分效果。因此电子鼻的 18 根金属氧化物传感器可以对各组样品的挥发性气味进行有效区分。

主成分分析 (PCA) 主要是对传感器响应的特征向量矩阵进行数据转换和降维, 并进行线性分类, 损失很少信息的前提下把多个指标转化为少数重要综合指标, 最后结果以 PCA 二维散点图形式显示^[9]。对各组鱼糜样品进行主成分分析的结果见图 3, 第一主成分 (PC1) 贡献率达到了 99.22%, 第一主成分 (PC1) 和第二主成分 (PC2) 贡献率之和为 99.64%, 因此主成分可较好的反映原来多指标的信息。电子鼻能够较好判别出各组鱼糜的挥发性气味, 5 组鱼糜样品主要分布在两个区域, 除未漂洗样品外其它各组样品均在右半区域, 未漂洗鱼糜的样品点和其它各组距离较远, 说明未漂洗鱼糜和其它样品的挥发性气味差异较大; 一次、二次、三次漂洗后的样品点相距较近但没有重叠可以区分开, 说明一次、二次、三次漂洗后的鱼糜样品挥发性气味有所不同, 但差异不大; 二次漂洗后鱼糜和脱水后鱼糜的样品点所在区域有所重叠, 不能有效的区分开, 说明二次漂洗后和脱水后的两组鱼糜

样品的气味相似。因此可推断漂洗可一定程度上去除白鲢的鱼腥味, 对鱼糜的气味有所影响, 且第一次漂洗的作用较为明显。

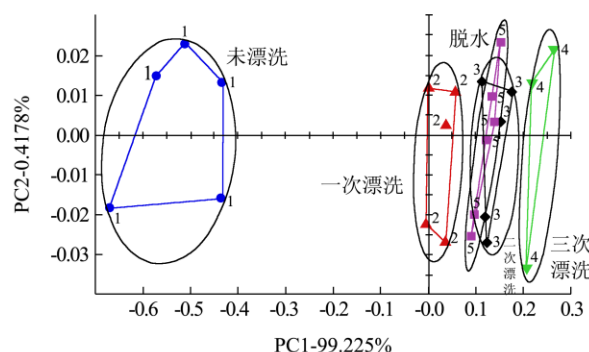


图 3 各组样品的挥发性气味 PCA 图

Fig3 Principal component analysis by e-nose for each sample

2.4 GC-MS 挥发性物质分析

固相萃取整体捕集剂 (MonoTrap) 是将活性炭、硅胶和 ODS 等材料集于一体的一种新型高交联性吸附剂, 可用于极性和非极性以及高沸点和低沸点化合物的提取, 可将这种吸附模式称为 Monolithic material sorptive extraction (MMSE)^[10]。本实验采用新型吸附介质固相萃取整体捕集剂, 结合二级热脱附技术, 利用 GC-MS 对漂洗过程各步骤的鱼糜样品进行挥发性物质检测。

表 2 漂洗过程中白鲢鱼糜挥发性成分含量的变化

Table 2 Changes in content of volatile compounds from silver carp surimi during rinsing process

类别	化合物名称	保留时间 /min	相对含量/%				
			未漂洗	一次漂洗	二次漂洗	三次漂洗	脱水
羰基化合物	2,3-戊二酮	17.99	0.07	ND	ND	ND	ND
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	31.46	0.81	2.52	1.60	2.16	1.30
	3-辛酮	31.51	0.56	ND	ND	ND	ND
	苯乙酮	35.85	0.42	1.83	1.59	1.59	1.30
	3,5-辛二烯-2-酮	36.47	ND	1.45	0.46	ND	ND
	(E)-2-戊烯醛	20.92	0.05	ND	ND	ND	ND
	己醛	22.99	31.12	28.47	34.82	39.98	36.47
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	25.84	0.65	0.51	ND	ND	ND
	(E)-4-庚烯醛	27.68	ND	0.99	ND	ND	ND
	庚醛	27.79	7.99	7.76	8.71	8.42	9.21
	苯甲醛	31.22	ND	ND	15.12	9.73	6.63
	辛醛	32.36	3.27	3.09	2.93	3.76	4.31
	壬醛	36.78	3.98	4.20	4.57	7.38	7.28
	3-乙基苯甲醛	39.52	1.77	1.69	ND	ND	ND
	癸醛	40.26	1.92	3.00	2.68	5.86	7.05
1-戊烯-3-醇	17.49	1.08	0.71	0.64	ND	ND	

转下页

接上页

	1-戊醇	21.27	0.70	0.95	1.23	ND	1.81
	(Z)-2-戊烯-1-醇	21.42	2.52	0.77	ND	ND	ND
	1-己醇	26.07	4.95	3.05	4.64	4.05	5.17
	庚醇	30.69	0.19	0.67	ND	ND	2.60
	1-辛烯-3-醇	31.22	16.89	19.21	ND	ND	ND
	2-乙基-1-己醇	33.33	0.50	0.60	1.23	2.91	3.22
	1-辛醇	35.16	ND	0.38	ND	ND	2.73
	2-壬烯-1-醇	36.47	0.87	ND	ND	ND	ND
烷、烯烃类	反-1,3,5-辛三烯	26.91	1.88	3.16	2.01	ND	ND
	正十三烷	40.42	5.63	3.22	7.52	4.41	ND
	正十六烷	42.64	2.64	ND	ND	ND	ND
	正十九烷	47.61	5.18	6.35	3.35	ND	3.40
芳香族化合物及其他	苯	16.90	0.05	ND	ND	ND	ND
	甲苯	21.80	1.03	0.45	0.97	1.95	ND
	对二甲苯	26.74	1.39	0.86	0.97	3.35	2.41
	萘	40.70	0.73	1.94	2.25	2.91	2.20
	1-甲基萘	43.68	0.54	0.99	1.09	ND	0.97
	联苯	45.71	0.60	1.15	1.63	1.53	1.92

注: ND表示未检出。

漂洗过程中各组白鲢鱼糜挥发性成分含量的变化如表2所示。未漂洗、一次漂洗、二次漂洗、三次漂洗、脱水后的鱼糜样品分别检测确认30、27、21、15、18种挥发性物质,主要包括羰基化合物、醇类、烷烃烯烃类、芳香族化合物等物质,其中主要是羰基化合物和醇类,多由不饱和脂肪酸氧化产生,它们共同作用构成了鱼肉的气味。未漂洗鱼糜样品中醇类和羰基化合物的相对含量为80.33%,其中己醛、庚醛、壬醛、1-己醇、1-辛烯-3-醇等的相对含量较高,这和已有报道的白鲢挥发性成分组成基本一致^[11]。各组样品中羰基化合物的相对含量均为最高,且其中醛类物质含量要高于酮类,这些物质可能导致鱼肉产生土腥味,各组的己醛、庚醛、壬醛含量均相对较高,己醛普遍存在于淡水鱼及海水鱼中,具有青香或青草气味,常常会与八碳或九碳挥发性物质混合在一起共同对其香味产生贡献^[12];庚醛具有鱼腥味;壬醛有青草味和脂香^[13];二次、三次漂洗和脱水后鱼糜样品中检测到苯甲醛,其可产生令人愉快的杏仁味和坚果香。酮类物质虽相对含量较小,但其阈值较低具有特殊香味,6-甲基-5-庚烯-2-酮、3,5-辛二烯-2-酮具有植物芳香的风味^[11]。醇类的香气强度和类型与其分子结构存在一定关系,本实验中各组1-己醇相对含量均较高,其和新鲜的淡水鱼具有的植物性气味有关,呈现青草味^[14];1-辛烯-3-醇是一种亚油酸的氢过氧化物的降解物,具有类似蘑菇的气味^[11],未漂洗和一次漂洗后的鱼糜样品中1-辛烯-3-醇的含量较高,而二次、三次漂

洗和脱水后鱼糜样品中没有检测到,其可能也是导致白鲢土腥味的的原因之一。烷烃类化合物的阈值较高,对白鲢鱼糜的风味形成影响较小。因环境污染可能使白鲢鱼体中含有一些苯和甲苯等芳香族化合物,这些物质可带来一些令人不愉快的风味,本实验中检测到苯、甲苯、萘、1-甲基萘等,说明鱼体有所污染,漂洗可减少一定量的污染物,增加鱼糜的安全性。

羰基化合物是白鲢鱼糜中主要的挥发性物质,未漂洗、一次、二次、三次漂洗后和脱水后鱼糜样品中的羰基化合物的相对含量分别为52.63%、55.52%、72.47%、78.89%、73.56%,各组的相对含量发生变化,说明漂洗对鱼糜挥发性成分有所影响。其中二次漂洗对白鲢鱼糜中羰基化合物的相对含量影响较为明显,二次漂洗还使鱼糜中醇类化合物的相对含量由一次漂洗的26.35%减少到7.74%。二次漂洗后和脱水后样品羰基化合物的相对含量差别很小,这与电子鼻主成分分析的结果显示有所相同。鱼糜的气味并不简单的由羰基化合物的相对含量来决定,而是所有挥发性物质共同相互作用的结果,结合电子鼻的主成分分析结果,可推断漂洗能一定程度上去除白鲢的鱼腥味,其中一次漂洗和二次漂洗对鱼糜气味的影响较为明显;林琳等^[2]研究表明,二次与三次漂洗后白鲢鱼糜的白度和凝胶强度无显著性差异,综合考虑,白鲢鱼糜生产建议采用二次漂洗。

3 结论

一次漂洗后白鲢鱼糜中 IMP 含量显著降低,二次与三次漂洗鱼糜中 IMP 含量差异不显著,三次漂洗使白鲢鱼糜的 AMP 含量显著减少,呈味核苷酸进一步损失;一次漂洗后白鲢鱼糜中游离氨基酸含量显著减少,随漂洗次数增多,白鲢鱼糜中游离氨基酸含量进一步降低,但降低幅度趋缓;GC-MS 检测结果与电子鼻结果分析表明,一次和二次漂洗可一定程度去除白鲢的鱼腥味,对鱼糜气味产生明显改善,三次漂洗对白鲢鱼糜的风味改善较小;因此,白鲢鱼糜工业生产中建议采取二次漂洗较好。

参考文献

- [1] 农业部渔业局.中国渔业统计年鉴 2014[M].北京:中国农业出版社,2014
Bureau of Fisheries of the Ministry of Agriculture. China Fishery Statistical Yearbook [M]. China Agriculture Press, 2014
- [2] 林琳,陆剑锋,翁世兵,等.漂洗工艺对鲢鱼鱼糜凝胶强度和色泽的影响[J].食品研究与开发,2012,33(2):8-12
LIN Lin, LU Jian-feng, WENG Shi-bing, et al. Effect of Washing Technique On Gel Strength and Whiteness of Surimi from Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Food Research and Development, 2012,33(2): 8-12
- [3] Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F, et al. Change in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(11): 2125-2136
- [4] 姚志勇,万金庆,庞文燕,等.真空冷诱导对冰温贮藏罗非鱼片鲜度和滋味的影响[J].现代食品科技,2014,30(2):198-203
YAO Zhi-yong, WAN Jin-qing, PANG Wen-yan, et al. Effect of Vacuum Cold-induction on Freshness and Taste of Tilapia Fillets Stored at Ice Temperature [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 198-203
- [5] 顾赛麒,吴浩,张晶晶,等.固相萃取整体捕集剂-气相色谱-质谱联用技术分析中华绒螯蟹性腺中挥发性成分[J].现代食品科技,2013,29(12):3019-3025
GU Sai-qi, WU Hao, ZHANG Jing-jing, et al. Analysis of Volatile Components in Gonad of *Eriocheir sinensis* by Monolithic Material Sorptive Extraction Coupled with Gas Chromatography and Mass Spectrometry [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 35(5): 289-293
- [6] Fuke S, Ueda Y. Interactions between umami and other flavor characteristics [J]. Trends in Food Science & Technology, 1996, 7(12): 407-411
- [7] 叶鸽,郝淑贤,李来好,等.不同养殖模式罗非鱼品质的比较[J].食品科学,2014,35(2):196-200
YE Ge, HAO Shu-xian, LI Lai-hao, et al. Comparison of Meat Quality of Tilapia Under Different Culture Modes [J]. Food Science, 2014, 35(2): 196-200
- [8] N El Barbri, A Amari, M Vinaixa, et al. Building of a metal oxide gas sensor-based electronic nose to assess the freshness of sardines under cold storage [J]. Sensors and Actuators B, 2007, 128(1): 235 - 244
- [9] 吴薇,顾赛麒,陶宁萍.熟制刀鱼肉挥发性风味轮廓研究[J].食品工业科技,2013,34(6):163-166
WU Wei, GU Sai-qi, TAO Ning-ping. Volatile flavor profiles of cooked *Coilia ectenes Jordan* meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(6): 163-166
- [10] Gilart N, Cormack P A G, Marc é R M, et al. Preparation of a polar monolithic coating for stir bar sorptive extraction of emerging contaminants from wastewaters [J]. Journal of Chromatography A, 2013, 1295: 42-47
- [11] 张青,王锡昌,刘源.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱-嗅觉测量联用初探鲢肉的挥发性风味物质[J].水产学报,2009, 33(4):692-696
ZHANG Qing, WANG Xi-chang, LIU Yuan. Preliminary study on volatile flavor compounds of silver carp meat by HS-SPME coupled with GC-MS and GC-O [J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(4): 692-696
- [12] Guillén M D, Errecalde M C, Salmerón J, et al. Headspace volatile components of smoked swordfish (*Xiphias gladius*) and cod (*Gadus morhua*) detected by means of solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2006, 94(1): 151-156
- [13] Morales M T, Rios J J, Aparicio R. Changes in the volatile composition of virgin olive oil during oxidation: flavors and off-flavors [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(7): 2666-2673
- [14] 施文正,汪之和,朱耀周,等.漂洗过程中草鱼鱼糜挥发性成分变化的研究[J].食品工业科技,2009,30(12):376-379
SHI Wen-zheng, WANG Zhi-he, ZHU Yao-zhou, et al. Research on changes of the volatile compounds of grass carp surimi in the washing process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(12): 376-379