

周鸿宇,刘欢,熊善柏,等.臭氧气浮漂洗对鲢鱼糜挥发性成分的影响[J].华中农业大学学报,2022,41(3):229-235.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.03.026

## 臭氧气浮漂洗对鲢鱼糜挥发性成分的影响

周鸿宇,刘欢,熊善柏,刘友明

华中农业大学食品科学技术学院/长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心/国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉),武汉 430070

**摘要** 为探究臭氧气浮漂洗对鲢鱼糜的除腥效果,以鲢鱼糜为试验材料,采用电子鼻结合顶空-固相微萃取-气质联用法(HS-SPME-GC-MS)检测分析传统漂洗和臭氧气浮漂洗后鲢鱼糜的挥发性成分,寻找其腥味来源。结果显示:鲢鱼糜中共检测到24种挥发性物质。与传统漂洗鱼糜相比,经过臭氧气浮漂洗后,鱼糜中挥发性成分减少,己醛、庚醛、壬醛、癸醛、1-辛烯-3-醇等对鱼腥味贡献较大物质的相对含量皆有所降低,而1-甲基-4-硝甲基-哌啶和5-甲基-2-苯基-吡啶等其他化合物并未被检测出。电子鼻的PCA分析结果与HS-SPME-GC-MS检测结果相一致。结果表明,使用臭氧气浮漂洗鱼糜相比传统漂洗可有效减轻鱼糜腥味,漂洗时间应控制在10~15 min。

**关键词** 臭氧; 鲢; 鱼糜漂洗; 除腥; 电子鼻; 顶空-固相微萃取-气质联用法; 挥发性成分

**中图分类号** TS254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)03-0229-07

鲢作为我国四大家鱼之一,分布广泛,具有产量高、价格低、肉质白等特点,已成为我国生产冷冻鱼糜的主要原料<sup>[1]</sup>。由于鲢以水中的藻类为食,鱼肉中土腥味较重,且不易去除,这在很大程度上限制了鲢鱼制品的开发和深加工<sup>[2]</sup>。

漂洗是鱼糜制作的关键步骤之一,可以有效除去碎鱼肉中的肌浆蛋白、血液、脂肪和其他含氮化合物,使得最终产品的质地、颜色和气味得到很大程度的改善<sup>[3]</sup>。据统计,每生产1 t的鱼糜,需要消耗10~15 t的水<sup>[4]</sup>。漂洗消耗的水和漂洗后的废水增加了鱼糜的生产成本,并对自然环境造成影响<sup>[5]</sup>,不符合绿色可持续发展的理念。臭氧的强氧化性,使其具有良好的脱腥效果与杀菌能力,可与食品直接接触,使用后易分解,不产生二次污染等,现已逐渐运用于鱼糜漂洗工艺中。阮秋凤等<sup>[6]</sup>研究发现,使用适当浓度的臭氧水和自来水混合漂洗鲢鱼糜,可有效减少漂洗用水量,增加鱼糜凝胶的白度和胶凝强度。肖淑婷等<sup>[7]</sup>研究发现,使用臭氧水漂洗鲢鱼糜,去除土腥味能力与传统漂洗相当,且随着臭氧漂洗次数增加会加剧哈喇味。臭氧气浮漂洗是将臭氧气体源源不断通入水中,在漂洗液中形成气-液两相流体,节约

漂洗用水的同时,解决了臭氧溶解度小与碎鱼肉接触不充分的问题。有研究表明,臭氧气浮漂洗用水量仅为传统漂洗的50%左右,漂洗后鱼糜的气味感官评价,两者也有较大差异<sup>[8]</sup>。虽然目前已有更多关于臭氧处理鱼糜的报道,但臭氧处理对鱼糜挥发性成分变化的研究并不多,尤其采用臭氧气浮漂洗处理鱼糜,对鱼糜具体挥发性成分变化的研究更是空白。

本研究选用臭氧气浮漂洗工艺制备鲢鱼糜,采用电子鼻对鱼糜整体挥发性成分进行检测,并结合HS-SPME-GC-MS法对不同漂洗方式处理后鱼糜中的具体挥发性成分进行鉴定。对比分析臭氧气浮漂洗和传统漂洗方式对鲢鱼糜腥味的影响,确定臭氧气浮漂洗鱼糜的最佳时间,以期对鲢冷冻鱼糜生产工艺的改良提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

新鲜鲢,体质量(3 000±200) g,购于华中农业大学校内农贸市场。

FOX4000型电子鼻,法国Alpha M.O.S公司;

收稿日期:2021-12-15

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0901005);财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-45-28)

周鸿宇,E-mail:zhouhongyustudy@163.com

通信作者:刘友明,E-mail:lym@mail.hzau.edu.cn

7890A-5975C GC-MS联用仪,美国Agilent公司。

## 1.2 试验方法

1) 臭氧气浮漂洗处理。对鲢鱼肉进行漂洗过程中,将三叉导管插入容器底部,持续向漂洗水通入臭氧,并持续搅拌溶液使臭氧产生的气泡充分与原料鱼肉接触。臭氧气流速率保持恒定状态(2.5 L漂洗液通入臭氧流量为7.5 mg/min),通过控制通入时长以确定不同剂量的臭氧对鲢鱼糜品质的影响。

2) 不同漂洗处理的冷冻鱼糜样品的制备。鲢去鳞、去头、去内脏,使用0℃的冰水清洗、采肉,分别进

行1次臭氧气浮漂洗(漂洗液与鱼糜的质量比为5:1)5、10、15、20 min,漂洗结束后静置5 min,将漂洗后的鱼糜在2 500 r/min下离心脱水5 min,加入4%蔗糖,自封袋包装后于-80℃速冻2 h。采用传统的3次漂洗作为常规对照组,即4℃自来水漂洗2次后,用0.5% NaCl溶液漂洗1次(每次漂洗液与鱼糜的质量比为5:1)。每次漂洗时,先缓慢搅拌5 min,再静置5 min。

3) 电子鼻检测。参考尤娟等<sup>[9]</sup>的方法。电子鼻各传感器相应嗅觉指标如表1所示。

表1 电子鼻18根传感器的相应特性

Table 1 The corresponding characteristics of 18 sensors of electronic nose

传感器代号 Sensor code	响应特性 Response characteristic	参考物质 Reference material
LY2/LG	氧化气体 Oxidized gas	氯、氟、氮氧化物 Chlorine, fluorine, nitrogen oxides
LY2/G	毒气 Toxic gas	氨、胺化合物 Ammonia, amine compounds
LY2/AA	有机化合物 Organic compounds	乙醇、丙酮、氨 Ethanol, acetone, ammonia
LY2/GH	毒气 Toxic gas	氨、胺化合物 Ammonia, amine compounds
LY2/gCTL	毒气 Toxic gas	硫化物 Sulfides
LY2/gCT	易燃气体 Flammable gas	丙烷、丁烷 Propane, butane
T30/1	有机化合物 Organic compounds	极性化合物、氯化氢 Polar compounds, hydrogen chloride
P10/1	易燃气体 Flammable gas	碳氢化合物 Hydrocarbon
P10/2	易燃气体 Flammable gas	非极性化合物、甲烷 Non-polar compounds, methane
P40/1	氧化气体 Oxidized gas	氟、氯 Fluorine, chlorine
T70/2	芳香化合物 Aromatic compounds	甲苯、二甲苯 Methylene, xylene
PA/2	有机化合物、毒气 Organic compounds, toxic gas	乙醇、氨、胺化合物 Ethanol, ammonia, amine compounds
P30/1	易燃气体、有机化合物 Flammable gas, organic compounds	碳氢化合物、氨、乙醇 Hydrocarbons, ammonia, ethanol
P40/2	氧化气体 Oxidized gas	氯、硫化氢、氟化物 Chlorine, hydrogen sulphide, fluoride
P30/2	有机化合物 Organic compounds	乙醇、酮 Ethanol, ketones
T40/2	氧化气体 Oxidized gas	氯 Chlorine
T40/1	氧化气体 Oxidized gas	氟 Fluorine
TA/2	有机化合物 Organic compounds	乙醇 Ethanol

4) HS-SPME-GC-MS法测定鱼糜挥发性成分。参考王方<sup>[10]</sup>的方法。

ROAV分析参考刘登勇等<sup>[11]</sup>的分析方法,判断产品关键性风味物质成分。挥发性风味物质对食品风味贡献情况以相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)大小进行判断,将对风味贡献最大的物质的ROAV设为100,公式如下:

$$ROAV \approx 100 \times \frac{C_n}{C_{rs}} \times \frac{T_s}{T_i} \quad (1)$$

式(1)中, $C_{rs}$ 、 $C_n$ 分别为贡献最大的物质与各挥发物质的相对含量; $T_s$ 、 $T_i$ 分别为贡献最大的物质与各挥发性物质的阈值。

本研究中,对于传统漂洗的鱼糜,定义壬醛为 $ROAV_{stan}=100$ ;对于臭氧气浮漂洗的鱼糜,定义己

醛 $ROAV_{stan}=100$ ;其他挥发性物质的ROAV值依式(1)计算。 $0.1 \leq ROAV < 1$ ,表示该物质对总体风味有重要修饰作用; $1 \leq ROAV \leq 100$ ,表示该物质是样品的关键风味物质。

## 1.3 数据统计与分析

电子鼻数据用FOX4000电子鼻自带软件(AlphaSoft 12.0工作站)和SPSS 25.0软件处理,采用主成分分析法分析数据,Origin2018b软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 电子鼻法判别臭氧气浮漂洗对鲢鱼肉挥发性成分的影响

由表2可知,与传统漂洗鱼糜相比,臭氧气浮漂洗5、10、15、20 min的鱼糜分别有5、9、8、9个电子鼻

的传感器在响应值上有显著差异( $P<0.05$ )。与传统漂洗鱼糜相比,当臭氧气浮漂洗时间超过 10 min 时,传感器 LY2/LG、LY2/AA、LY2/gCTL、T30/1、T70/2、P30/1、P40/2、P30/2 的响应值皆有显著变化( $P<0.05$ ),而在其他传感器中差异不明显。这表明

臭氧气浮漂洗达到一定时间后,鱼糜中的挥发性成分在氧化能力较强的气体(氯、氟)、有机化合物(乙醇)、有毒气体(硫化氢)、极性化合物、芳香族化合物(甲苯、二甲苯)、可燃性气体物(碳氢化合物)几类挥发性物质中出现差异。

表 2 不同漂洗处理的鱼糜的电子鼻传感器响应值

Table 2 Response values of E-nose sensors for surimi by different rinsing treatments

传感器代号 Sensor code	CT	OF-5	OF-10	OF-15	OF-20
LY2/LG	0.016±0.006c	0.008±0.002d	0.021±0.007a	0.019±0.005b	0.008±0.003d
LY2/G	0.014±0.001ab	-0.013±0.001a	-0.015±0.001b	-0.013±0.001a	-0.013±0.001a
LY2/AA	-0.093±0.004d	-0.070±0.004b	-0.057±0.002a	-0.078±0.009c	-0.071±0.006b
LY2/GH	-0.013±0.001bc	-0.012±0.001ab	-0.014±0.001c	-0.013±0.001bc	-0.012±0.001a
LY2/gCTL	-0.033±0.007c	-0.028±0.010ab	-0.030±0.013b	-0.025±0.008a	-0.038±0.005d
LY2/gCT	-0.012±0.001ab	-0.012±0.001ab	-0.012±0.000b	-0.011±0.001a	-0.012±0.000ab
T30/1	0.140±0.002b	0.140±0.001b	0.147±0.002a	0.146±0.002a	0.145±0.002a
P10/1	0.480±0.003a	0.475±0.003a	0.476±0.002a	0.478±0.002a	0.476±0.003a
P10/2	0.418±0.008a	0.407±0.003b	0.409±0.002b	0.411±0.002a	0.411±0.003a
P40/1	0.477±0.007a	0.473±0.003a	0.474±0.002a	0.476±0.002a	0.476±0.003a
T70/2	0.106±0.003b	0.107±0.002b	0.111±0.002a	0.110±0.001a	0.110±0.001a
PA/2	0.226±0.009a	0.223±0.002a	0.227±0.002a	0.227±0.001a	0.225±0.002a
P30/1	0.164±0.009b	0.163±0.002b	0.172±0.003a	0.170±0.003a	0.170±0.002a
P40/2	0.106±0.003b	0.106±0.001b	0.111±0.002a	0.110±0.001a	0.109±0.001a
P30/2	0.095±0.001a	0.089±0.002b	0.087±0.003bc	0.083±0.001c	0.089±0.001b
T40/2	0.108±0.006a	0.104±0.001a	0.106±0.001a	0.106±0.001a	0.106±0.002a
T40/1	0.418±0.011a	0.419±0.007a	0.425±0.003a	0.418±0.006a	0.424±0.011a
TA/2	0.449±0.012a	0.441±0.007a	0.452±0.011a	0.449±0.010a	0.443±0.008a

注:CT:传统漂洗对照组;OF-5:臭氧气浮漂洗 5 min;OF-10:臭氧气浮漂洗 10 min;OF-15:臭氧气浮漂洗 15 min;OF-20:臭氧气浮漂洗 20 min;每行中不同字母表示差异性显著( $P<0.05$ )。下同。Note: CT: Traditional rinsing method for control; OF-5: Ozone air floatation rinsing for 5 min; OF-10: Ozone air floatation rinsing for 10 min; OF-15: Ozone air floatation rinsing for 15 min; OF-20: Ozone air floatation rinsing for 20 min. Different letters in each row mean significant differences ( $P<0.05$ ).The same as below.

为进一步探究传统漂洗和臭氧气浮漂洗鱼糜间风味成分的差异,对传统漂洗和臭氧气浮漂洗鱼糜的电子鼻检测数据进行 PCA 分析,三维主成分分析的结果见图 1。由图 1 可知,3 个主成分的总贡献率为 96.58%,可以充分反映原始数据信息。样品之间的距离越远说明区分效果越明显。图 1 中传统漂洗和臭氧气浮漂洗 10 min 后的鱼糜间有一定距离,臭氧气浮漂洗 20 min 鱼糜同其他臭氧气浮漂洗鱼糜间距离也较远。此结果表明臭氧气浮漂洗鱼糜达到 10 min 以上时,其整体挥发性气味相比传统漂洗鱼糜出现较大差异,且随着臭氧气浮漂洗鱼糜时间的延长,臭氧气浮鱼糜间的整体气味也将有所区别。

## 2.2 HS-SPME-GC-MS 技术分析臭氧漂洗鲢鱼糜的挥发性成分

通过 HS-SPME-GC-MS 技术共检测出 24 种挥

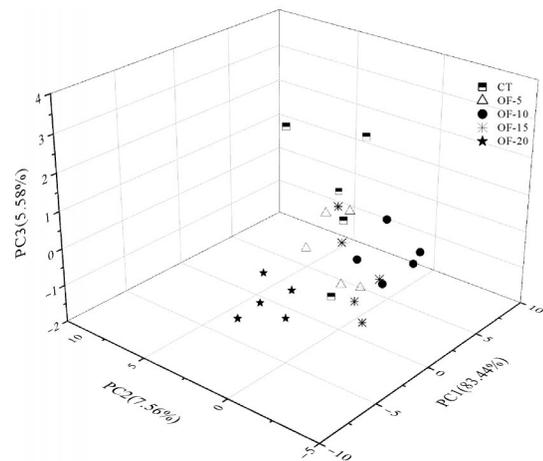


图 1 不同漂洗方式处理鱼糜的电子鼻 PCA 图  
Fig.1 Electronic nose PCA diagram of surimi treated by different rinsing methods

发性物质,在传统漂洗鱼糜以及臭氧气浮漂洗5、10、15、20 min的鱼糜样品中分别检测出15、9、12、11和11种挥发性物质,包括醛、醇、酮、碳氢化合物和其他物质等,结果见表3。

在漂洗后鲢鱼糜挥发性成分中,醛类化合物具有较高的相对含量,主要包括己醛、壬醛、庚醛、癸醛等。在传统漂洗鱼糜中,这4种醛类的含量分别为8.62%、2.87%、1.20%、0.81%,均高于臭氧气浮漂洗

鱼糜中的含量,且随着臭氧气浮漂洗时间的增加,壬醛的相对含量呈先降低后升高的趋势;醇、酮类化合物在漂洗后的鲢鱼糜中种类较少,随着臭氧气浮漂洗时间的增加,1-辛烯-3-醇的相对含量呈上升趋势,而3,5-辛二烯-2-酮相对含量呈先降低后升高的趋势;在鱼糜挥发性成分中碳氢化合物种类较多,而1-甲基-4-硝甲基-哌啶和5-甲基-2-苯基-吲哚等其他化合物在臭氧气浮漂洗鱼糜中并未被检测出。

表3 不同漂洗处理的鱼糜中挥发性物质的相对含量

**Table 3 The relative content of volatile substance in surimi treated by different rinsing methods** %

类别 Species	保留时间/min Retention time	挥发性物质 Volatile substance	CT	OF-5	OF-10	OF-15	OF-20
醛 Aldehyde	4.53	己醛 Hexanal	8.62	8.92	8.57	5.30	6.14
	7.72	庚醛 Heptanal	3.20	1.02	0.86	—	—
	14.70	壬醛 Nonanal	2.87	0.57	1.29	1.05	1.13
	17.82	癸醛 Decanal	0.81	0.20	—	—	—
酮 Ketone	20.34	甲基壬基甲酮 Methyl nonyl ketone	—	0.13	0.13	0.29	0.19
	13.68	3,5-辛二烯-2-酮 3,5-Octadiene-2-one	0.72	0.75	0.19	0.46	0.42
醇 Alcohol	10.33	1,2-环己二醇 1,2-Cyclohexanediol	1.31	—	—	—	—
	10.49	1-辛烯-3-醇 1-Octene-3-ol	6.67	4.17	4.78	5.26	6.03
碳氢化合物 Hydrocarbon	12.17	<i>D</i> -柠檬烯 <i>D</i> -Dipentene	0.82	0.43	0.69	1.80	0.37
	25.64	十五烷 Pentadecane	—	—	—	—	0.24
	28.00	十六烷 Hexadecane	0.47	—	0.11	0.10	—
	30.23	十七烷 Heptadecane	4.80	1.24	2.32	2.95	3.63
	28.00	十九烷 Nonadecane	—	—	—	—	0.09
	30.36	二十一烷 Heneicosane	0.13	—	—	—	—
	25.55	二十六烷 Hexacosane	0.12	—	—	—	—
	17.11	萘 Naphthalene	0.23	—	—	—	—
	7.41	环辛四烯 Cyclooctatetraene	—	—	0.37	0.13	—
	6.74	间二甲苯 <i>m</i> -Xylene	—	—	—	1.77	—
	6.72	对二甲苯 <i>p</i> -Xylene	—	—	0.81	—	—
其他 Other	6.77	2-甲基-1-戊烯 2-Methyl-1-pentene	—	—	—	—	2.04
	23.39	1-甲基-4-硝甲基-哌啶 1-Methyl-4-nitromethyl-piperidine	0.27	—	—	—	—
	2.18	2-氨基丁烷 2-Butylamine	—	—	—	—	6.70
	1.80	<i>DL</i> -丙氨酸 <i>DL</i> -Alanine	—	—	35.38	17.92	—
	7.84	5-甲基-2-苯基-吲哚 5-Methyl-2-phenyl-indole	1.65	—	—	—	—

注:“—”指未检测到。Note:“—” means not detected.

样品总体风味一般由挥发性物质的浓度和感觉阈值共同决定。为进一步确定传统漂洗鲢鱼和臭氧气浮漂洗鲢鱼糜的主体风味成分,我们采用ROAV分析法分析鱼糜中的挥发性成分对鱼糜气味的贡献程度,结果见表4。

由表4可知,ROAV $\geq 1$ 的挥发性物质有己醛、庚醛、壬醛、癸醛和1-辛烯-3-醇,说明它们在传统漂洗和臭氧气浮漂洗鱼糜中,对鱼糜的气味都有较大的贡献;ROAV在0~1的挥发性物质有*D*-柠檬烯和萘,说明它们对鱼糜气味起修饰作用。

表4 特征挥发性风味物质的阈值、相对气味活度值及气味

Table 4 Threshold, ROAV and odour of characteristic volatile flavor substance

挥发性物质 Volatile substance	阈值/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) Threshold	ROAV					气味 Odour
		CT	OF-5	OF-10	OF-15	OF-20	
己醛 Hexanal	4.50	66.74	100.00	100.00	100.00	100.00	青草味 Green
庚醛 Heptanal	3.00	13.94	17.15	15.05	—	—	鱼腥味 Fishy
壬醛 Nonanal	1.00	100.00	28.7	67.73	89.15	82.82	绿霉味 Green musty
癸醛 Decanal	2.00	14.11	5.04	—	—	—	脂味 Fatty
1-辛烯-3-醇 1-Octene-3-ol	10.00	23.24	21.04	25.10	44.66	44.19	土腥味 Earthy
D-柠檬烯 D-Dipentene	200.00	0.14	0.11	0.29	0.76	0.14	柠檬味 Lemon
萘 Naphthalene	60.00	0.13	—	—	—	—	/

注:阈值数据来自文献[12];“—”表示未检出该物质或未做计算;“/”表示未查到气味描述;仅列出 ROAV $\geq$ 0.1 的风味化合物。Note: Threshold data were from the reference [12]; “—” means the substance was not detected or no calculation; “/” means no odour description; only flavor compounds with ROAV $\geq$ 0.1 were listed.

### 3 讨论

本研究结果表明,使用臭氧气浮漂洗鱼糜同传统漂洗鱼糜在整体挥发性气味上有差异。付湘晋等<sup>[13]</sup>认为, T30/1、T70/2、P30/2、LY2/AA 传感器对鲢鱼糜中的哈喇味有特异响应,而众多的研究已表明,使用一定浓度臭氧处理鱼肉会加速鱼肉中脂肪氧化,从而产生哈喇味。因此,臭氧气浮漂洗鱼糜与传统漂洗鱼糜在呈现哈喇味的挥发性成分上存在显著差异( $P<0.05$ )。

通过 HS-SPME-GC-MS 和 ROAV 分析法进一步探究臭氧气浮漂洗对鱼糜挥发性成分的影响。本研究表明,醛类化合物是鱼糜的主要气味贡献成分,在臭氧气浮漂洗鱼糜中的含量均低于传统漂洗鱼糜中,这说明臭氧气浮漂洗鱼糜在一定程度上可以有效脱除鱼糜中的腥味。Yang 等<sup>[14]</sup>研究表明,醛类多源于肉中多不饱和脂肪酸氧化产生,因其阈值不高,相对含量的不同会造成产品气味差异较大,其对产品风味的形成产生很大影响,与本研究结果一致。壬醛的相对含量随臭氧气浮漂洗时间的增加呈现先降低后升高趋势。这可能是因为随着臭氧气浮漂洗时间的延长,脂肪酸和醇类被氧化为醛类。

在漂洗鲢鱼糜中,1-辛烯-3-醇也是鱼糜气味的主要贡献物质,相对含量较高的。这是因为鱼肉中含有丰富的亚油酸,1-辛烯-3-醇作为不饱和醇,一般由亚油酸的过氧化物降解产生<sup>[15]</sup>,在臭氧气浮漂洗鱼糜中,臭氧加速了鱼糜中脂肪酸的氧化,从而在鱼糜中生成了较多的1-辛烯-3-醇。由于1-辛烯-3-醇的阈值较低,也常被认为可作为评价鱼肉腥味和柔和

香味的风味标志物<sup>[16]</sup>。

酮类物质产生的主要来源是鱼肉中游离氨基酸的降解以及不饱和脂肪酸的氧化和醇类物质氧化产生<sup>[17]</sup>。因此,3,5-辛二烯-2-酮相对含量的变化和臭氧气浮漂洗鱼糜中检测出甲基壬基甲酮,可能是随着臭氧气浮漂洗时间的延长,脂肪酸和醇类被臭氧氧化,或者是由于臭氧的强氧化作用导致不饱和脂肪酸的降解更严重。

鲢鱼糜挥发性物质中检测出较多的碳氢化合物,这可能是烷基自由基的脂质自动氧化或类胡萝卜素的分解生成所致。由于碳氢化合物的整体阈值相较其他产物高很多,对于鱼糜整体的风味贡献很小<sup>[18]</sup>。挥发性物质中被检测出的萘、间二甲苯、对二甲苯等物质,可能是从环境污染物中迁移而来<sup>[19]</sup>。

有研究认为,直链胺和吡啶、吡咯等环状胺与鱼体的腥味有关<sup>[20]</sup>。与传统漂洗的鱼糜相比,臭氧气浮漂洗鱼糜的挥发性物质中未检测出1-甲基-4-硝甲基-哌啶和5-甲基-2-苯基-吡啶。由此说明相比传统漂洗,臭氧气浮漂洗对鲢鱼糜中的腥味物质有一定脱除作用。

综上所述,传统漂洗和臭氧气浮漂洗鱼糜在整体挥发性气味上有显著差别,二者在挥发性物质的种类和相对含量上均有较大差异。与传统漂洗鱼糜相比,臭氧气浮漂洗鱼糜中挥发性成分较少,对鱼腥味贡献较大(ROAV $\geq$ 1)的己醛、庚醛、壬醛、癸醛、1-辛烯-3-醇等相对含量均有所降低,且在臭氧气浮漂洗15~20 min后,在鲢鱼糜中未检出庚醛和癸醛。相比传统漂洗和臭氧气浮漂洗5、10 min,臭氧气浮漂洗鱼糜时间达到15 min及以上时,可更有效脱除鱼

糜腥味。但也有研究表明,随着臭氧漂洗过程中臭氧浓度与时间的增加,会造成鲢鱼糜中蛋白的过度氧化及其凝胶能力变弱等不利影响<sup>[21-22]</sup>。因此,采用臭氧气浮漂洗脱除鱼糜腥味时间应控制在10~15 min。

## 参考文献 References

- [1] 夏文水,罗永康,熊善柏,等.大宗淡水鱼贮运保鲜与加工技术[M].北京:中国农业出版社,2014:21-22.XIA W S, LUO Y K, XIONG S B, et al. Bulk freshwater fish storage, transportation, preservation and processing technology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014:21-22(in Chinese).
- [2] 曾文浩,熊怡婷,熊善柏,等.酵母葡聚糖对鲢鱼肉挥发性成分的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(3):94-104.ZENG W H, XIONG Y T, XIONG S B, et al. Effect of yeast  $\beta$ -glucan on volatile compounds of silver carp meat[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(3): 94-104 (in Chinese with English abstract).
- [3] 方兵,汪之和,施文正.漂洗次数对鳊鱼鱼糜风味物质的影响[J].食品工业科技,2018,39(1):11-16,21.FANG B, WANG Z H, SHI W Z. Effects of rinsing times on the flavor compounds of bream surimi[J]. Science and technology of food industry, 2018, 39(1):11-16,21(in Chinese with English abstract).
- [4] PARK J W. Surimi and surimi seafood[M]. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.
- [5] 吴琳琳,常忠义,高红亮,等.抗氧化剂TBHQ、VE和TP对罗非鱼非漂洗鱼糜的抗氧化作用[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(4):185-190.WU L L, CHANG Z Y, GAO H L, et al. Antioxidation of antioxidants TBHQ, VE and TP to tilapia non-rinsing surimi[J]. Journal of Northwest A & F University (natural science edition), 2012, 40(4): 185-190 (in Chinese with English abstract).
- [6] 阮秋凤,蒋文馨,熊善柏,等.臭氧漂洗工艺对鲢鱼糜品质的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(6):67-73.RUAN Q F, JIANG W X, XIONG S B, et al. Effect of ozone rinsing process on quality of silver carps surimi[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(6): 67-73 (in Chinese with English abstract).
- [7] 肖淑婷,尹涛,胡杨,等.臭氧漂洗过程中鱼肉组分溶出及其对鱼糜品质的影响[J].中国食品学报,2021,21(12):155-163.XIAO S T, YIN T, HU Y, et al. Dissolution of fish components during ozone water rinsing and its effect on the quality of surimi[J]. Journal of Chinese institute of food science and technology, 2021, 21(12):155-163(in Chinese with English abstract).
- [8] 薛勇.鲮鱼鱼糜抗冻变性剂及土腥味脱除方法的研究[D].青岛:中国海洋大学,2006.XUE Y. Research on the antifreeze denaturant of bighead carp surimi and the method of removing soil fishy smell [D] Qingdao: Ocean University of China, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [9] 尤娟,方梦雪,蒋文馨,等.一种清水结合臭氧水漂洗的节水除鱼腥方法:CN111642678A[P].2020-09-11.YOU J, FANG M X, JIANG W X, et al. Water-saving fishy smell removal method of combining clear water with ozone water for rinsing: CN111642678A[P].2020-09-11(in Chinese).
- [10] 王方.酸碱处理对鲫鱼糜腥味脱除效果及凝胶特性影响的研究[D].武汉:华中农业大学,2014.WANG F. Effects of acid-and alkali-aided processing on the removal of off-flavors and gel properties of surimi from crucian carp (*Carastius auratus*) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [11] 刘登勇,周光宏,徐幸莲.确定食品关键风味化合物的一种新方法:“ROAV”法[J].食品科学,2008,29(7):370-374.LIU D Y, ZHOU G H, XU X L. “ROAV” method: a new method for determining key odor compounds of Rugao ham [J]. Food science, 2008, 29(7):370-374(in Chinese with English abstract).
- [12] GEMERT L J V. Odour thresholds: compilations of odour threshold values in air, water, and other media[M]. Utrecht: Oliemans Punter & Partners BV, 2011:207-359.
- [13] 付湘晋,许时婴,王璋,等.电子鼻检测白鲢鱼腥味[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2010,36(3):316-321.FU X J, XU S Y, WANG Z, et al. Determination of off-flavors in silver carp mince using electronic nose[J]. Journal of Zhejiang University (agriculture and life sciences edition), 2010, 36(3): 316-321 (in Chinese with English abstract).
- [14] YANG Y, ZHANG X, WANG Y, et al. Study on the volatile compounds generated from lipid oxidation of Chinese bacon (un-smoked) during processing[J/OL]. European journal of lipid science and technology, 2017, 119 (10) : 1600512 [2021-12-15]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600512>.
- [15] GIRI A, OSAKO K, OHSHIMA T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. Food chemistry, 2010, 120 (2) : 621-631.
- [16] GUAN C M, DU F, XIONG Y Y, et al. The 35S promoter-driven mDII auxin control sensor is uniformly distributed in leaf primordia [J]. Journal of integrative plant biology, 2019, 61 (11) : 1114-1120.
- [17] CHA Y J, CADWALLADER K R, BAEK H H. Volatile flavor components in snow crab cooker effluent and effluent concentrate [J]. Journal of food science, 1993, 58(3):525-530.
- [18] 荣建华,熊诗,张亮子,等.基于电子鼻和SPME-GC-MS联用分析脆肉鲩鱼肉的挥发性风味成分[J].食品科学,2015,36(10):124-128.RONG J H, XIONG S, ZHANG L Z, et al. Analysis of volatile flavor components in crisp grass carp muscle by electronic nose and SPME-GC-MS[J]. Food science, 2015, 36(10): 124-128(in Chinese with English abstract).
- [19] 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.JIANG J, WANG X C, CHEN X Y. Analysis odors of freshwater fish meat by HS-SPME combined with GC-MS[J]. Modern food science and technology, 2006, 22(2): 219-222 (in Chinese with English abstract).
- [20] WILKES J G, CONTE E D, KIM Y, et al. Sample preparation for the analysis of flavors and off-flavors in foods [J]. Journal of chromatography A, 2000, 880(1/2):3-33.
- [21] 洪伟,周春霞,洪鹏志,等.水产品腥味物质的形成及脱腥

技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(8): 386-389, 399. HONG W, ZHOU C X, HONG P Z, et al. Research progress in the formation and deodorization technology of fishy odor for aquatic product[J]. Science and technology of food industry, 2013, 34(8): 386-389, 399 (in Chinese with English

abstract).

[22] 杜国伟. 鲢鱼糜的脱腥技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006. DU G W. Study on the deodorization technology of silver carp surimi[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006 (in Chinese with English abstract).

## Effect of ozone floatation rinsing on volatile components of silver carp surimi

ZHOU Hongyu, LIU Huan, XIONG Shanbai, LIU Youming

*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/  
Engineering Research Center of Green Development for Conventional Aquatic Biological Industry in the  
Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education/National R&D Branch Center for Conventional  
Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China*

**Abstract** In order to investigate the deodorization effect of ozone floatation rinsing on silver carp surimi, the surimi were prepared by conventional rinsing and ozone floatation rinsing, respectively. The volatile components of surimi were determined by the electronic nose combined with headspace-solid phase micro-extraction-gas chromatography (HS-SPME-GC-MS). The ROAV analysis was used to determine the extent of contribution of specific volatile components to the odour of the silver carp surimi in order to find the source of its fishy odour. The results showed that a total of 24 volatile substances were detected in the silver carp surimi. The volatile components were less in surimi by ozone floatation rinsing than those by conventional rinsing. The relative content of fishy components were reduced, such as hexanal, heptanal, nonanal, decanal and 1-octene-3-ol, but 1-methyl-4-nitromethyl-piperidine and 5-methyl-2-phenyl-indole which are associated with the fishy odour, were not detected. The PCA analysis result of the electronic nose was consistent with the HS-SPME-GC-MS results. In conclusion, ozone floatation rinsing of surimi can effectively reduce the fishy odour of surimi compared with conventional rinsing, and the rinsing time should be controlled in the range of 10-15 min.

**Keywords** ozone; *Hypophthalmichthys molitrix*; surimi rinsing; deodorizing; electronic nose; HS-SPME-GC-MS; volatile component

(责任编辑:赵琳琳)