DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16140

三种不同养殖模式下大黄鱼鱼皮、鱼鳞挥发性风味成分分析

肖雄[1, 2], 林淑琴[2], 吴雄飞[2], 郑忠明[1]

1. 宁波大学 教育部应用海洋生物技术重点实验室, 浙江 宁波 315211;
2. 宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波 315211

摘要: 为了探讨不同养殖模式对大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)挥发性风味成分的影响, 对于养殖大黄鱼的风味评价和养殖模式优化具有重要的现实意义。采用顶空固相微萃取−全二维气相色谱/飞行时间质谱技术对小网箱、深水网箱和围网养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞挥发性风味成分进行了分析。结果表明: 小网箱(X)、深水网箱(S)和围网(W)养殖大黄鱼的鱼皮(P)、鱼鳞(L)中共检测出醛类、醇类、酮类、脂类、烃类及其他共 118 种挥发性成分, 其中醛类、醇类、酮类和烃类含量较高。3 种模式养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞中挥发性成分存在显著性差异(P<0.05), 且羰基化合物和醇类含量变化较大。在 3 种模式养殖大黄鱼的鱼皮中, 围网养殖的鱼皮(WP)羰基化合物和醇类含量最高, SP 次之, XP 最低(P<0.05)。在 3 种模式养殖大黄鱼的鱼鳞中, WL 的羰基化合物和醇类含量显著高于 XL 和 SL(P<0.05), 而 XL 与 SL 的羰基化合物和醇类含量无显著差异(P>0.05)。通过相对气味活度值法, 在 3 种模式养殖大黄鱼的鱼皮中分别筛选出 5、15、13 种主体风味成分, 与 XP 相比, WP 和 SP 主体风味成分数量和种类更多。在 3 种模式养殖大黄鱼的鱼鳞中分别筛选出 9、10、16 种主体风味成分, 与 XL 和 SL 相比, WL 中主体风味成分数量和种类更多。结论显示, W 组羰基化合物和醇类含量最高, 风味物质构成最优; 主体风味成分的数量和种类最多, 风味最丰富。

关键词: 大黄鱼; 网箱养殖; 围网养殖; 挥发性成分; 相对气味活度值; 主体风味成分
中图分类号: TS254.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005−8737−(2017)02−0341−14

大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)肉质细腻鲜美、富含蛋白质、维生素及 EPA、DHA 等高度不饱和脂肪酸, 深受国内外消费者的青睐。随着大黄鱼人工育苗和养殖技术的成熟和完善, 大黄鱼已成为中国养殖规模最大的海水鱼类以及八大优势出口养殖水产品之一[1]。近年来, 随着大黄鱼产量的不断上升, 养殖大黄鱼的整体风味降低的问题日益凸显。产品风味是决定消费者是否接受该产品的主要因素, 也是决定产品是否能在市场上被重复购买的主要因素[2]。因此, 优化大黄鱼养殖模式, 提高产品风味已经成为当前的养殖研究热点之一。

大黄鱼的挥发性风味物质已有一些研究报道。翁丽萍[3]比较了养殖大黄鱼和野生大黄鱼的鱼肉挥发性风味成分, 发现野生大黄鱼的风味成分的构成要明显优于养殖大黄鱼, 其中对野生大黄鱼风味贡献最大的是(E)-2-辛烯醛, 对养殖大黄鱼风味贡献最大的是辛醛。卢春霞等[4]对养殖大黄鱼的鱼肉主体风味成分进行了分析, 认为壬醛、(Z)-4-庚烯醛、己醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、戊酸乙酯、(Z)-3-己烯-1-醇、1-辛烯-3-醇、2-甲基丁醛、庚醛、戊醛、(E)-2-己烯醛、2-戊基呋喃等是养殖大黄鱼的鱼肉主体风味成分。但不同模式养殖大黄鱼鱼皮和鱼鳞挥发性成分的比较研究暂无报道。研究表明, 鱼皮重量占鱼体总重的 4%左右[5−6], 鱼鳞重量占鱼体总重的 1%~5%[7−8]。杨玉平等[9]、周益奇[10]和王国超等[11]研究发现鱼皮和鱼鳞含

收稿日期: 2016-04-29; **修订日期:** 2016-07-22.
基金项目: 宁波市科学技术局自然科学基金项目(2014A610192); 宁波市科技重大专项(2015C110005); 浙江海洋高效健康养殖协同创新中心.
作者简介: 肖雄(1990–), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水产健康养殖与工程. E-mail: 1282289948@qq.com
通信作者: 吴雄飞(1963–), 男, 研究员. E-mail: wxiongfei@hotmail.com

有的挥发性风味物质比鱼肉含有的挥发性风味物质多。因此，在比较不同养殖模式间大黄鱼挥发性成分时，研究大黄鱼鱼皮、鱼鳞的挥发性成分意义更大。

本实验以小网箱、深水网箱和围网 3 种模式养殖大黄鱼为研究对象，采用顶空固相微萃取–全二维气相色谱/飞行时间质谱(HS-SPME-GC×GC/TOFMS)技术对 3 种养殖模式大黄鱼鱼皮、鱼鳞挥发性成分进行分析鉴定，并结合相对气味活度值(ROAV)确定不同养殖模式大黄鱼鱼皮、鱼鳞主体风味成分，为大黄鱼的养殖模式优化和深层加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

3 种模式实验用鱼均取自位于浙江奉化白石山的岱衢族大黄鱼养殖精品园区，均为投喂鲜杂鱼饵料养殖大黄鱼。其中，小网箱(长 4.5 m，宽 4.5 m，深 4.5 m)养殖大黄鱼体重(395.58±5.37) g，文中简称 X 组。深水网箱(直径 15 m，深 6 m)养殖大黄鱼体重(398.50±2.59) g，文中简称 S 组。围网(长 50 m，宽 40 m，深 12 m)养殖大黄鱼体重(401.20±3.14) g，文中简称 W 组。大黄鱼宰杀、清理干净后，分别取鱼皮、鱼鳞备用。鱼皮、鱼鳞文中分别简称 P、L。小网箱养殖大黄鱼鱼皮、深水网箱养殖大黄鱼鱼皮、围网养殖大黄鱼鱼皮，文中分别简称 XP、SP、WP；小网箱养殖大黄鱼鱼鳞、深水网箱养殖大黄鱼鱼鳞、围网养殖大黄鱼鱼鳞，文中分别简称 XL、SL、WL。

1.2 仪器与设备

全二维气相色谱/飞行时间质谱仪，由 Agilent 7890 气相色谱仪，美国 Agilent 公司；KT-2001 型冷喷调制器(Zoex Corp, Lincoln, NE, USA)和 Pegasus III 型飞行时间质谱仪(Leco Corporation, St.Joseph, MI, USA)组成。

手动 SPME 进样器、50/30 DVB/CAR/PDMS 萃取头美国 Supelco 公司；15 mL 顶空采样瓶美国 Agilent 公司；IKA®RCT basic 加热型磁力搅拌器德国 IKA 公司；JJ-2 组织捣碎匀浆机武汉格莱莫检测设备有限公司；Sartorius 电子天平上海晟琰实业有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 挥发性成分捕集 取 X 组、S 组、W 组大黄鱼各 5 尾，分别取鱼皮和鱼鳞，剪碎，每组随机称取 3 g 鱼皮、鱼鳞，加入 7 mL 饱和氯化钠溶液匀浆处理，并迅速转入含有微型磁力搅拌子的 15 mL 顶空采样瓶中，置于加热磁力搅拌台上，将 50/30 DVB/CAR/PDMS 萃取头插入顶空瓶中，并调整、固定萃取头在顶空体积中的位置，在 70℃恒温水浴中顶空萃取 40 min 后取出，并迅速插入全二维气相色谱/飞行时间质谱仪进样口，在 250℃下解吸 5 min 后，由全二维气相色谱/飞行时间质谱仪(GC×GC/TOFMS)进行检测。

1.3.2 全二维气相色谱/飞行时间质谱(GC×GC/TOFMS)条件 色谱条件：色谱柱 1 为 DB-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)，色谱柱 2 为 DB-17MS(2 m×0.1 mm×0.1 μm)；载气(He)，流速 1.0 mL/min，不分流进样；进样口温度：250℃；程序升温：主炉箱初始温度 50℃，保持 5 min，以 8℃/min 的速度升温至 180℃，保持 2 min，再以 15℃/min 的速度升温至 270℃，保持 2 min；小炉箱以高于主炉箱 5℃的温度平行升温；调制器补偿温度：10℃；调制周期为 8 s(热吹 1.2 s，冷吹 2.8 s)。

质谱条件：EI 离子源；电子能量 70 eV；离子源温度 240℃；传输线温度 300℃；检测器电压为 1700 V；质量扫描范围 50~600 m/z；采集频率为 100 spectrum/s；质谱溶剂延迟时间为 220 s，由 Pegasus4D 工作站进行控制。

1.4 分析方法

1.4.1 定性方法 实验数据处理由 Chroma TOF 软件系统完成。挥发性成分通过经计算机谱库检索并结合已有相关文献进行确认定性，且仅报到正反匹配度均大于 800(最大值为 1000)的鉴定结果。

1.4.2 数据处理方法 实验数据经 Excel 统计分析软件进行整理统计，以平均值±标准偏差($\bar{x}$±SD，n=5)来表示，各挥发性成分的相对百分含量按面积归一化法进行定量分析；采用 SPSS19.0 统计软件中独立样本 t 检验(t-test)进行两组间比较，同时多组间进行单因素方差分析(one-way ANOVA)

和 Duncan 多重比较分析, 差异的显著性设置为 $P<0.05$。

1.4.3　关键风味化合物确定　关键风味化合物的确定采用相对气味活度值法(ROAV)[12], 定义对样品整体风味贡献最大的组分：$ROAV_{stan}=100$, 对其他挥发性成分则有：

$$ROVA_i \approx 100 \times (C_i/C_{stan}) \times (T_{stan}/T_i)$$

式中, C_i、T_i 是各挥发性组分的相对百分含量(%)和对应的感觉阈值(μg/kg); C_{stan}、T_{stan} 分别是对样品整体风味贡献最大组分的相对百分含量(%)和对应的感觉阈值(μg/kg)。显然, 所有组成 $0 \leqslant ROAV \leqslant 100$; 当 $0.1 \leqslant ROAV<1$ 时, 表示该组分对样品的整体风味有修饰作用; 当 $ROAV \geqslant 1$ 时, 表示该组分是样品的主要风味化合物, ROAV 值越大表示该组分对样品整体风味贡献也就越大。

2　结果与分析

2.1　不同模式养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞的挥发性成分分析

小网箱、深水网箱和围网养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞挥发性成分的相对百分含量及部分化合物的感觉阈值见表 1, 各挥发性成分种类的相对百分含量见图 1 和图 2。

由表 1 可知, XP、SP、WP 的挥发性成分分别为 65、64、41 种。XP 和 SP 的挥发性成分明显多于 WP 的挥发性成分, XP、SP 比 WP 多的物质大部分为烃类物质。由图 1 可知, XP、SP、WP 中烃类含量呈显著性下降趋势($P<0.05$), 表现为 XP 最高, SP 次之, WP 最低。但烃类感觉阈值一般较高, 对整体风味影响并不大[4, 13–24]。新鲜鱼肉的风味主要是由挥发性羰基化合物和醇类造成的[25–27]。羰基化合物和醇类包括醛类、酮类和醇类。XP、SP、WP 中羰基化合物和醇类含量整体呈显著性上升趋势($P<0.05$), 表现为 XP 最低, SP 居中, WP 最高, 含量分别为 46.693%、63.280%、74.491%。据此分析, XP、SP、WP 的挥发性成分存在显著性差异, 且 WP 的羰基化合物和醇类含量最高, SP 次之, XP 最低。

由表 1 可知, XL、SL、WL 的挥发性成分分别为 58、70、43 种, 其中绝大多数为羰基化合物和醇类。XL、SL、WL 中羰基化合物和醇类的种数分别为 41、47、39 种, 含量分别为 81.871%、77.825%、95.497%。由图 2 可知, XL 和 SL 中羰基化合物和醇类含量均显著低于 WL 中羰基化合物和醇类含量($P<0.05$), 而 XL 中羰基化合物和醇类含量与 SL 中羰基化合物和醇类含量差异不显著($P>0.05$)。此外, XL 和 SL 中烃类含量显著高于 WL 中烃类含量($P<0.05$), 而 XL 中烃类含量与 SL 中烃类含量差异不显著($P>0.05$)。据此分析, XL、SL、WL 的挥发性成分存在显著性差异, WL 的羰基化合物和醇类含量显著高于 XL 和 SL 的羰基化合物和醇类含量, 而 SL 与 XL 的羰基化合物和醇类含量无显著差异。

2.2　不同模式养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞主体风味成分分析

小网箱、深水网箱和围网养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞中主体风味成分见表 2。

由表 2 可知, XP、SP、WP 中主体风味成分分别有 5、15、13 种。进一步分析, 发现三者主体风味成分中绝大多数是醛类、醇类和酮类化合物。XP、SP、WP 的共有主体风味成分是辛醛和壬醛。辛醛和壬醛是养殖大黄鱼的重要主体风味成分[3–4, 25], 它们具有清香、脂香和青草香等风味[28]。同时, 我们还发现己醛、(Z)-4-庚烯醛、庚醛、(E, E)-2, 4-庚二烯醛、(E)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇等 8 种物质是 SP 和 WP 的共有主体风味成分, 但它们在 XP 中 ROAV<1, 不是 XP 的主体风味成分。这 8 种主体风味成分包括 5 种醛类, 1 种醇类, 2 种酮类。翁丽萍[3]、卢春霞等[4]、叶婧等[25]、吕卫金等[29]在研究大黄鱼的主体风味成分时, 得出己醛、(Z)-4-庚烯醛、庚醛、(E, E)-2, 4-庚二烯醛、(E)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇也是大黄鱼的主体风味成分。据此分析, WP 和 SP 中主体风味成分数量和种类比 XP 中主体风味成分数量和种类多。

XL、SL、WL 中主体风味成分分别有 9、10、16 种, 三者主体风味成分均为醛类、醇类和酮类。XL、SL、WL 的共有主体风味成分是辛醛、壬醛和(E, Z)-2, 6-壬二烯醛。(E, Z)-2, 6-壬二烯醛是由 ω-3-多不饱和脂肪酸降解生成, 具有青草味[16]。进一步分析, 发现 WL 的主体风味成分明显多于

表 1 小网箱、深水网箱和围网养殖大黄鱼鱼皮、鱼鳞挥发性成分分析结果

Tab. 1 Volatile compounds detected in skin and scales of small cages, submersible cages and purse seines cultured *Pseudosciaena crocea*

	化合物名称 compound	质量分数/% relative content						感觉阈值/($\mu g\cdot kg^{-1}$) perception threshold	气味特征 odor character
		鱼皮 skin			鱼鳞 scale				
		小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine	小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine		
	醛类(30 种) aldehyde (30 kinds)								
1	丙醛 propanal	0.124±0.010^{c}	0.472±0.058^{b}	1.861±0.194^{a}	0.230±0.038^{b}	0.500±0.074^{a}	0.511±0.047^{a}	9.5~37[4]	泥土味[3] muddy[3]
2	2-丁烯醛 2-butenal	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.847±0.225	N.D.	30[13]	刺激性气味[13] pungent[13]
3	戊醛 pentanal	N.D.	N.D.	N.D.	3.501±0.182^{b}	2.925±0.399^{b}	6.713±0.704^{a}	12~42[4]	青草味[15] herbal[15]
4	(E,E)-2,4-己二烯醛 (E,E)-2,4-hexadienal	2.337±0.170^{a}	1.575±0.299^{b}	N.D.	2.707±0.118^{a}	2.352±0.141^{a}	0.229±0.049^{b}	10~60[4]	青草味、醛香[4] herbal, aldehydic[4]
5	4-戊烯醛 4-pentenal	N.D.	N.D.	N.D.	1.445±0.141^{a}	0.314±0.059^{b}	N.D.		
6	(E)-2-戊烯醛 (E)-2-pentenal	3.934±0.409^{ab}	3.148±0.370^{b}	4.141±0.330^{a}	7.064±0.319^{a}	4.998±0.485^{b}	3.291±0.413^{c}	46[3]	青苹果味[3] apple[3]
7	己醛 hexanal	1.847±0.154^{b}	3.298±0.377^{b}	7.613±0.999^{a}	8.115±1.457^{a}	7.194±0.374^{a}	3.502±0.318^{b}	4.5[4]	青草味[4] herbal[4]
8	糠醛 furfural	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.354±0.077	N.D.	3000[14]	
9	(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	1.265±0.276^{b}	0.763±0.106^{b}	2.705±0.285^{a}	1.251±0.074	0.997±0.147	1.160±0.128	17[4]	青草味、脂香[4]herbal, fatty[4]
10	(Z)-4-庚烯醛 (Z)-4-heptenal	0.366±0.037^{b}	0.309±0.027^{b}	0.909±0.126^{a}	1.204±0.180^{a}	0.778±0.131^{b}	0.953±0.086^{ab}	0.8[4]	清香、似亚麻油香[4] fragrance,linseed oily[4]
11	庚醛 heptanal	2.111±0.369^{c}	4.410±0.740^{b}	7.360±0.650^{a}	0.447±0.027^{b}	0.454±0.072^{b}	6.911±0.905^{a}	3[4]	烤鱼片味[16] fishy[16]
12	(E)-2-庚烯醛 (E)-2-heptenal	N.D.	0.234±0.061	N.D.	0.306±0.049^{a}	0.207±0.003^{b}	0.112±0.024^{c}	13.5[15]	油脂味[15] oily[15]
13	苯甲醛 benzaldehyde	2.162±0.326^{a}	1.137±0.063^{b}	1.241±0.276^{b}	0.915±0.063^{b}	2.026±0.335^{a}	1.271±0.310^{b}	350[4]	杏仁香、坚果香[4] almond, nutty[4]
14	2-乙基己醛 2-ethylhexanal	N.D.	N.D.	N.D.	0.170±0.024	N.D.	N.D.		
15	辛醛 octanal	0.891±0.194^{b}	0.296±0.027^{b}	1.795±0.411^{a}	2.657±0.389^{b}	2.079±0.361^{b}	6.762±0.792^{a}	0.7[4]	青草味、油脂味[4] herbal, oily [4]
16	(E,E)-2,4-庚二烯醛 (2E,4E)-hepta-2,4-dienal	4.113±0.409^{c}	6.491±1.195^{b}	8.664±0.683^{a}	1.731±0.376^{b}	7.559±0.851^{a}	1.200±0.115^{b}	10[4]	脂香、青香[4] fatty, herbal[4]
17	苯乙醛 phenylacetaldehyde	0.847±0.022	1.578±0.254	N.D.	N.D.	N.D.	0.166±0.028	4[3]	玫瑰香[3] rose[3]
18	(E)-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	0.857±0.115^{b}	1.855±0.334^{a}	0.968±0.165^{b}	3.334±0.481^{a}	1.785±0.049^{b}	0.987±0.068^{c}	3[4]	青草味、油脂味[4] herbal, oily [4]
19	壬醛 nonanal	3.771±0.378^{c}	11.389±0.868^{a}	7.632±0.376^{b}	3.389±0.218^{c}	7.087±0.389^{b}	11.113±0.653^{a}	1[4]	脂香、青草味[4] fatty, herbal[4]
20	(E,E)-2,4-辛二烯醛 (2E,4E)-2,4-octadienal	N.D.	N.D.	N.D.	1.468±0.244	0.773±0.024	N.D.		
21	(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-nonadienal	N.D.	N.D.	N.D.	2.026±0.362^{a}	1.053±0.265^{b}	0.377±0.050^{c}	0.8[16]	青草味[16] herbal[16]

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

化合物名称 compound		质量分数/% relative content						感觉阈值/($\mu g \cdot kg^{-1}$) perception threshold	气味特征 odor character
		鱼皮 skin			鱼鳞 scale				
		小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine	小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine		
	醛类(30 种） aldehyde (30 kinds)								
22	(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	N.D.	N.D.	N.D.	0.289±0.021	0.247±0.029	N.D.	0.08[4]	西瓜味[4] watermelon[4]
23	4-乙基苯甲醛 4-ethylbenzaldehyde	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.104±0.007	N.D.	123.23[15]	杏仁味[15] almond[15]
24	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛 2,3-dihydro-2,2,6-trimethylbenzalhyde	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.048±0.002		
25	癸醛 decanal	1.558±0.319	N.D.	N.D.	0.487±0.057	N.D.	0.464±0.083	0.1~2[4]	甜香、柑橘香、花香[12] sweet, citrus, rose[12]
26	(E)-2-癸烯醛 (E)-2-decenal	N.D.	0.968±0.137	N.D.	0.538±0.064	0.574±0.049	N.D.	0.3~0.4[4]	蜡香、脂香、蘑菇味[4] wax, fatty, mushroom[4]
27	十一醛 undecanal	0.270±0.044^{a}	0.165±0.010^{b}	N.D.	0.298±0.055^{a}	0.267±0.024^{a}	0.161±0.029^{b}	5[4]	脂香[3] fatty[3]
28	2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal	N.D.	N.D.	N.D.	2.239±0.391	1.462±0.171	N.D.	0.07[16]	油脂味[16] oily[16]
29	十二醛 dodecanal	N.D.	N.D.	N.D.	0.297±0.049^{a}	0.174±0.026^{b}	N.D.	10[16]	坚果味[16] nutty[16]
30	十四醛 tetradecanal	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.165±0.026	N.D.	14[19]	
	醇类(14 种） alcohol (14 kinds)								
1	1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	1.997±0.383^{a}	2.457±0.113^{a}	0.357±0.037^{b}	3.270±0.456	3.290±0.175	2.906±0.185	400[4]	烤肉味[16] grilled meaty[16]
2	1-戊醇 1-pentanol	0.685±0.023	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.399±0.217	400[4]	杂醇油甜脂香[3] fusel oily[3]
3	(Z)-2-戊烯-1-醇 (Z)-2-penten-1-ol	1.936±0.433	1.631±0.414	1.600±0.122	3.813±0.309^{b}	3.368±0.269^{b}	8.189±1.106^{a}	89.2[15]	蘑菇味[15] mushroom[15]
4	叶醇 leaf alcohol	1.071±0.115	N.D.	N.D.	0.533±0.020^{b}	N.D.	0.677±0.063^{a}	0.1~5[4]	青草味、叶香味[4] herbal, leaf scent[4]
5	正己醇 hexanol	2.236±0.357^{b}	2.486±0.479^{ab}	3.619±0.669^{a}	3.559±0.154^{b}	3.137±0.361^{b}	9.526±1.011^{a}	250[18]	新鲜的、脂味[18] freshly, fatty[18]
6	庚醇 heptanol	1.465±0.236^{ab}	1.310±0.079^{b}	1.808±0.037^{a}	N.D.	1.448±0.049^{b}	2.675±0.234^{a}	330[3]	脂味和酒香[3] fatty and winey[3]
7	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	3.772±0.434^{b}	4.911±0.870^{b}	8.420±1.415^{a}	5.792±0.581^{a}	4.936±0.216^{a}	3.059±0.155^{b}	10[4]	蘑菇香气[4] mushroom[4]
8	2-乙基己醇 2-ethylhexanol	1.505±0.185^{b}	5.899±0.398^{a}	5.182±0.469^{a}	1.771±0.335	1.948±0.352	1.900±0.089	270000[4]	温和油脂气，玫瑰香[20] mild fatty, rose[20]
9	4-乙基环己醇 4-ethylcyclohexanol	N.D.	N.D.	N.D.	0.516±0.052	N.D.	N.D.		
10	(E)-2-辛烯-1-醇 (E)-oct-2-en-1-ol	N.D.	0.285±0.046	0.360±0.059	0.721±0.037^{a}	0.319±0.049^{b}	N.D.	40[4]	蘑菇味[16] mushroom[16]
11	辛醇 octanol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.663±0.170	110[4]	土腥味、金属味[4] earthy, metallic[4]
12	2-苯异丙醇 2-phenylisopropanol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.129±0.028	N.D.		

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

	化合物名称 compound	质量分数/% relative content						感觉阈值/($\mu g \cdot kg^{-1}$) perception threshold	气味特征 odor character
		鱼皮 skin			鱼鳞 scale				
		小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine	小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine		
	醇类(14 种) alcohol (14 kinds)								
13	1-壬醇 nonanol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.292±0.018	50[4]	新鲜面包香、清甜[3] bread, sweet[3]
14	2,4,7,9-四甲基-5-癸炔-4,7-二醇 2,4,7,9-tetramethyl-5-decyne-4,7-diol	1.259±0.218	N.D.	N.D.	0.250±0.021[a]	0.130±0.012[b]	N.D.		
	酮类(19 种) ketone (19 kinds)								
1	1-戊烯-3-酮 1-penten-3-one	0.507±0.048	0.439±0.021	0.549±0.099	3.575±0.734[a]	N.D.	1.058±0.053[b]	1[19]	草腥味，泥土味[24] grassy smell, earthy[24]
2	2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	3.020±0.763	2.926±0.229	3.718±0.330	3.299±0.381[a]	2.337±0.357[b]	3.819±0.207[a]	5.13[20]	焦糖味、奶油香[20] caramel, cream[20]
3	3-戊酮 3-pentanone	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.482±0.053	N.D.	316[19]	
4	(E)-3-戊烯-2-酮 (E)-3-penten-2-one	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.312±0.019	N.D.		
5	2,3-己二酮 2,3-hexanedione	0.403±0.054	N.D.	N.D.	N.D.	0.107±0.004	N.D.		
6	4-甲基-2-己酮 4-methyl-2-hexanone	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.772±0.167		
7	环己酮 cyclohexanone	N.D.	0.186±0.024	N.D.	N.D.	0.112±0.012	N.D.		
8	6-甲基-2-庚酮 6-methyl-2-heptanone	N.D.	N.D.	N.D.	0.467±0.088[a]	0.246±0.016[b]	0.446±0.014[a]	50[19]	
9	1-辛烯-3-酮 1-octen-3-one	0.384±0.011	N.D.	N.D.	1.152±0.132[a]	0.340±0.040[b]	N.D.	0.005[14]	
10	2,3-辛二酮 2,3-octadione	N.D.	2.662±0.457	3.989±0.586	0.961±0.194[c]	4.563±0.438[b]	7.065±0.937[a]		
11	2-壬酮 2-nonanone	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.961±0.170[b]	1.670±0.212[a]	5~200[4]	果香[15] fruity[15]
12	(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮 (E, E) -3,5-octadiene-2-one	N.D.	N.D.	N.D.	3.181±0.323	N.D.	N.D.	150[15]	甜奶香[15] dairy[15]
13	3,5,5-三甲基环己-2-烯酮 3,5,5-trimethyl-2-cyclohexenone	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.478±0.057	N.D.		
14	樟脑 bornan-2-one	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.023±0.004[b]	0.080±0.015[a]		
15	2-十一酮 2-undecanone	N.D.	N.D.	N.D.	2.774±0.293[a]	1.884±0.038[b]	N.D.	7[4]	果香、蜡香、脂香[3] fruity, wax, fatty[3]
16	2-癸酮 2-decanone	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.994±0.031	7.94[16]	番茄味[16] tomato[16]
17	香叶基丙酮 geranylacetone	N.D.	N.D.	N.D.	0.129±0.017	N.D.	N.D.	60[21]	木香，热带水果香[20] woody, fruity[20]

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

	化合物名称 compound	质量分数/% relative content						感觉阈值/(μg·kg^{-1}) perception threshold	气味特征 odor character
		鱼皮 skin			鱼鳞 scale				
		小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine	小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine		
	酮类（19 种） ketone (19 kinds)								
18	(E)-4-(2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-基)-3-丁烯-2-酮 (3E)-4-(2,6,6-trimethylcyclo-hex-1-en-1-yl)but-3-en-2-one	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.197±0.008		
19	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮 4-[2,2,6-trimethyl-7-oxabicy-clo[4.1.0]hept-1-yl]-3-buten-2-one	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.178±0.022		
	脂类（5 种） lipids (5 kinds)								
1	乙酸乙酯 ethyl acetate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.103±0.023	N.D.	5[22]	青草味、甜香、果香[22] herbal, sweet, fruity[22]
2	(1-羟基-2,4,4-三甲基戊-3-基) 2-甲基丙酸酯 propanoic acid,2-methyl-, 1-(2-hydroxy-1-methylethyl)-2,2-dim-ethylpropyl ester	N.D.	2.256±0.484	N.D.	0.367±0.025[b]	2.527±0.470[a]	N.D.		
3	邻苯二甲酸二乙酯 diethyl phthalate	N.D.	N.D.	N.D.	0.126±0.021	N.D.	N.D.		
4	邻苯二甲酸二异丁酯 diisobutyl phthalate	N.D.	0.367±0.032	N.D.	0.224±0.027[b]	0.666±0.073[a]	N.D.		
5	邻苯二甲酸二丁酯 dibutyl phthalate	N.D.	N.D.	N.D.	0.048±0.001[b]	0.123±0.020[a]	N.D.		
	烃类（44 种） hydrocarbon (44 kinds)								
1	1,3-戊二烯 1,3-pentadiene	N.D.	N.D.	N.D.	1.519±0.125[a]	0.372±0.017[b]	N.D.	2500[15]	
2	正己烷 hexane	N.D.	N.D.	0.989±0.096	N.D.	N.D.	N.D.	1500[16]	
3	苯 benzene	0.421±0.003[b]	1.194±0.215[a]	N.D.	N.D.	0.707±0.043	N.D.	3630[15]	特殊芳香味[15] aromatic[15]
4	甲苯 toluene	0.513±0.066[c]	2.480±0.202[b]	3.994±0.377[a]	N.D.	0.767±0.008[b]	2.089±0.392[a]	1550[15]	特殊芳香味[15] aromatic[15]
5	2,5-辛二烯 2,5-octadiene	0.152±0.036	0.164±0.016	N.D.	0.191±0.032	N.D.	N.D.		
6	1,3-辛二烯 1,3-octadiene	N.D.	0.302±0.068	N.D.	0.278±0.049	N.D.	N.D.	5600[15]	
7	乙基苯 ethylbenzene	2.365±0.340[a]	2.565±0.367[a]	1.391±0.238[b]	0.154±0.030[b]	0.274±0.042[b]	1.677±0.124[a]	2205.25[15]	特殊芳香味[15] aromatic[15]
8	1-乙基-1,4-环己二烯 1-ethyl-1,4-cyclohexadiene	0.701±0.026[a]	0.184±0.022[b]	N.D.	0.880±0.167[a]	0.321±0.058[b]	N.D.		

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

	化合物名称 compound	质量分数/% relative content						感觉阈值/($\mu g\cdot kg^{-1}$) perception threshold	气味特征 odor character
		鱼皮 skin			鱼鳞 scale				
		小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine	小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine		
	烃类(44 种) hydrocarbon (44 kinds)								
9	1,3,5,7-环辛四烯 1,3,5,7-cyclooctatetraene	0.599±0.051[a]	0.378±0.034[b]	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
10	对二甲苯 1,4-xylene	0.408±0.065[c]	0.573±0.057[b]	0.961±0.035[a]	N.D.	0.047±0.012	N.D.	490[13]	油脂味[13] oily[13]
11	壬烷 nonane	0.526±0.045[b]	0.975±0.027[a]	0.926±0.165[a]	N.D.	N.D.	N.D.		
12	枯烯 2-phenylpropane	0.156±0.022	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
13	蒎烯 pinene	0.869±0.222[a]	0.722±0.094[a]	0.258±0.040[b]	N.D.	N.D.	N.D.	6[13]	
14	丙苯 propyl-benzen	0.434±0.057[a]	0.272±0.033[b]	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
15	1-乙基-2-甲基苯 1-ethyl-2-methyl-Benzene	0.131±0.007[b]	0.118±0.012[b]	0.245±0.027[a]	N.D.	N.D.	N.D.		
16	4-乙基甲苯 4-ethyltoluene	N.D.	0.068±0.002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
17	1,2,3-三甲苯 1,2,3-trimethylbenzene	1.659±0.073[a]	1.590±0.071[a]	0.676±0.003[b]	N.D.	0.049±0.003	N.D.		
18	癸烷 decane	0.734±0.073[a]	0.171±0.022[c]	0.464±0.013[b]	N.D.	N.D.	N.D.		
19	α水芹烯 α-mentha-1,5-diene	0.162±0.029	0.135±0.009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
20	1-乙基-3-甲基苯 1-ethyl-3-methylbenzene	1.203±0.159	1.019±0.189	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
21	间异丙基甲苯 1-methyl-3-(1-methylethyl)-benzen	0.263±0.021	0.281±0.051	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
22	柠檬烯 limonene	2.289±0.272[a]	2.149±0.362[a]	0.312±0.014[b]	N.D.	N.D.	N.D.	10[3]	柠檬味[24] lemony[24]
23	2-甲基苯乙烯 2-methylstyrene	1.001±0.069	0.916±0.156	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
24	4-丙基甲苯 1-methyl-4-propylbenzene	0.398±0.043	0.376±0.024	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
25	1-甲基-2-异丙基苯 1-methyl-2-isopropylbenzene	1.428±0.214	0.972±0.154	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
26	反式十氢化萘 trans-decahydronaphthalene	0.141±0.028	N.D.	0.096±0.016	N.D.	N.D.	N.D.		
27	4-异丙基甲苯 1-methyl-4-(1-methylethyl)benzene	0.530±0.045	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
28	十一烷 undecane	0.669±0.104[a]	0.248±0.034[b]	0.216±0.061[b]	N.D.	N.D.	N.D.	1170[23]	刺激性[23] excitability[23]

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

	化合物名称 compound	质量分数/% relative content						感觉阈值/(μg·kg^{-1}) perception threshold	气味特征 odor character
		鱼皮 skin			鱼鳞 scale				
		小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine	小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine		
	烃类(44 种) hydrocarbon (44 kinds)								
29	1,2,4,5-四甲苯 1,2,4,5-tetramethylbenzene	1.294±0.190^{a}	0.913±0.045^{b}	0.904±0.049^{b}	N.D.	N.D.	N.D.		
30	3,5-二乙基苯 3,5-diethylbenzene	0.408±0.052	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
31	叔戊基苯 tert-amyl benzene	0.544±0.086	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
32	3-甲基十一烷 3-methylundecane	N.D.	0.462±0.050	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
33	萘 naphthalene	3.675±0.230^{a}	2.219±0.354^{b}	N.D.	0.399±0.049	0.312±0.012	N.D.	60[15]	樟脑球味[15] mothballs[15]
34	十二烷 dodecane	8.972±0.845^{a}	3.108±0.350^{b}	1.389±0.098^{c}	N.D.	N.D.	N.D.	2040[23]	刺激性[23] excitability[23]
35	1-甲基萘 1-methylnaphthalene	0.511±0.076^{a}	0.281±0.021^{b}	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	14[4]	刺激性[23] excitability[23]
36	3-甲基十三烷 3-methyl tridecane	0.565±0.072^{b}	0.403±0.011^{c}	0.742±0.068^{a}	N.D.	N.D.	N.D.		
37	十四烷 tetradecane	3.454±0.450^{a}	1.406±0.051^{b}	0.288±0.013^{c}	0.238±0.014^{a}	0.134±0.029^{b}	N.D.	1000[21]	刺激性[23] excitability[23]
38	十五烷 pentadecane	13.945±1.204^{a}	6.687±0.535^{c}	10.739±0.362^{b}	11.610±0.953	13.036±1.554	N.D.		
39	十六烷 hexadecane	0.580±0.042^{a}	0.354±0.072^{b}	N.D.	0.171±0.014	0.222±0.051	N.D.		
40	2,3-二甲基-2,3-二苯基丁烷 2,3-dimethyl-2,3-diphenylbutane	0.375±0.049	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		
41	十七烷 heptadecane	0.498±0.048^{a}	0.297±0.001^{b}	N.D.	0.123±0.009	0.141±0.025	N.D.		
42	2,6,10,14-四甲基十五烷 2,6,10,14-tetramethylpentadecane	0.735±0.094^{a}	N.D.	0.363±0.037^{b}	N.D.	N.D.	N.D.		
43	十八烷 octadecane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.172±0.008	N.D.		
44	十九烷 nonadecane	N.D.	0.071±0.009	N.D.	N.D.	0.118±0.007	N.D.		
	其他(6 种) others (6 kinds)								
1	2-甲基呋喃 2-methylfuran	N.D.	0.047±0.003	N.D.	0.222±0.031	0.175±0.035	N.D.	34[22]	
2	过氧化二叔丁基 di-tert-butyl peroxide	N.D.	N.D.	0.287±0.018	N.D.	N.D.	N.D.		
3	4-乙基苯酚 4-ethylphenol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.208±0.042	0.177±0.026	13[15]	
4	2-戊基呋喃 2-pentylfuran	N.D.	N.D.	N.D.	1.548±0.298	1.324±0.071	N.D.	6[4]	
5	苯并噻唑 benzothiazole	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.294±0.012	N.D.		
6	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-di-tert-butylphenol	N.D.	N.D.	0.269±0.032	0.030±0.012^{b}	0.032±0.006^{b}	0.561±0.042^{a}		

注：“N.D.”代表未检测出. 同一行中上标不同的平均值差异显著(P<0.05).

Note: “N.D.” means not detected. Values with different superscripts in the same row are significantly different (P<0.05).

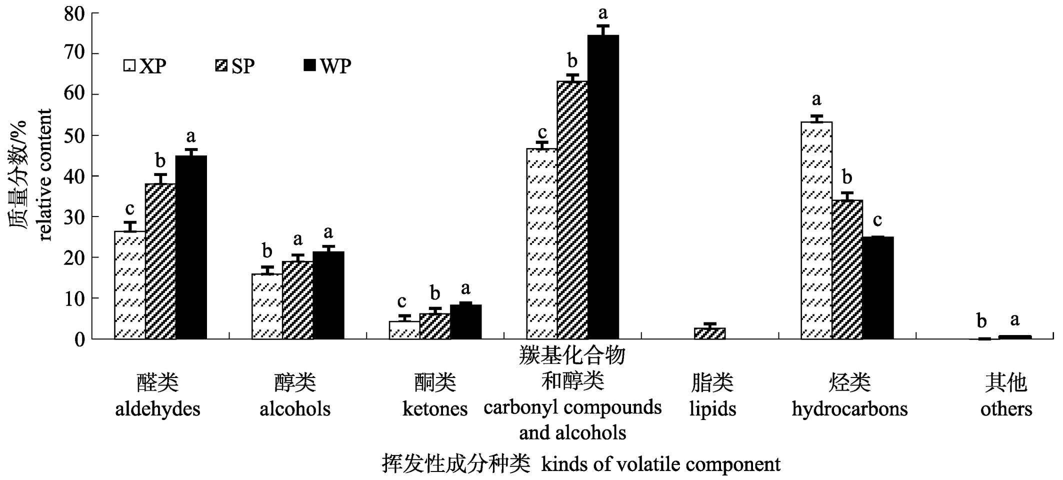

图 1 小网箱、深水网箱和围网养殖大黄鱼鱼皮挥发性成分种类含量

SP: 深水网箱鱼皮; WP: 围网养殖的鱼皮; XP: 小网箱鱼皮

柱上字母不同的数值表示 3 种模式间鱼皮挥发性成分种类有显著性差异($P<0.05$).

Fig. 1 Volatile compounds content in skin of small cages, submersible cages and purse seines cultured *Pseudosciaena crocea*

SP: fish skin in submersible cages; WP: fish skin in purse seins; XP: fish skin in small cages.

Values in bars that do not have the same letter are significant different ($P<0.05$).

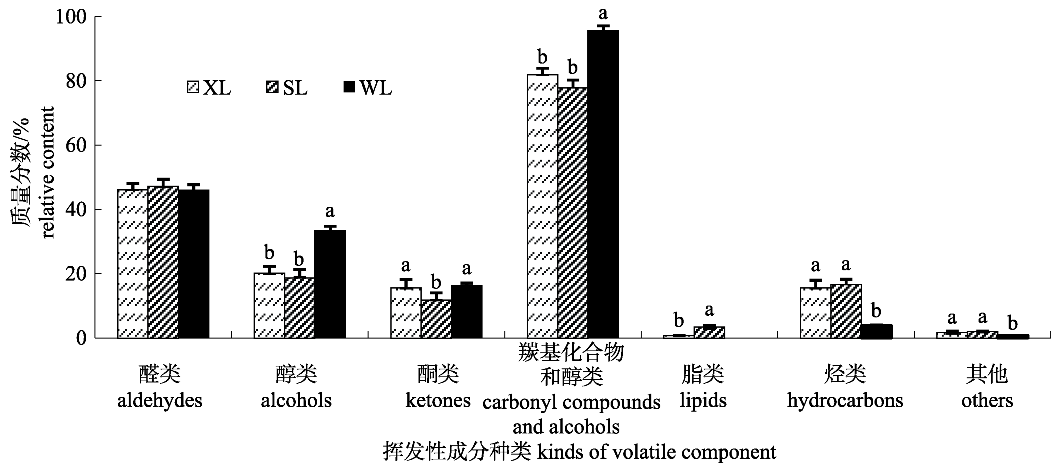

图 2 小网箱、深水网箱和围网养殖大黄鱼鱼鳞挥发性成分种类含量

SP: 深水网箱鱼鳞; WP: 围网养殖的鱼鳞; XP: 小网箱鱼鳞.

柱上字母不同的数值表示 3 种模式间鱼皮挥发性成分种类有显著性差异($P<0.05$).

Fig. 2 Volatile compounds content in scales of small cages, submersible cages and purse seines cultured *Pseudosciaena crocea*

SP: fish scales in submersible cages; WP: fish scales in purse seines; XP: fish scales in small cages.

Values in bars that do not have the same letter are significant different ($P<0.05$).

XL 和 SL 的主体风味成分。对 XL、SL、WL 中独有主体风味成分分析，发现 XL 中无独有主体风味成分，SL 中独有主体风味成分只有(E)-2-癸烯醛 1 种，而 WL 中独有主体风味成分有戊醛、庚醛、(E)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、2,3-戊二酮等 7 种。WL 中 7 种独有主体风味成分包括 3 种醛类，1 种醇类，3 种酮类。据此分析，WL 中主体风味成分数目和种类比XL、SL中主体风味成分数目和种类多。

3 讨论

3.1 不同模式养殖大黄鱼挥发性成分分析

分析 3 种模式养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞中挥发性成分得到，WP 的羰基化合物和醇类含量最高，SP 次之，XP 最低；WL 的羰基化合物和醇类含量显著高于 XL 和 SL，而 SL 与 XL 的羰基化合物和醇类含量无显著差异。

表 2　小网箱、深水网箱和围网养殖大黄鱼鱼皮、鱼鳞主体风味成分

Tab. 2　Key odor compounds in skin and scales of small cages, submersible cages and purse seines cultured *Pseudosciaena crocea*

化合物名称 compound	相对气味贡献度(ROAV≥1) relative odor activity value (ROAV≥1)					
	鱼皮 skin			鱼鳞 scale		
	小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine	小网箱 small cage	深水网箱 submersible cage	围网 purse seine
丙醛 propanal	—	—	0.659~2.567	—	—	—
戊醛 pentanal	—	—	—	—	—	1.438~5.034
(E,E)-2,4-己二烯醛 (E,E)-2,4-hexadienal	—	0.230~1.383	—	—	—	—
(E)-2-戊烯醛 (E)-2-pentenal	—	—	1.18	—	—	—
己醛 hexanal	—	6.435	22.167	—	2.351	7.003
(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	—	—	2.085	—	—	—
(Z)-4-庚烯醛 (Z)-4-heptenal	—	3.391	14.888	—	1.43	10.719
庚醛 heptanal	—	12.907	32.145	—	—	20.729
辛醛 octanal	1.657	3.713	33.599	1.647	4.368	86.925
(E,E)-2,4-庚二烯醛 (2E,4E)-hepta-2,4-dienal	—	5.699	11.352	—	1.112	1.08
苯乙醛 phenylacetaldehyde	—	3.464	—	—	—	—
(E)-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	—	5.429	4.228	—	—	2.96
壬醛 nonanal	4.91	100	100	1.471	10.422	100
(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-nonadienal	—	—	—	1.099	1.936	4.241
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	—	—	—	1.568	4.54	—
癸醛 decanal	1.014~20.286	—	—	0.106~2.114	—	2.088~41.753
(E)-2-癸烯醛 (E)-2-decenal	—	21.249~28.331	—	—	2.11~2.814	—
2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal	—	—	—	13.883	30.714	—
叶醇 leaf alcohol	0.279~13.945	—	—	0.046~2.313	—	1.218~60.920
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	—	4.312	11.032	—	—	2.753
1-戊烯-3-酮 1-penten-3-one	—	3.855	7.193	1.552	—	9.52
2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	—	5.008	9.496	—	—	6.699
1-辛烯-3-酮 1-octen-3-one	100	—	—	100	100	—
2-壬酮 2-nonanone	—	—	—	—	—	0.075~3.005
2-癸酮 2-decanone	—	—	—	—	—	1.127
蒎烯 pinene	—	1.057	—	—	—	—
柠檬烯 limonene	—	1.887	—	—	—	—

羰基化合物和醇类是通过特定的脂肪氧合酶作用于鱼脂质中的多不饱和脂肪酸(PUFA)衍生而来的[26]。钟爱华等[30]对大黄鱼营养成分比较及品质评价的研究表明随着养殖水体的扩大, 养殖大黄鱼 PUFA 的含量不断上升, 其中海区放养大黄鱼最高, 深水网箱次之, 而小网箱最低。大黄鱼的挥发性风味成分中羰基化合物和醇类含量与鱼体 PUFA 含量有直接关系, 而鱼体 PUFA 含量会随着养殖水体的增大而逐渐增加。本研究中, X 组、S 组、W 组均位于相同海区, 且养殖水体空间依次扩大。因此, W 组鱼体内 PUFA 沉积最多, 由此产生的羰基化合物和醇类含量最高; S 组次之; X 组最低。

新鲜鱼肉的风味主要是由挥发性羰基化合物和醇类造成的[26–27]。新鲜鱼类挥发性成分中的羰基化合物通常具有浓郁的香味, 而醇类通常会产生比较清淡、柔和的气味[31–32]。因此可以推断, 在 3 种模式养殖大黄鱼中, WP 风味物质构成最优, SP 次之, XP 最差; WL 风味物质构成较 XL 和 SL 优, XL 与 SL 间差异较小。

3.2 不同模式养殖大黄鱼主体风味成分分析

3 种模式养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞中主体风味成分主要由醛类、醇类及酮类等构成。WP 和 SP 中主体风味成分数量和种类多于 XP 中主体风味成分数量和种类; WL 中主体风味成分数目和种类多于 XL、SL 中主体风味成分数目和种类。X 组、S 组、W 组主体风味成分的差异可能由 3 种模式间养殖大黄鱼运动量和天然饵料的摄食量差异造成的体内多不饱和脂肪酸沉积不同导致。主体风味成分的差异导致 3 种模式养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞的风味存在一定差异。在 XP、SP、WP 主体风味成分中, 己醛、庚醛、(Z)-4-庚烯醛、(E, E)-2, 4-庚二烯醛、(E)-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇等 8 种物质是 SP 和 WP 的共有主体风味成分, 但不是 XP 的主体风味成分。己醛是脂肪氧化产生的, 是亚油酸氧化的基本产物, 其具有青草气味[4], 庚醛具有烤鱼片味[16], (Z)-4-庚烯醛、(E, E)-2, 4-庚二烯醛、(E)-2-辛烯醛和 1-辛烯-3-醇, 分别具有清香、脂香及蘑菇香气[4]。在 XL、SL、WL 主体风味成分中, XL 无独有主体风味成分, SL 中独有主体风味成分只有(E)-2-癸烯醛 1 种, 而 WL 中独有主体风味成分有戊醛、2, 3-戊二酮、2-壬酮、2-癸酮等 7 种。(E)-2-癸烯醛具有蜡香、脂香[4], 戊醛具有青草味[16], 2, 3-戊二酮对奶油香气有贡献[33], 而 2-壬酮、2-癸酮普遍存在于蟹类挥发性成分中, 且 2-癸酮是崇明中华绒螯蟹肉中香味主体风味物质, 对蟹肉香味贡献较大[15]。因此可以推断, 在 3 种模式养殖大黄鱼鱼皮中, WP 和 SP 的风味比 XP 的风味更丰富; 在 3 种模式养殖大黄鱼鱼鳞中, WL 的风味比 XL 和 SL 的风味更加丰富。

4 结论

小网箱、深水网箱和围网养殖大黄鱼的鱼皮、鱼鳞挥发性成分存在显著性差异, 主体风味物质数量和种类也存在差异。

3 种模式养殖大黄鱼鱼皮中, WP 的风味物质构成最优, SP 次之, XP 最差。WP 和 SP 中主体风味成分数量和种类多于 XP 中主体风味成分数量和种类。与 XP 相比, WP 和 SP 风味更丰富。

3 种模式养殖大黄鱼鱼鳞中, WL 的风味物质构成比 XL 和 SL 的风味物质构成更优, XL 与 SL 的风味物质构成差异较小。WL 主体风味成分数量和种类多于 XL 和 SL 中主体风味成分数量和种类。与 XL 和 SL 相比, WL 风味更丰富。

总的来说, W 组羰基化合物和醇类含量最高, 风味物质构成最优; 主体风味成分的数量和种类最多, 风味最丰富。X 组和 S 组风味物质构成和主体风味成分的优劣有待进一步研究分析。

参考文献:

[1] Fan H D. Industry and development strategies of Mindong *Pseudosciaena crocea*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009(10): 213–214. [范宏东. 闽东大黄鱼产业现状及发展对策[J]. 现代农业科技, 2009(10): 213–214.]

[2] Hayat Z, Cherian G, Pasha T N, et al. Sensory evaluation and consumer acceptance of eggs from hens fed flax seed and 2 different antioxidants[J]. Poult Sci, 2010, 89(10): 2293–2298.

[3] Weng L P. Research on flavor of breeding large yellow croaker and wild large yellow croaker[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2011: 58–77. [翁丽萍. 养殖大黄鱼和野生大黄鱼风味的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011: 58–77.]

[4] Lu C X, Weng L P, Wang H H, et al. Investigation on the key odor compounds of three cage-farming fishes[J]. Food and Fermentation Industies, 2010, 36(10): 163–169. [卢春霞, 翁丽萍, 王宏海, 等. 3 种网箱养殖鱼类的主体风味成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(10): 163–169.]

[5] Li Y, Liu Z W, Zhang G X, et al. Preparation and physicochemical properties of collagen from skin or scale of *Hypophthalmichthys molitrix*[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(3): 232–238. [李越, 刘志伟, 张国秀, 等. 鲢鱼皮、鱼鳞胶原的制备及理化特性的研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(3): 232–238.]

[6] Yi J B. Study on the characteristics and properties of transformation *Pollock* skin collagen[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011: 1–15. [易继兵. 狭鳕鱼皮胶原蛋白特性及其性能改造[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 1–15.]

[7] Wei S H. Study on the extracting craft of gelatin from *Tilapia* fish skin and fish scale[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008: 1–16. [位绍红. 罗非鱼鱼皮、鱼鳞提取明胶的工艺研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008: 1–16.]

[8] Guo Q, Ai C X. The development and utilization of scale resources[J]. Fujian Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2006, 27(5): 32–33. [郭庆, 艾春香. 鱼鳞

资源的开发利用[J]. 福建畜牧兽医, 2006, 27(5): 32–33.]

[9] Yang Y P, Jiao C H, Liao T, et al. Determination of volatile components in *Cyprinus carpio* and study on their generation mechanism[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(3): 688–691. [杨玉平, 焦春海, 廖涛, 等. 鲤鱼挥发性成分测定及其产生机理初探[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(3): 688–691.]

[10] Zhou Y Q, Wang Z J. Extraction and analysis on fishy odor-causing compounds in the different part of carp[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2006, 34: S165–S167. [周益奇, 王子健. 鲤鱼体中鱼腥味物质的提取和鉴定[J]. 分析化学研究简报, 2006, 34: S165–S167.]

[11] Wang G C, Li L H, Hao S X, et al. Research progress in the mechanism of odor compounds in aquatic product and some relative techniques of detection and analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(5): 401–409. [王国超, 李来好, 郝淑贤, 等. 水产品腥味物质形成机理及相关检测分析技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(5): 401–409.]

[12] Liu D Y, Zhou G H, Xu X L, et al. “ROAV” method: a new method for determining key odor compounds of Rugao ham[J]. Food Science, 2008, 29(7): 370–374. [刘登勇, 周光宏, 徐幸莲, 等. 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.]

[13] Gu S Q, Zhang J J. Identification on characteristic aroma components of peanut oil under different temperatures during thermal treatment[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(2): 133–138. [顾赛麒, 张晶晶. 花生油在不同热处理温度下特征性香气成分鉴别研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 133–138.]

[14] Liu C J, Wang H O, Li D J, et al. Analyse of key volatile flavor compounds on faba bean pickled in vinegar[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(2): 161–166. [刘春菊, 王海鸥, 李大婧, 等. 醋浸蚕豆主体挥发性风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 161–166.]

[15] Gu S Q, Wu N, Zhang J J, et al. Characterization of key odor compounds in steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) farmed in Chongming region by monolithic material sorptive extraction-gas chromatography-olfatometry and odor activity value methods[J]. Food Safety and Quality Detection Technology, 2014, 5(3): 877–888. [顾赛麒, 吴娜, 张晶晶, 等. MMSE-GC-O 结合 OAV 法鉴定蒸制崇明地区中华绒螯蟹中关键气味物质[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(3): 877–888.]

[16] Wang X C, Wu N, Gu S Q, et al. Identification of odor-active compounds in Chinese mitten crab from Yangcheng Lake by MMSE-GC-MS/GC-O[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(4): 245–254. [王锡昌, 吴娜, 顾赛麒, 等. MMSE-GC-MS/GC-O 法鉴定熟制阳澄湖大闸蟹关键嗅感物质[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 245–254.]

[17] Liu J K, Gao Y, Wang Z Y, et al. Effect of oxidized sheep bone oil on volatile flavor compounds of mutton flavor seasoning[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(4): 749–758. [刘金凯, 高远, 王振宇, 等. 氧化羊骨油对羊肉味调味基料挥发性风味物质的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(4): 749–758.]

[18] Lu C X. Study on the optimization of degreasing and deodorizing technology and the flavors of *Pseudosciaena crocea*[J]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2011: 24–34. [卢春霞. 养殖大黄鱼脱脂脱腥工艺优化及其风味成分研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011: 24–34.]

[19] Gu S Q, Zhang J J, Wang X C, et al. Analysis of volatile components in meat of steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) farmed in different regions[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(5): 289–293. [顾赛麒, 张晶晶, 王锡昌, 等. 不同产地熟制中华绒螯蟹肉挥发性成分分析[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 289–293.]

[20] Ding H C, Li D F, Zhang Y P, et al. Comparison of volatile flavor compounds among peeled antarctic krill and four species of peeled marine shrimps[J]. Food and Fermentation Industiies, 2013, 39(10): 57–62. [丁浩宸, 李栋芳, 张燕平, 等. 南极磷虾虾仁与 4 种海虾虾仁挥发性风味成分对比[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(10): 57–62.]

[21] Wang W, Wu Q, Dong Q, et al. Effect of processing conditions on the key flavor compounds of baked quail eggs as analyzed by “ROAV” method[J]. Food Science, 2013, 34(22): 234–238. [王武, 吴巧, 董琪, 等. 加工条件对烤制鹌鹑蛋挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 234–238.]

[22] Zhang H. Study on the quality and microorganims changes during the fermentation of large yellow croaker[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2014: 11–34. [张鹤. 腌制大黄鱼品质及微生物菌群变化研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2014: 11–34.]

[23] Gao X C, Gu S Q, Tao N P, et al. Comparison of volatile flavor components in hepatopancreas and gonads of raw and cooked Chinese mitten crab[J]. Food Science, 2014, 35(18): 128–135. [高先楚, 顾赛麒, 陶宁萍, 等. 生、熟中华绒螯蟹肝胰腺和性腺中的挥发性成分比较[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 128–135.]

[24] Yang Q Q, Qiu Y, Yu Y G, et al. Volatile component analysis in fresh and defatted deodorized *Pseudosciaena crocea*[J]. Food Science, 2012, 33(14): 206–210. [杨倩倩, 邱杨, 余以刚, 等. 养殖大黄鱼脱脂脱腥处理前后挥发性成分的变化[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 206–210.]

[25] Ye J, Weng L P, Lu C X, et al. Investigation on the key odor compounds of *Pseudosciaena crocea* grown in small net cage[J]. Food Research and Development, 2012, 33(4): 147–151. [叶婧, 翁丽萍, 卢春霞, 等. 小网箱养殖大黄鱼挥发性风味物质检测与分析[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 147–151.]

[26] Zhang J J. Study on the characteristic volatile compounds generated by different freshness of *Pseudosciaena crocea*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(10): 79–84. [张晶晶. 不同新鲜度养殖大黄鱼肉中特征性挥发物的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(10): 79–84.]

[27] Misharina T A, Terenina M B, Golovnya R V. Volatile carbonyl compounds and alcohols, components of flavor of hydrobionts[J]. Appl Biochem Microbiol, 1999, 35(4): 331–340.

[28] Drumm T D, Spanier A M. Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage[J]. J Agric Food Chem, 1991, 39(2): 336–343.

[29] Lü W J, Zhao J, Mao Y Y, et al. Analysis of volatile compounds in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) flesh

by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrome[J]. Food Science, 2013, 34(22): 138–142. [吕卫金, 赵进, 毛赟燕, 等. 顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱分析大黄鱼肉挥发性成分[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 138–142.]

[30] Zhong A H, Chu Z J, Dai L Y, et al. Evaluation of nutrient components and nutritive quality of musele of big yellow croaker (*Larimichthys crocea*) in different aquaculture model[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(20): 6629–6631. [钟爱华, 储张杰, 戴露怡, 等. 3 种养殖模式下大黄鱼肌肉营养成分比较及品质评价[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(20): 6629–6631.]

[31] Iida H. Studies on the accumulation of dimethyl-β-propiothetin and the formation of dimethyl-sulfide in the aquatic organisms[J]. Bull Tokairey Fish Reslab, 1988(124): 35–63.

[32] Li Y, Wang C, Hu J Z, et al. Analysis of volatile components in fresh and forzen silver carp fish[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2014, 35(1): 59–65. [李阳, 汪超, 胡建中, 等. 冻藏前后白鲢鱼肉中挥发性成分含量分析[J]. 质谱学报, 2014, 35(1): 59–65.]

[33] Tanchoikul U. Analysis of volatile flavor components in steamed Rangia clam by dynamic headspace sampling and simultaneous distillation and extraction[J]. J Food Sci, 1991, 56(2): 327–331.

Volatile flavor compounds on the skin and scales of *Pseudosciaena crocea* cultured using three different methods

XIAO Xiong[1, 2], LIN Shuqin[2], WU Xiongfei[2], ZHENG Zhongming[1]

1. Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education; Ningbo University, Ningbo 315211, China;
2. Ningbo Ocean and Fishery Research Institute, Ningbo 315211, China

Abstract: This study applied headspace solid phase microextraction combined with comprehensive two- dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry to analyze the volatile flavor compounds in the skin and scales of *Pseudosciaena crocea* cultured in small cages (X), submersible cages (S), and purse seines (W). A total of 118 volatile components were detected in skin and scales of fish from X, S, and W. In addition, aldehydes, alcohols, ketones, and hydrocarbons were the dominant compounds. Significant differences were observed between the volatile components in the skin and scales of X, S, and W (P<0.05). In particular, carbonyl compound and alcohol contents were highest in scales of W fish, followed by scales of those in S, and lowest in scales of fish from X. The carbonyl compound and alcohol contents in skin of fish in W were significantly higher than those in skin of fish from X and S, but no differences were detected between skin from fish in X and S. Differences in carbonyl compound and alcohol contents were directly related with polyunsaturated fatty acid (PUFA) content in the bodies of *P. crocea* cultured using different methods. PUFA content accumulated gradually in the body of *P. crocea* as physical activity and natural food intake increased. Therefore, the carbonyl compounds and alcohols produced by PUFAs increased accordingly. Among the volatile compounds in scales of fish held in all three enclosures, 5, 15, and 13 kinds of compounds (ROVA≥1) were selected as key odorants with relative odor activity value. The number of key odor compounds (ROVA≥1) in scales of fish from W and S were more than that in scales of fish from X. In addition, more key odor compounds were detected in scales of fish from W and S than from the other. Nine, 10, and16 key odor compounds (ROVA≥1) were selected in skin from fish in the X, S, and W. More key odor compounds (ROVA≥1) were detected in scales from fish in W than those in skin from fish in X and S. Similarly, more key odor compounds were detected in scales of fish from W than the others. We concluded that carbonyl compound and alcohol contents in W was higher than those in X and S. In addition, the flavor composition in W was optimal. The number and variety of key odor compounds were greater in W than those in X and S, and, flavor in W was richer than that in X and S.

Key words: *Pseudosciaena crocea*; cage culture; purse seines culture; volatile components; relative odor activity value; key odor compounds

Corresponding author: WU Xiongfei. E-mail: wxiongfei@hotmail.com