

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20240705003

http://www.yykxjz.cn/

孙威博, 魏帮鸿, 庄小妹, 马园, 董彩文, 郭全友. 不同养殖模式下不同规格大黄鱼品质特征分析. 渔业科学进展, 2025, 46(4): 140–152

SUN W B, WEI B H, ZHUANG X M, MA Y, DONG C W, GUO Q Y. Characterization of large yellow croaker quality in different culture modes and sizes. Progress in Fishery Sciences, 2025, 46(4): 140–152

不同养殖模式下不同规格大黄鱼品质特征分析*

孙威博^{1,2} 魏帮鸿² 庄小妹² 马园² 董彩文^{1①} 郭全友^{2①}

(1. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院 河南 郑州 450000;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所 上海 200090)

摘要 为了探究养殖模式对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)品质的影响,对通框网箱、深水网箱和工船养殖的大规格(500~550 g)和小规格(250~330 g)大黄鱼形体、质构、基本营养成分、氨基酸、脂肪酸、滋味轮廓和挥发性气味进行测定,通过正交偏最小二乘法判别分析综合评价了上述指标的差异。结果显示,工船养殖大黄鱼的体形优于深水和通框网箱养殖大黄鱼;相同规格工船和深水网箱大黄鱼的硬度、粘附性和胶粘性高于通框网箱;不同养殖模式下大规格大黄鱼粗脂肪含量低于小规格;工船养殖和深水网箱大黄鱼单不饱和脂肪酸含量显著高于通框网箱;工船养殖大黄鱼具有较高的鲜味和甜味,深水网箱养殖大黄鱼丰富度较高;小规格大黄鱼异戊醛、2-萜烯、丙烯酸乙酯、2-丁酮和丁醛-D等含量高于大规格大黄鱼;正交偏最小二乘判别分析筛选出反油酸、2-丁醇-M、丁醛-M、鲜味、涩味回味、丰富度、蛋氨酸和半胱氨酸是区分不同养殖模式大黄鱼的重要指标。综上所述,工船养殖和深水网箱等新兴养殖能提高大黄鱼体形、质构和滋味,反油酸、2-丁醇-M、丁醛-M、鲜味、涩味回味、丰富度、蛋氨酸和半胱氨酸可用于不同养殖模式大黄鱼的区分。

关键词 大黄鱼; 养殖模式; 规格; 品质; 风味

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2025)04-0140-13

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)因其具有低脂高蛋白、营养丰富、味道鲜美等特点(Davies *et al*, 2019; Di Trapani *et al*, 2014),深受广大消费者的喜爱。目前,我国大黄鱼主要养殖于福建、浙江等沿海地区,以近海养殖(通框网箱)为主。由于近岸养殖空间资源有限、密度大、布局不合理等问题(Long *et al*, 2024; Yu *et al*, 2023),近年来出现了将网箱加大加深的深水网箱养殖模式以及封闭养殖舱的工船养殖等新型的养殖模式,与近海通框网箱养殖模式相比,深水网箱养殖具有大黄鱼活动空间大、海水的交换率高等优势,而工

船养殖模式能为大黄鱼寻找优质养殖水源和温度适宜的养殖条件(Long *et al*, 2024; Yu *et al*, 2023)。由于不同养殖模式提供的条件和环境等不同,鱼的品质具有一定的差异。研究表明,循环水流跑道在一定程度上能够改善鲫鱼(*Carassius auratus*)的品质,跑道组粗脂肪含量显著低于池塘组,不饱和脂肪酸含量高于池塘组(韦毓等, 2024)。刘龙龙等(2024)通过对3种不同规格金枪鱼(*Thunnus albacares*)背部肌肉进行分析,发现大规格金枪鱼二十二碳六烯酸(DHA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)含量较高。黄小兰等(2023)研究发现,

* 国家重点研发计划(2022YFD2401103)、中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费(2023XT0701; 2023TD73)和中国水产科学研究院东海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费(2022ZD02)共同资助。孙威博, Email: 1504896915@qq.com

① 通信作者: 董彩文, 教授, Email: biodcw@126.com; 郭全友, 研究员, Email: dhsguoqy@163.com

收稿日期: 2024-07-05, 收修改稿日期: 2024-08-20

小规格胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)背部肌肉粗蛋白含量要高于大规格。在对大黄鱼的研究中, Li 等(2017)分析了围网养殖和通框网箱养殖大黄鱼肌肉品质差异,发现围栏养殖大黄鱼氨基酸含量、胶原蛋白和二十碳五烯酸(EPA)和 DHA 显著高于通框网箱大黄鱼。上述研究证实,养殖模式和养殖产品规格显著影响养殖水产品的品质。以往有关大黄鱼不同养殖模式品质的研究主要集中在近海养殖,而有关深远海大黄鱼品质的研究较少,特别是新型工船养殖大黄鱼的品质研究。

本研究以3种养殖模式(通框网箱、深水网箱和养殖工船)养殖的2种规格大黄鱼为研究对象,对大黄鱼形体、质构、基本营养成分、氨基酸、脂肪酸、滋味轮廓和挥发性气味等进行测定,通过正交偏小二乘法判别分析(OPLS-DA)对不同养殖模式饲养的大黄鱼品质指标进行判别分析,以期为工船养殖大黄鱼的品质评价奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

于2023年10—11月,收集通框网箱(20 m × 20 m,水深8~9 m)、深水网箱(周长80~120 m,水深8~12 m)和养殖工船条件下养殖的10尾大规格(500~550 g)和15尾小规格(250~330 g)大黄鱼,共计6组样品,分别标记为工船大(GM)、工船小(GS)、深水大(SM)、深水小(SS)、通框大(TM)和通框小(TS)。其中,养殖工船大黄鱼养殖于国信1号,养殖期间大黄鱼仅投喂饲料(粗蛋白质≥45.0%、粗脂肪≥5.0%、粗纤维≤5.0%、粗灰分≥15.0%、赖氨酸≥2.50%、总磷≥0.80%),水温21.5~28.5℃,盐度20.7~31.8, pH值7.6~8.4,溶解氧>7 mg/L;深水网箱和通框网箱大黄鱼养殖于福建宁德市三都港地区海域,养殖大黄鱼以投喂饲料(粗蛋白质≥42.0%、粗脂肪≥5%、粗纤维≤3.5%、粗灰分≤16.0%、赖氨酸≥2.20%、水分≤10.5%、总磷:0.8%~3.5%)和冰鲜杂鱼为主,水温15.9~22.6℃,盐度25~29, pH值6.93~7.49,溶解氧>5 mg/L。所有大黄鱼均在晚上捕捞,层冰层鱼冰水致死,放入装有碎冰的泡沫箱中,24 h内冷链运输至实验室。大黄鱼抵达实验室后,尽快测定大黄鱼的形体指标和质构。取背部肌肉打碎、混匀、放于-80℃冰箱中,用于基本营养成分、氨基酸、脂肪酸、核苷酸、滋味轮廓和挥发性风味物质的测定。

质构仪:TMS-PRO型,美国FTC公司;马弗炉:BF51731型,上海赛默飞世尔科技有限公司;半自动

凯氏定氮仪:KDN-103F型,上海纤检仪器有限公司;脂肪测定仪:SZC-D型,上海纤检仪器有限公司;电子舌:SA-402B型,上海纤检仪器有限公司;GC-IMS:5H1-00319型,德国GAS公司;新型渔药成分分析系统-全功能氨基酸分析仪:HAI-CM56-510型,日本株式会社日高新技术科学那柯事业所;高效液相色谱系统:1260型、气相色谱仪:7890A型,美国Anglient公司。

1.2 实验方法

1.2.1 形体指标测定 随机抽取不同大黄鱼样品,在冰盘上解剖分离肝脏和内脏,用吸水纸洗掉水分后称净重 W (g)。测定大黄鱼体高(大黄鱼鱼体最高处垂直距离,cm)、体长(大黄鱼吻端至尾鳍基部最后一枚椎骨的末端的垂直距离,cm)、尾柄高(大黄鱼尾柄部分最低处的高度,cm)、尾柄长(大黄鱼臀鳍基部至尾鳍基部最后一枚椎骨垂直线的距离,cm)。具体测定部位如图1所示,肥满度= $W/AC^3 \times 100$ 。

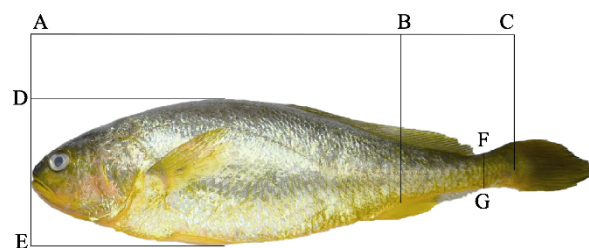


图1 大黄鱼形体指标测定部位示意图

Fig.1 Schematic diagram of measurement locations for body indicators of large yellow croaker

DE: 体高; AC: 体长; FG: 尾柄高; BC: 尾柄长。
DE: Body height; AC: Body length; FG: Caudal peduncle height; BC: Caudal peduncle length.

1.2.2 质构测定 质构测定参考石钰琢等(2022)的方法:取大黄鱼背肌,将其切成2 cm × 2 cm × 1 cm的方块。使用TMS-PRO质构仪对样品进行测定。挤压试验参数:探头暂停时间为1 s,力量感应元的量程为1 000 N,探头回升高度为25 mm,形变量为50%,测试速度为60 mm/min,起始力为1.5 N。

1.2.3 基本营养成分测定 参照GB 5009.3-2016进行水分含量的测定。参照GB 5009.6-2016,大黄鱼样品经脂肪仪,通过索氏抽提法测定粗脂肪含量。参照GB 5009.4-2016进行粗蛋白含量测定。参照GB 5009.4-2016,大黄鱼样品经马弗炉在(550±25)℃下焚烧4 h后计算灰分含量。

1.2.4 氨基酸测定 参考Oztekin等(2020)的方法:称取0.2 g左右(精确至0.000 1 g)背肌样品,放入水

解瓶中,加入 10 mL 盐酸(6 mol/L)并充氮气 1 min,密封后置于 110 ℃烘箱中,水解 22 h。取出冷却,用超纯水定容至 100 mL,取 1 mL 液体放入圆底烧瓶中,于 40 ℃条件下旋蒸,蒸干后加入 1 mL 超纯水进行复溶 5 min,取复溶液通过 0.22 μm 水系滤膜过滤后装于棕色气相小瓶中上机。

色氨酸因酸水解时遭到破坏,需另测试。参照宋洁等(2021)的方法进行色氨酸含量测定,结果用百分比(%)表示。根据 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准和鸡蛋蛋白质的氨基酸模式进行比较(蔡丽等, 2021),分别按公式(1)和(2)计算氨基酸评分(ASS)和化学评分(CS):

ASS =

$$\frac{\text{实验样品氨基酸含量}}{\text{FAO/WHO评分标准模式中同种氨基酸的含量}} \quad (1)$$

$$\text{CS} = \frac{\text{实验样品氨基酸含量}}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸的含量}} \quad (2)$$

1.2.5 脂肪酸测定 参照蔡丽君等(2022)的方法,使用气相色谱仪对大黄鱼脂肪酸进行测定。

通过 C12:0、C14:0、C16:0、C18:0、MUFA 和 PUFA 指标对脂肪酸的动脉粥样化指数(AI)和血栓形成指数(TI)进行评价,按公式(3)和(4)计算:

$$\text{AI} = \frac{\text{C12:0} + 4 \times \text{C14:0} + \text{C16:0}}{\sum (\text{MUFA} + \text{PUFA})} \quad (3)$$

$$\text{TI} = \frac{\text{C14:0} + \text{C16:0} + \text{C18:0}}{0.5 \sum \text{MUFA} + 0.5 \sum n-6\text{PUFA} + 3 \sum n-3\text{PUFA} + \frac{n-3}{n-6}} \quad (4)$$

式中, MUFA 为单不饱和脂肪酸量(%); PUFA 为多不饱和脂肪酸含量(%); C12:0 为月桂酸(%); C14:0 为肉豆蔻酸(%); C16:0 为棕榈酸(%); C18:0 为硬脂酸(%)。

1.2.6 核苷酸测定 根据 Tu 等(2021)方法,进行核苷酸含量测定。

1.2.7 滋味轮廓测定 参考庄小妹等(2023)的方法:称取大黄鱼背肌 60 g 放入(80±1) ℃水浴锅中预热 20 min,准确称取 50 g (精确至 0.000 1 g)预热后的样品,按照样品和水质量体积比 1 g:5 mL 添加 80 ℃预热的超纯水,均质 60 s,于 4 ℃下静置 30 min;取液体进行离心,4 ℃、8 000 r/min、离心 10 min;取上清液,用滤纸过滤后倒入电子舌测试杯中进行测试。

1.2.8 挥发性气味测定 参照陈东杰等(2019)的方法进行挥发性气味测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 和 Origin 2021 等软件,对数据进行处

理和绘图。实验结果以平均值±标准差(Mean±SD)表示,通过 SPSS 26.0 对数据的差异进行统计分析,通过单因素方差分析(one-way ANOVA)检验相同规格不同养殖模式之间差异的显著性,通过独立样本 T 检验相同养殖模式不同规格之间差异的显著性,以 $P < 0.05$ 表示差异显著。利用 SIMCA 软件进行 OPLS-DA 分析。

2 结果与分析

2.1 大黄鱼形体指标分析

不同养殖模式下不同规格大黄鱼的形体指标见图 2。3 种养殖模式中,工船养殖大黄鱼肥满度最低,通框网箱大黄鱼肥满度最高。同一规格下,工船养殖和深水网箱养殖大黄鱼体长/体高显著高于通框网箱($P < 0.05$),但相同养殖模式下,仅深水网箱不同规格大黄鱼体长/体高存在差异。工船养殖大规格大黄鱼尾柄长/尾柄高(3.47)最高,通框网箱养殖的小规格大黄鱼尾柄长/尾柄高(2.91)显著低于其他大黄鱼($P < 0.05$)。综上所述,工船养殖和深水网箱大黄鱼的体型优于通框网箱。

2.2 质构分析

由表 1 可知,相同养殖模式下,不同规格大黄鱼的硬度、粘附性、弹性和胶粘性存在显性差异($P < 0.05$),对于相同规格,工船大黄鱼硬度和胶粘性显著高于另外 2 种养殖模式($P < 0.05$)。大规格工船大黄鱼硬度最高(57.04 N),粘附性(9.50 mJ)和咀嚼性(1.88 mJ)最好;大规格深水网箱大黄鱼的弹性值最高(1.49 mm),是通框网箱大黄鱼的 1.1 倍,是工船大黄鱼的 1.3 倍;小规格大黄鱼弹性值最高的为工船大黄鱼(1.46 mm),是深水网箱大黄鱼的 1.2 倍,是通框网箱大黄鱼的 1.97 倍。通框网箱大黄鱼的粘附性低于另外 2 种养殖模式,内聚性无显著差异($P > 0.05$)。综上所述,养殖工船和深水网箱能够改善大黄鱼肌肉品质,表现为口感更硬实、咀嚼性更好。

2.3 基本营养分析

不同养殖模式下不同规格大黄鱼基本营养含量如表 2 所示。不同养殖模式下相同规格大黄鱼,水分含量无显著性差异($P > 0.05$),小规格大黄鱼灰分、粗脂肪和粗蛋白含量具有显著差异($P < 0.05$),深水网箱小规格灰分含量最高(1.44%),工船大规格粗脂肪含量最低(6.34%);3 种养殖模式下大规格大黄鱼的灰分和粗蛋白均存在显著性差异($P < 0.05$),工船大规

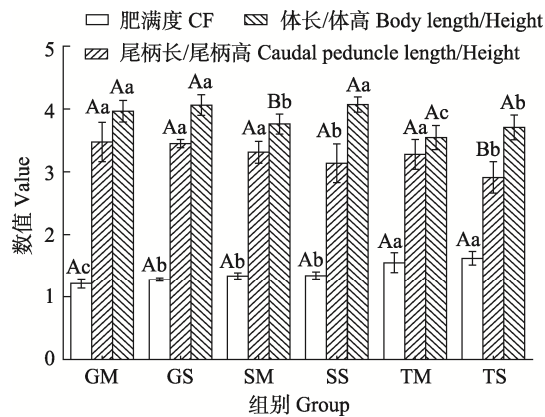


图 2 不同养殖模式不同规格大黄鱼形体特性
Fig.2 Physical characteristics of large yellow croaker in different culture modes and sizes

GM: 工船大; GS: 工船小; SM: 深水大; SS: 深水小; TM: 通框大; TS: 通框小。不同大写字母表示相同养殖模式不同规格之间有显著差异($P<0.05$), 不同小写字母表示不同养殖模式相同规格之间有显著性差异($P<0.05$)。下同。
GM: Offshore ship/Big; GS: Offshore ship/Small; SM: deep-water cage/Big; SS: deep-water cage/Small; TM: floating cage/Big; TS: floating cage/Small. Different uppercase letters represent significant difference ($P<0.05$) among different sizes in the same culture mode, while different lowercase letters represent significant difference ($P<0.05$) among different culture modes with the same size. The same below.

格灰分含量最高(1.29%), 通框大规格粗蛋白含量最高(18.88%)。不同规格相同养殖模式下, 工船和通框

网箱大黄鱼大规格水分和粗蛋白含量高于小规格, 大规格大黄鱼粗脂肪含量均低于小规格, 小规格大黄鱼的灰分含量高于大规格。对于不同养殖模式下大规格大黄鱼, 工船和深水网箱大黄鱼的粗脂肪无显著差异($P>0.05$), 且显著低于通框网箱($P<0.05$)。综上所述, 大黄鱼粗蛋白受养殖模式影响较大, 养殖模式和大小规格对粗脂肪影响较大。

2.4 氨基酸分析

3 种养殖模式下不同规格大黄鱼均检测出 18 种氨基酸。如图 3 所示, 大规格大黄鱼的脯氨酸、赖氨酸、酪氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸含量显著高于小规格大黄鱼($P<0.05$)。相同规格不同养殖模式大黄鱼苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸无显著差异($P>0.05$)。3 种养殖模式大黄鱼必需氨基酸含量占总氨基酸含量比值(EAA/TAA)为 43.32%~44.16%。必需氨基酸含量与非必需氨基酸含量比值(EAA/NEAA)为 85.94%~89.31%。如表 3 所示, 3 种养殖模式大黄鱼亮氨酸、赖氨酸、苏氨酸和苯丙氨酸+酪氨酸 ASS 均接于 1 或高于 1。以 ASS 评价标准, 3 种养殖模式小规格大黄鱼第一限制性氨基酸为异亮氨酸、大规格为蛋氨酸+胱氨酸; 以 CS 评价标准, 除通框网箱同规格大黄鱼以外, 3 种养殖模式 2 种规格大黄鱼, 其第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸。3 种养殖模式大黄鱼均属于优质蛋白来源, 且营养均衡。

表 1 不同养殖模式不同规格大黄鱼质构特性
Tab.1 Texture characteristics of large yellow croaker in different culture modes and sizes

样品 Sample	硬度 Hardness/N	粘附性 Adhesiveness/mJ	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness/mm	胶粘性 Adhesiveness/N	咀嚼性 Chewiness/mJ
GM	57.04±2.15 ^{Aa}	0.61±0.09 ^{Bb}	0.17±0.00 ^{Aa}	1.15±0.07 ^{Ab}	9.50±0.47 ^{Aa}	10.88±0.70 ^{Ab}
GS	34.11±2.31 ^{Ba}	0.77±0.06 ^{Aa}	0.21±0.01 ^{Aa}	1.46±0.14 ^{Ba}	7.01±0.64 ^{Ba}	10.18±0.34 ^{Aa}
SM	31.60±3.33 ^{Ab}	0.78±0.25 ^{Aa}	0.22±0.01 ^{Aa}	1.49±0.04 ^{Aa}	6.99±0.78 ^{Ab}	10.41±1.29 ^{Aa}
SS	22.80±1.98 ^{Bb}	0.47±0.18 ^{Bb}	0.24±0.04 ^{Aa}	1.22±0.09 ^{Bb}	5.51±0.96 ^{Bb}	6.80±1.48 ^{Bb}
TM	16.79±1.03 ^{Ac}	0.26±0.02 ^{Ac}	0.24±0.04 ^{Aa}	1.36±0.15 ^{Aa}	4.07±0.74 ^{Ac}	5.61±1.60 ^{Ac}
TS	11.26±0.91 ^{Bc}	0.21±0.08 ^{Bc}	0.26±0.02 ^{Aa}	0.74±0.06 ^{Bc}	2.92±0.37 ^{Bc}	4.97±0.60 ^{Ac}

表 2 不同养殖模式不同规格大黄鱼基本营养成分(% , 占湿重的百分比)
Tab.2 Basic nutrients of large yellow croaker in different culture modes and sizes (% , wet weight)

样品 Sample	水分 Moisture	灰分 Ash	粗脂肪 Lipid	粗蛋白 Protein
GM	73.87±0.08 ^{Aa}	1.29±0.07 ^{Aa}	6.34±0.02 ^{Bb}	16.94±0.10 ^{Ac}
GS	72.94±0.24 ^{Ba}	1.38±0.03 ^{Ab}	8.26±0.07 ^{Aa}	16.84±0.08 ^{Ac}
SM	73.20±0.57 ^{Aa}	1.11±0.02 ^{Bb}	6.35±0.31 ^{Ab}	18.23±0.24 ^{Bb}
SS	73.24±0.53 ^{Aa}	1.44±0.02 ^{Aa}	6.41±0.17 ^{Ac}	18.88±0.14 ^{Aa}
TM	73.80±0.12 ^{Ba}	0.91±0.01 ^{Bc}	7.18±0.10 ^{Aa}	18.65±0.25 ^{Aa}
TS	73.47±0.04 ^{Aa}	1.15±0.03 ^{Ac}	7.20±0.19 ^{Ab}	18.07±0.40 ^{Ab}

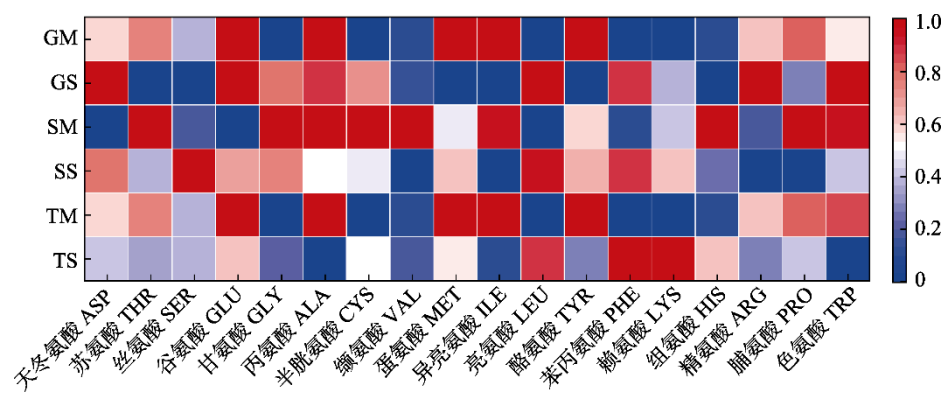


图 3 不同养殖模式不同规格大黄鱼的氨基酸热图

Fig.3 Heatmap of amino acids of large yellow croaker in different culture modes and sizes

表 3 不同养殖模式不同规格大黄鱼氨基酸的营养评价

Tab.3 Nutritional evaluation of amino acids in large yellow croaker of different culture modes and sizes

项目 Items	样品 Sample	异亮氨酸 ILE	亮氨酸 LEU	赖氨酸 MET	苏氨酸 THR	缬氨酸 VAL	蛋氨酸+胱氨酸 MET + CYS	苯丙氨酸+酪氨酸 PHE + TYR
氨基酸评分 ASS	GM	0.89	1.07	1.37	0.94	0.83	0.83	1.03
	GS	0.71	1.05	1.28	0.85	0.77	0.74	0.97
	SM	0.92	1.11	1.44	0.98	0.88	0.89	1.06
	SS	0.88	1.28	1.58	1.05	0.94	0.94	1.20
	TM	0.96	1.16	1.48	1.04	0.92	0.87	1.13
	TS	0.93	1.34	1.69	1.10	0.99	0.98	1.25
化学评分 CS	GM	0.66	0.87	1.07	0.80	0.63	0.51	0.66
	GS	0.53	0.85	1.01	0.72	0.58	0.45	0.62
	SM	0.68	0.91	1.13	0.84	0.67	0.55	0.69
	SS	0.65	1.05	1.24	0.89	0.71	0.58	0.77
	TM	0.71	0.95	1.16	0.89	0.70	0.53	0.73
	TS	0.69	1.09	1.32	0.94	0.75	0.60	0.81

2.5 脂肪酸分析

根据表 4 可知, C16:0、C16:1、C18:1n9c、C18:2n-6c 和 DHA (C22:6n-3)是 3 种养殖模式大黄鱼中含量丰富的脂肪酸。不同规格相同养殖模式之间, 工船、深水网箱和通框网箱大黄鱼 C16:0、C16:1、C18:0、SFA、C18:1n-9c、MUFA、C18:2n-6t、C18:2n-6c、C18:3n-6、C20:3n-6、EPA 和 DHA 占比有显著差异 ($P<0.05$)。不同养殖模式相同规格, 大小规格大黄鱼 C14:0、C16:0、C18:0、SFA、C16:1、C18:1n-9c、MUFA、C18:2n-6c、C18:3n-6、C18:3n-3、C20:3n-6、EPA 和 DHA 占比有显著差异($P<0.05$)。对于大规格大黄鱼, 工船大黄鱼 C16:0 占比最高, PUFA 占比从大到小依次为通框网箱、深水网箱、养殖工船。小规格大黄鱼中, 深水网箱大黄鱼 PUFA 占比最高。3 种养殖模式中, 工船养殖大黄鱼 EPA 显著高于另外 2 种养殖模

式。3 种养殖模式中, 大规格大黄鱼 TI 以通框网箱最高(0.65), 其次是工船(0.59); 小规格大黄鱼中, 通框网箱 AI 值最高(0.70)。相同养殖模式下, 工船和深水网箱大黄鱼 2 种规格 AI 值无显著差异($P>0.05$)。综上所述, 相比于通框网箱, 深水网箱和工船养殖大黄鱼具有更高的营养价值。

2.6 核苷酸分析

如表 5 所示, 相同养殖模式下, 2 种规格大黄鱼 IMP、AMP、ADP、HXR 和 HX 含量均具有显著性差异($P<0.05$), 大规格大黄鱼的 IMP 含量高于小规格。大规格深水网箱养殖大黄鱼 IMP 含量最高(341.54 mg/100 g), 小规格通框网箱大黄鱼 IMP 含量最低(281.98 mg/100 g)。不同养殖模式下, 小规格大黄鱼 IMP、AMP、ATP、ADP、HXR 和 HX 均存在差异($P<0.05$), 大规格大黄鱼 AMP、ADP、HXR 含量无显著性差异($P>0.05$)。

表 4 不同养殖模式不同规格脂肪酸组成/%
Tab.4 Fatty acid compositions of different culture modes and sizes/%

脂肪酸 Fatty acids	GM	GS	SM	SS	TM	TS
癸酸 C10:0	0.01±0.00 ^{Aa}	0.02±0.00 ^{Aa}	0.01±0.00 ^{Aa}	0.01±0.00 ^{Aa}	0.01±0.00 ^{Aa}	0.01±0.01 ^{Aa}
月桂酸 C12:0	0.06±0.01 ^{Aa}	0.07±0.01 ^{Aa}	0.06±0.00 ^{Aa}	0.06±0.00 ^{Aa}	0.08±0.00 ^{Aa}	0.08±0.00 ^{Aa}
十三烷酸 C13:0	0.03±0.00 ^{Aa}	0.03±0.00 ^{Aa}	0.03±0.00 ^{Aa}	0.03±0.01 ^{Aa}	0.02±0.00 ^{Aa}	0.03±0.01 ^{Aa}
肉豆蔻酸 C14:0	2.75±0.04 ^{Ab}	3.02±0.04 ^{Bb}	2.88±0.01 ^{Aa}	2.91±0.01 ^{Aa}	2.12±0.01 ^{Ac}	3.05±0.01 ^{Bc}
十五烷酸 C15:0	0.40±0.01 ^{Aa}	0.43±0.01 ^{Aa}	0.33±0.03 ^{Aa}	0.39±0.00 ^{Ba}	0.29±0.00 ^{Aa}	0.49±0.00 ^{Ba}
棕榈酸 C16:0	29.68±0.05 ^{Aa}	28.34±0.05 ^{Bb}	28.56±0.00 ^{Ab}	27.26±0.03 ^{Ba}	24.82±0.02 ^{Bc}	29.67±0.04 ^{Ac}
十七烷酸 C17:0	0.52±0.01 ^{Aa}	0.54±0.02 ^{Aa}	0.55±0.03 ^{Aa}	0.56±0.00 ^{Aa}	0.46±0.05 ^{Ba}	0.69±0.00 ^{Aa}
硬脂酸 C18:0	5.06±0.01 ^{Ab}	5.71±0.01 ^{Bb}	4.95±0.00 ^{Ac}	5.67±0.01 ^{Bc}	5.61±0.01 ^{Aa}	5.91±0.01 ^{Ba}
花生酸 C20:0	0.07±0.01 ^{Ab}	0.12±0.01 ^{Aa}	0.09±0.00 ^{Ab}	0.11±0.03 ^{Aa}	0.19±0.00 ^{Aa}	0.1±0.00 ^{Ba}
二十一碳酸 C21:0	0.16±0.11 ^{Ab}	0.23±0.11 ^{Aa}	0.27±0.01 ^{Ab}	0.29±0.01 ^{Aa}	0.43±0.00 ^{Aa}	0.25±0.00 ^{Ba}
山嵛酸 C22:0	0.46±0.59 ^{Ab}	0.11±0.59 ^{Aa}	0.12±0.01 ^{Ab}	0.11±0.00 ^{Aa}	0.18±0.01 ^{Aa}	0.11±0.01 ^{Ba}
二十三碳酸 C23:0	0.07±0.02 ^{Aa}	0.08±0.02 ^{Aa}	0.01±0.00 ^{Bb}	0.05±0.00 ^{Aa}	0.05±0.01 ^{Aa}	0.03±0.05 ^{Aa}
二十四烷酸 C24:0	0.08±0.01 ^{Aa}	0.06±0.01 ^{Ba}	0.07±0.02 ^{Aa}	0.06±0.01 ^{Aa}	0.01±0.01 ^{Ab}	0.08±0.14 ^{Aa}
总饱和脂肪酸ΣSFA	39.35±0.54 ^{Aa}	38.76±0.54 ^{Bb}	37.92±0.01 ^{Ab}	37.51±0.02 ^{Bc}	34.29±0.02 ^{Bc}	40.49±0.07 ^{Aa}
肉豆蔻稀酸 C14:1	0.18±0.01 ^{Aa}	0.18±0.01 ^{Aa}	0.17±0.00 ^{Aa}	0.15±0.01 ^{Ab}	0.12±0.00 ^{Bb}	0.18±0.00 ^{Aa}
顺-10-十五烯酸 C15:1	0.08±0.01 ^{Ab}	0.08±0.01 ^{Aa}	0.07±0.01 ^{Ab}	0.07±0.00 ^{Aa}	0.05±0.00 ^{Ba}	0.09±0.01 ^{Aa}
棕榈油酸 C16:1	11.36±0.02 ^{Aa}	10.48±0.02 ^{Ba}	10.36±0.00 ^{Ab}	9.20±0.01 ^{Bc}	6.42±0.01 ^{Ac}	9.33±0.02 ^{Bb}
顺-10-十七烯酸 C17:1	0.55±0.05 ^{Aa}	0.61±0.05 ^{Aa}	0.50±0.01 ^{Aa}	0.52±0.00 ^{Ac}	0.36±0.03 ^{Bb}	0.55±0.02 ^{Ab}
反油酸 C18:1n-9t	0.16±0.06 ^{Ab}	0.14±0.06 ^{Aa}	0.73±0.07 ^{Aa}	0.2±0.00 ^{Bb}	0.11±0.01 ^{Bb}	0.15±0.00 ^{Ac}
油酸 C18:1n-9c	26.03±0.03 ^{Bb}	26.39±0.03 ^{Aa}	24.44±0.05 ^{Bc}	26.24±0.01 ^{Ab}	26.83±0.01 ^{Aa}	23.6±0.03 ^{Bc}
芥酸 C22:1n-9	0.05±0.00 ^{Ab}	0.06±0.01 ^{Aa}	0.04±0.00 ^{Bb}	0.08±0.01 ^{Aa}	0.07±0.01 ^{Aa}	0.07±0.01 ^{Aa}
顺-11-二十碳烯酸 C20:1	0.25±0.01 ^{Ba}	0.30±0.01 ^{Ab}	0.26±0.01 ^{Aa}	0.26±0.00 ^{Ac}	0.24±0.00 ^{Ba}	0.32±0.01 ^{Aa}
总单不饱和脂肪酸ΣMUFA	38.66±0.08 ^{Aa}	38.23±0.1 ^{Ba}	36.55±0.03 ^{Bb}	36.72±0.01 ^{Ab}	34.21±0.01 ^{Bc}	34.29±0.06 ^{Ac}
反亚油酸 C18:2n-6t	0.10±0.01 ^{Aa}	0.10±0.02 ^{Aa}	0.05±0.00 ^{Ab}	0.09±0.00 ^{Ba}	0.05±0.01 ^{Bb}	0.08±0.01 ^{Aa}
亚油酸 C18:2n-6c	6.91±0.04 ^{Ac}	6.66±0.04 ^{Bc}	9.71±0.01 ^{Bb}	10.15±0.01 ^{Aa}	21.78±0.01 ^{Aa}	7.74±0.02 ^{Bb}
γ-亚麻酸 C18:3n-6	0.80±0.01 ^{Ac}	0.74±0.01 ^{Bc}	1.05±0.01 ^{Aa}	1.10±0.02 ^{Aa}	1.97±0.00 ^{Ab}	1.07±0.00 ^{Bb}
α-亚麻酸 C18:3n-3	0.99±0.01 ^{Bb}	1.08±0.00 ^{Aa}	1.55±0.00 ^{Aa}	1.13±0.02 ^{Ba}	0.84±0.03 ^{Ac}	0.87±0.01 ^{Ab}
顺,顺-11,14-二十碳二烯酸 C20:2	0.07±0.04 ^{Aa}	0.03±0.04 ^{Aa}	0.04±0.01 ^{Aa}	0.05±0.00 ^{Aa}	0.05±0.02 ^{Aa}	0.04±0.03 ^{Aa}
顺-8,11,14-二十碳三烯酸 C20:3n-6	1.09±0.03 ^{Ba}	1.23±0.03 ^{Aa}	0.93±0.01 ^{Bb}	0.98±0.01 ^{Ac}	0.65±0.01 ^{Bc}	1.13±0.01 ^{Ab}
顺-11,14,17-二十碳三烯酸 C20:3n-3	2.10±0.22 ^{Aa}	2.54±0.03 ^{Ab}	2.04±0.01 ^{Ab}	2.55±0.02 ^{Ab}	1.37±0.02 ^{Bc}	3.06±0.04 ^{Aa}
二十碳五烯酸 C20:5n-3	1.25±0.01 ^{Ba}	1.47±0.01 ^{Aa}	0.94±0.00 ^{Bb}	1.04±0.01 ^{Ac}	0.58±0.01 ^{Bc}	1.14±0.01 ^{Ab}
花生四烯酸 C20:4n-6	0.65±0.21 ^{Aa}	0.31±0.02 ^{Ab}	0.50±0.02 ^{Aa}	0.27±0.02 ^{Bb}	0.17±0.02 ^{Bb}	0.34±0.03 ^{Aa}
二十碳六烯酸 C22:6n-3	8.37±0.03 ^{Ba}	8.91±0.03 ^{Ab}	8.66±0.00 ^{Aa}	8.39±0.01 ^{Bc}	4.04±0.01 ^{Bb}	9.73±0.01 ^{Aa}
总多不饱和脂肪酸ΣPUFA	22.34±0.09 ^{Bc}	23.07±0.02 ^{Ac}	25.46±0.11 ^{Bb}	25.75±0.03 ^{Aa}	31.49±0.02 ^{Aa}	25.21±0.04 ^{Bb}
动脉粥样化指数 AI	0.67±0.00 ^{Aa}	0.66±0.01 ^{Ab}	0.64±0.01 ^{Ab}	0.62±0.01 ^{Ac}	0.51±0.12 ^{Bc}	0.70±0.00 ^{Aa}
血栓形成指数 TI	0.59±0.00 ^{Ab}	0.58±0.00 ^{Ba}	0.56±0.00 ^{Ac}	0.55±0.00 ^{Ab}	0.65±0.02 ^{Aa}	0.57±0.01 ^{Ba}

2.7 滋味轮廓分析

如图 4 所示,相同规格不同养殖模式,工船大黄鱼 2 种规格的鲜味和苦味显著高于通框网箱和深水网箱大黄鱼($P<0.05$);深水网箱大黄鱼 2 种规格的丰富度和咸度显著高于另外 2 种养殖模式($P<0.05$),且大规格大黄鱼的丰富度高于小规格大黄鱼。对于大规格,深水网箱大黄鱼甜味值最高(4.27),其次是工船

大黄鱼;工船大黄鱼的苦味最高(9.51),与另外 2 种养殖模式存在显著性差异($P<0.05$)。相同养殖模式不同规格,大规格大黄鱼的苦味、涩味、苦味回味、鲜味和甜味高于小规格,咸味和涩味回味无显著性差异($P>0.05$)。综上所述,不同养殖模式相同规格大黄鱼肌肉对滋味轮廓均有影响,其中养殖模式对苦味、鲜味、涩味回味、丰富度和甜味影响显著($P<0.05$),而大小规格对甜味和苦味影响较大。

表 5 不同养殖模式不同规格大黄鱼核苷酸/(mg/100 g)
Tab.5 Flavor nucleotides of large yellow croaker with different culture modes and sizes/(mg/100 g)

样品 Samples	肌苷酸 IMP	腺苷酸 AMP	三磷酸腺苷 ATP	二磷酸腺苷 ADP	次黄嘌呤核苷 HXR	次黄嘌呤 HX
GM	329.65±0.88 ^{Ab}	0.50±0.13 ^{Ba}	0.12±0.00 ^{Bb}	24.95±1.59 ^{Aa}	7.25±1.61 ^{Aa}	0.35±0.10 ^{Ab}
GS	291.34±0.10 ^{Bb}	4.61±0.09 ^{Aa}	3.05±0.02 ^{Aa}	11.58±0.14 ^{Bc}	6.41±0.03 ^{Bc}	0.17±0.01 ^{Bc}
SM	341.54±1.24 ^{Aa}	0.56±0.02 ^{Ba}	0.12±0.00 ^{Bb}	25.95±0.17 ^{Aa}	6.33±0.02 ^{Aa}	0.4±0.01 ^{Ba}
SS	314.55±0.23 ^{Ba}	2.65±0.15 ^{Ab}	1.72±0.05 ^{Ab}	16.52±0.20 ^{Bb}	5.72±0.02 ^{Bb}	0.64±0.00 ^{Ab}
TM	333.33±2.09 ^{Ab}	0.64±0.02 ^{Aa}	0.14±0.01 ^{Aa}	26.00±0.59 ^{Aa}	7.73±0.04 ^{Ba}	0.24±0.01 ^{Bb}
TS	281.98±1.29 ^{Bc}	0.51±0.02 ^{Bc}	0.17±0.02 ^{Ac}	20.56±0.36 ^{Ba}	8.90±0.04 ^{Aa}	0.82±0.00 ^{Aa}

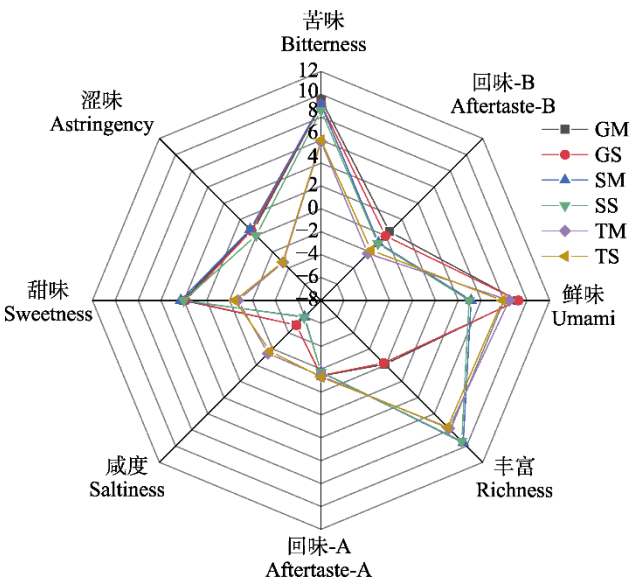


图 4 不同养殖模式不同规格大黄鱼的滋味轮廓
Fig.4 Taste profile of large yellow croaker with different culture modes and sizes

2.8 挥发性气味分析

如图 5 所示，大黄鱼中共鉴定出 29 中挥发性物质(单倍体和二聚体)，包括 5 种醛类、9 种酮类、5 种醇类、5 种酯类、5 种其他化合物。其中，通框网箱小规格大黄鱼挥发性物质种类较多，其次是深水网箱小规格大黄鱼。与深水网箱和通框网箱大黄鱼相比较，工船养殖大黄鱼 2-甲基丁醛、异亚丙基丙酮、丙酮和乙酸甲酯含量较少。相同规格不同养殖模式大黄鱼，工船养殖大黄鱼异戊醛、丁醛、环戊酮、2-丁醇、丙烯酸乙酯、甲酸乙酯、1-辛烯含量高于另外 2 种养殖大黄鱼。对于小规格大黄鱼，通框网箱大黄鱼的 2-甲基丙醛、异亚丙基丙酮、丙酮、丙醇、乙酸甲酯含量高于深水网箱和工船养殖；深水网箱大黄鱼甲酸乙酯含量高于另外 2 种养殖模式大黄鱼。对于相同养殖模式下不同规格大黄鱼来说，3 种养殖模式小规格大黄鱼异戊醛、2-丁酮和丙烯酸乙酯含量高于大规格大

黄鱼。综上，不同养殖模式大黄鱼肌肉挥发性物质种类和含量均存在差异，而大小规格的差异主要体现在含量上。

2.9 养殖大黄鱼肌肉营养指标的 OPLS-DA 分析

对 3 种养殖模式不同规格大黄鱼的肌肉指标，包括基本营养、氨基酸、脂肪酸、呈味核苷酸、滋味轮廓、挥发性气味进行 OPLS-DA 分析，由图 6 可知，同一规格下，不同养殖模式大黄鱼品质存在明显区分。

根据标量权重值>1.1 的标准对大黄鱼各项指标进行筛选。结果显示，相同养殖模式下，大规格大黄鱼 17 种指标 VIP 值>1.1，小规格大黄鱼 31 种指标 VIP 值>1.1。不同养殖模式，2 种规格共有的指标有 8 种，包括反油酸、2-丁醇-M、丁醛-M、鲜味、涩味回味、丰富度、蛋氨酸和半胱氨酸。综上所述，这些指标对评判 3 种养殖模式大黄鱼具有重要作用。

3 讨论

体形修长的大黄鱼更受消费者喜爱，肥满度越小，表示鱼体体形越好，体长/体高和尾柄长/尾柄高越高，表示体形越修长。Ma 等(2020)研究发现，与野生鱼相比，养殖鱼活动空间有限，能量摄取较高，体力活动较少，粗脂肪积累较多，导致肥满度较高。研究表明，跑道养殖的鱼，运动量大，脂肪的积累较少，导致肥满度较低(韦毓等, 2024)。工船养殖内设循环水系统，大黄鱼在稳定流场条件下，能够保持游动(Yu *et al*, 2023)，深水网箱养殖大黄鱼活动空间大，水体交换能力较强(程世琪等, 2022)，因此，工船和深水网箱 2 种养殖模式不利于脂肪的积累，鱼体体形更好。谢全森等(2019)研究发现，不同规格拟鳗副鳅(*Paracobitis anguillioides*)的肥满度随体重的增加呈下降趋势，与本研究结果相似。综上所述，深水网箱和工船养殖等新兴养殖模式能改善大黄鱼的体形。

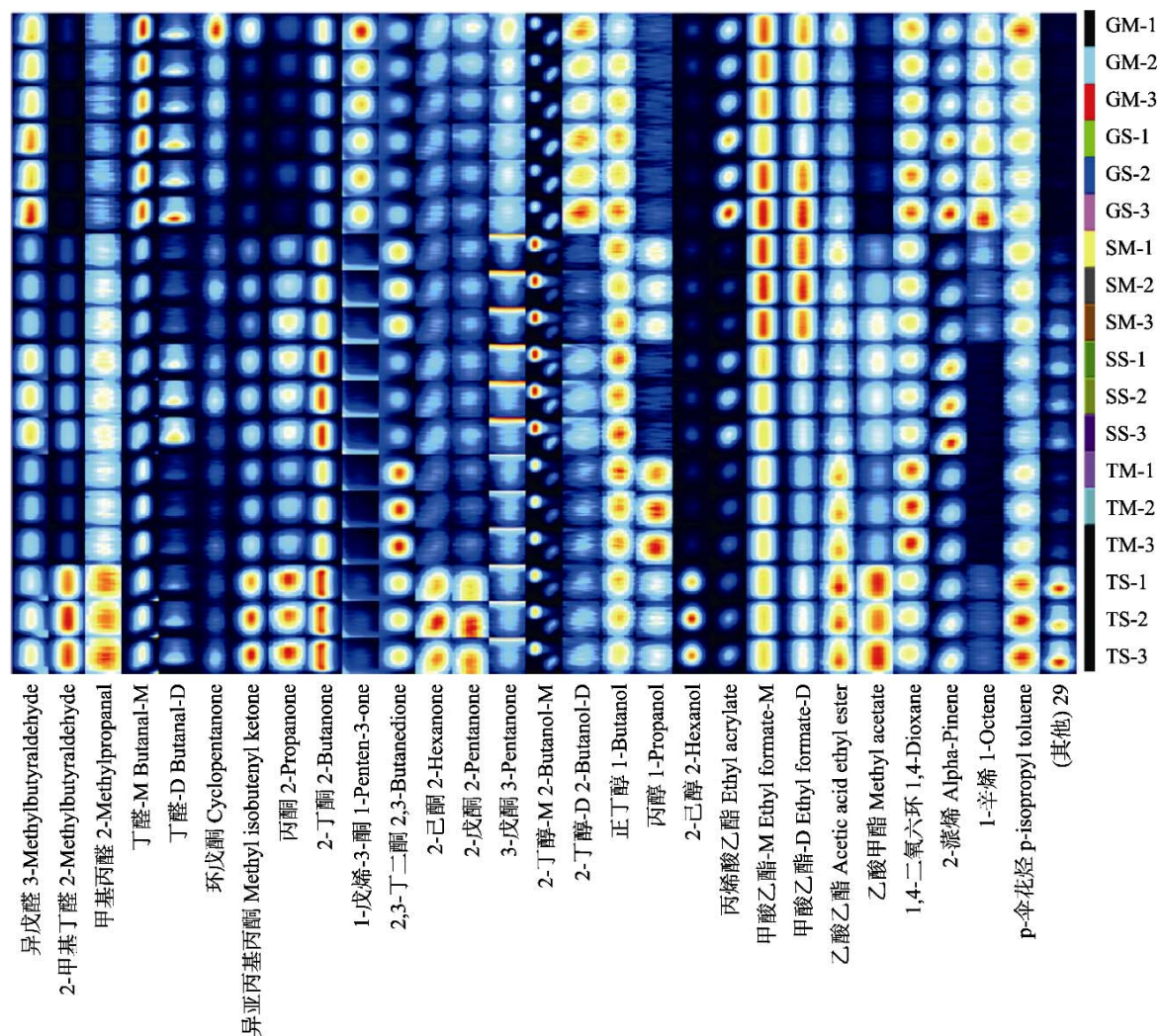


图 5 不同养殖模式不同规格大黄鱼挥发性气味物质指纹图谱

Fig.5 Volatile substances fingerprint of large yellow croaker with different culture modes and sizes

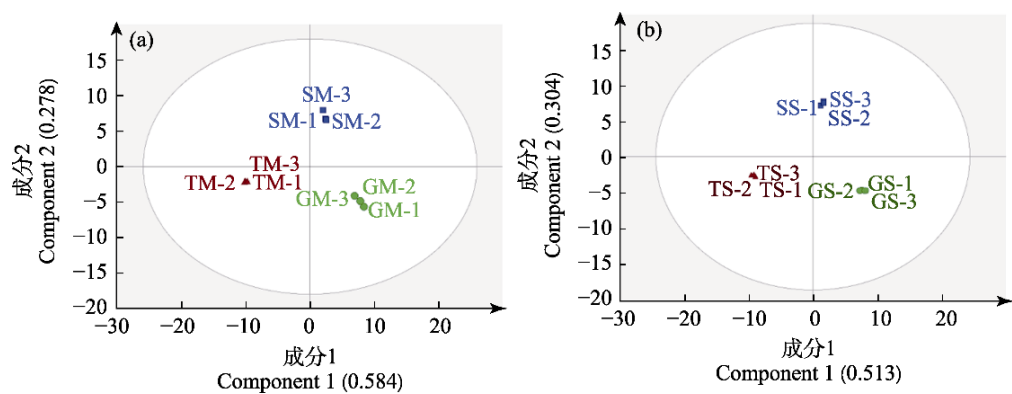


图 6 不同养殖模式大规格(a)和小规格(b)大黄鱼品质 OPLS-DA 判别分析

Fig.6 OPLS-DA analysis of large yellow croaker with different culture modes in large size (a) and small size (b).

对于大黄鱼而言，消费者更倾向弹性高、咀嚼性好的鱼肉，福建省地方标准《养殖大黄鱼等级规格》(DB35/T 2148-2023)和宁德市地方标准《养殖大黄鱼等级评定技术规范》(DB 3509/T 002-2022)均将大黄鱼肌肉弹性作为质量分级的重要指标之一。研究表明，鱼类质构与肌肉中肌纤维结构和脂肪含量有关(Listrat et al, 2016)。鱼类的持续运动，能够增加肌纤维密度，从而使鱼肉具有较好的硬度和咀嚼性

(Harimana *et al*, 2019; Li *et al*, 2016)。Li 等(2016)研究发现,中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)的持续游泳对硬度、弹性和咀嚼性有所改善。鉴于工船养殖和深水网箱为养殖大黄鱼提供了更大的活动空间,且工船养殖中循环水能够促进大黄鱼的持续游动,因此,大黄鱼肌肉的硬度和咀嚼性等的增加可能是由大黄鱼活动能力增加导致的。

大黄鱼基本营养成分中,粗脂肪含量是评价大黄鱼质量的重要指标。刘胜男等(2022)关于玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)的研究结果表明,小规格玉筋鱼粗脂肪高于大规格,与本研究结果相似。鱼体肌肉营养组成易受饵料组成的影响(Wei *et al*, 2020)。鱼体内脂类物质常用于能量的供应(Yuan *et al*, 2019),因此,鱼体运动量增加会降低鱼肉中脂肪含量(Jia *et al*, 2022)。本研究中,工船养殖配合饲料中粗脂肪含量较高,但工船养殖舱内水体处于流动状态,大黄鱼在舱内持续游动,不利于脂肪的积累。深水网箱下鱼活动范围更大、运动量增加导致脂肪含量不高。深水网箱和通框网箱大黄鱼粗蛋白含量高于工船养殖,可能是由于深水网箱和通框网箱大黄鱼饲喂冰鲜野杂鱼,饵料中氨基酸营养更加均衡、更利用消化吸收。

当EAA/TAA和EAA/NEAA的比值分别高于40%和60%时,可被定义为理想蛋白质。由此可知,3种养殖模式2种规格大黄鱼均属于优质蛋白来源。与FAO/WHO相比,3种养殖模式大黄鱼的亮氨酸、赖氨酸含量均大于FAO/WHO值,通框网箱和深水网箱大黄鱼的苯丙氨酸+酪氨酸和苏氨酸均大于FAO/WHO。与鸡蛋蛋白相比,3种养殖模式大黄鱼的赖氨酸含量均大于鸡蛋蛋白。氨基酸是组成蛋白质最重要的营养物质之一,氨基酸评分用于评估蛋白质的质量。3种养殖模式大黄鱼肌肉中必需氨基酸含量大部分符合FAO/WHO要求。

Mu 等(2021)研究表明,大黄鱼肌肉中含量最高的脂肪酸是C16:0和C18:1n-9c,与本研究结果相似。相比于其他养殖模式,工船养殖大黄鱼的肌肉中C18:2n-6含量最低,研究表明,过量食用C18:2n-6,会增加心脏疾病的发生(Leaf, 2001),因此,食用工船养殖大黄鱼可降低心脏疾病发生的风险。不饱和脂肪酸在降低血液粘稠度、促进生长和调节血脂等方面发挥重要的生理作用,多不饱和脂肪酸可为人体提供必不可少的营养成分,多不饱和脂肪酸中EPA和DHA具有提高学习能力、促进大脑发育和增强免疫能力的作用(杨敏等, 2019),同时还能降低高血压、减少动脉粥样硬化及癌症等疾病的发生风险(Kim *et al*, 2020;

Tojo *et al*, 2022; 刘龙龙等, 2024)。本研究深水网箱和工船养殖大规格大黄鱼的EPA和DHA含量显著高于通框网箱同规格大黄鱼,表明深水网箱和工船养殖大黄鱼比通框网箱养殖大黄鱼具有更高的营养价值。

鱼肉中的对滋味具有贡献的核苷酸主要包括腺嘌呤单磷酸(AMP)、次黄嘌呤核苷酸(IMP)和次黄嘌呤(Hx)。活鱼肌肉中ATP比较有优势,在鱼死亡后会降解为ADP、AMP、IMP等关联物。而这些关联物对鱼的风味有一定的影响,有研究表明,大黄鱼肌肉中含量最高的核苷酸是IMP(周纷等, 2019)。当核苷酸的滋味活性值(taste activity value, TAV)大于1,表明该核苷酸对滋味具有贡献。周聃等(2024)对虾肉中核苷酸测定发现,对虾肉滋味贡献最大的是IMP,而其他核苷酸含量较少,对滋味贡献不大。本研究中,不同养殖模式大黄鱼肌肉中仅IMP的TAV值>1,表明大黄鱼肌肉中IMP是滋味的主要贡献核苷酸。不同养殖模式之间大黄鱼的IMP含量无明显变化规律。除核苷酸外,游离氨基酸、有机酸、有机碱、无机盐和矿物质等均会影响水产品的滋味。电子舌是分析大黄鱼滋味的重要仪器。李鹏鹏等(2023)研究表明,不同养殖模式下克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)游离氨基酸含量存在差异,导致滋味存在差异。Duan 等(2020)通过电子舌检测不同规格虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)的味道存在差异,与本研究结果相似。上述滋味的差异可作为区分不同养殖模式大黄鱼的重要指标。

对于挥发性气味,醛类和酮类对水产品风味有重要影响,新鲜鱼醇类化合物散发令人愉快的气味(Duan *et al*, 2020; 张渤函等, 2022)。由于养殖环境、养殖密度、水质、饲料和运输方式等有差异,不同养殖模式的鱼类挥发性气味物质常存在差异(庄小妹等, 2023)。本研究中,3种养殖模式下大黄鱼共有化合物中酮类比较多,主要表现为水果味和奶油味等味道(韦毓等, 2024)。食物中挥发性气味物质的产生与脂质氧化密切相关(Luo *et al*, 2022),通框网箱养殖大黄鱼中相对较高含量的脂肪可能与其丰富的挥发性风味物质相关。相比于另外2种养殖模式,通框网箱大黄鱼呈现黄油味、蜂蜜味、薄荷味等令人愉快的气味。而工船养殖大黄鱼呈现果香味。3种养殖模式下小规格大黄鱼相比于大规格大黄鱼,呈现刺激果香味、脂肪味、杏仁味和薄荷味等芳香气味。研究表明,不同产地进口三文鱼挥发性物质种类和含量存在差异,通过产地实现了对三文鱼的区分(赵勇等, 2020)。本研究中,3种养殖模式大黄鱼挥发性物质存在显著差异,

说明通过 CG-IMS 分析挥发性物质对区分不同养殖模式大黄鱼有一定帮助。

4 结论

综合来看,通过对3种养殖模式不同规格大黄鱼的感官、营养和风味分析,发现3种养殖模式下不同规格大黄鱼品质存在差异。工船养殖和深水网箱等新兴养殖模式能提高大黄鱼体形、质构和滋味。根据正交偏最小二乘判别分析和标量权重值>1.1的标准,对相同规格不同养殖模式大黄鱼特征指标分别进行筛选,结果表明,反油酸、2-丁醇-M、丁醛-M、鲜味、涩味回味、丰富度、蛋氨酸和半胱氨酸是判别3种养殖模式大黄鱼的重要指标。

参 考 文 献

- CAI L J. Optimization of fry technology of ready-to-eat loach and changes of volatile odor substances. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2022 [蔡丽君. 即食泥鳅油炸工艺优化及挥发性气味物质变化规律. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2022]
- CAI L, WEI Z H, TANG T, *et al.* Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds in muscle of *Culter alburnus* cultivated in in-pond "raceway" aquaculture system and traditional pond. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(10): 1621–1633 [蔡丽, 魏泽宏, 唐涛, 等. 池塘内循环水“跑道”养殖与池塘传统养殖翘嘴鲌肌肉营养成分和挥发性风味物质的比较. *水产学报*, 2021, 45(10): 1621–1633]
- CHEN D J, ZHANG M G, NIE X B, *et al.* Quality detection of turbot (*Scophthalmus maximus*) treated with electrostatic field using gas chromatography-ion mobility spectrometry. *Food Science*, 2019, 40(24): 313–319 [陈东杰, 张明岗, 聂小宝, 等. 基于气相离子迁移谱检测静电场处理的大菱鲆品质. *食品科学*, 2019, 40(24): 313–319]
- CHENG S Q, SHI J G, YUAN R, *et al.* Current situation and future development direction of marine cage in China. *Fisheries Science & Technology Information*, 2022, 49(6): 369–376, 380 [程世琪, 石建高, 袁瑞, 等. 中国海水网箱的产业发展现状与未来发展方向. *水产科技情报*, 2022, 49(6): 369–376, 380]
- DAVIES I P, CARRANZA V, FROEHLICH H E, *et al.* Governance of marine aquaculture: Pitfalls, potential, and pathways forward. *Marine Policy*, 2019, 104: 29–36
- DI TRAPANI A M, SGROI F, TESTA R, *et al.* Economic comparison between offshore and inshore aquaculture production systems of European sea bass in Italy. *Aquaculture*, 2014, 434: 334–339
- DUAN Z L, ZHOU Y G, LIU W J, *et al.* Variations in flavor according to fish size in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 2020, 526: 735398
- HARIMANA Y, TANG X, XU P, *et al.* Effect of long-term moderate exercise on muscle cellularity and texture, antioxidant activities, tissue composition, freshness indicators and flavor characteristics in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture*, 2019, 510: 100–108
- HUANG X L, ZHENG R, YANG J G, *et al.* Nutritional analysis and safety evaluation of different specifications of *Myxocyprinus asiaticus*. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(7): 72–78 [黄小兰, 郑容, 杨家贵, 等. 不同规格胭脂鱼的营养成分分析和安全性评价. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(7): 72–78]
- JIA S P, WANG L, ZHANG J M, *et al.* Comparative study on the morphological characteristics and nutritional quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) cultured in an aquaculture system using land-based container with recycling water and a traditional pond system. *Aquaculture*, 2022, 549: 737721
- KIM Y, KIM J. Intake or blood levels of n-3 polyunsaturated fatty acids and risk of colorectal cancer: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 2020, 29(2): 288–299
- LEAF A. Plasma nonesterified fatty acid concentration as a risk factor for sudden cardiac death: The Paris Prospective Study. *Circulation*, 2001, 104(7): 744–745
- LI P P, WEN L M, LÜ J X, *et al.* Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids in crayfish (*Procambarus clarkii*) from different co-culture modes. *Food Science*, 2023, 44(16): 284–291 [李鹏鹏, 温丽敏, 吕经秀, 等. 不同养殖模式克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 游离氨基酸的主成分分析及综合评价. *食品科学*, 2023, 44(16): 284–291]
- LI X M, YUAN J M, FU S J, *et al.* The effect of sustained swimming exercise on the growth performance, muscle cellularity and flesh quality of juvenile qingbo (*Spinibarbus sinensis*). *Aquaculture*, 2016, 465: 287–295
- LI X Q, LI B A, CHEN N S, *et al.* A comparison study on flesh quality of large yellow croaker (*Larimichthys croceus*) cultured with three different modes. *Journal of Ocean University of China*, 2017, 16(6): 1187–1194
- LISTRAT A, LEBRET B, LOUVEAU I, *et al.* How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, 2016, 2016(1): 3182746
- LIU L L, LUO M, LIU H T, *et al.* Analysis and evaluation of the muscle nutrition of different sizes of wild yellow fin tuna (*Thunnus albacares*). *Progress in Fishery Sciences*, 2024, 45(3): 258–267 [刘龙龙, 罗鸣, 刘洪涛, 等. 不同规格野生黄鳍金枪鱼肌肉营养分析与评价. *渔业科学进展*, 2024, 45(3): 258–267]
- LIU S N, WANG S Y, CAO R, *et al.* Nutritional composition analysis and quality evaluation of different sizes of *Ammodytes personatus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(1): 188–194 [刘胜男, 王善宇, 曹荣, 等. 不同规格玉

- 筋鱼的营养分析与评价. 渔业科学进展, 2022, 43(1): 188–194]
- LONG L N, LIU H, CUI M C, *et al.* Offshore aquaculture in China. Reviews in Aquaculture, 2024, 16(1): 254–270
- LUO X Y, XIAO S T, RUAN Q F, *et al.* Differences in flavor characteristics of frozen surimi products reheated by microwave, water boiling, steaming, and frying. Food Chemistry, 2022, 372: 131260
- MA R, MENG Y Q, ZHANG W B, *et al.* Comparative study on the organoleptic quality of wild and farmed large yellow croaker *Larimichthys crocea*. Journal of Oceanology and Limnology, 2020, 38(1): 260–274
- MU H, LI J, PAN X Y, *et al.* Alterations in fatty acid composition and volatile compounds in muscle of large yellow croaker *Larimichthys crocea* fed different dietary lipid sources. Aquaculture Reports, 2021, 20: 100688
- OZTEKIN A, YIGIT M, KIZILKAYA B, *et al.* Nutritional quality of amino acid in farmed, farm-aggregated and wild axillary seabream (*Pagellus acarne*) with implications to human health. Aquaculture Research, 2020, 51(5): 1844–1853
- SHI Y Z, GUO Q Y, ZHENG Y, *et al.* Quality evaluation and grading of *Pseudosciaena crocea* cultured in different aquaculture modes and circulated under different conditions. Food Science, 2022, 43(13): 184–191 [石钰琢, 郭全友, 郑尧, 等. 不同养殖模式及流通方式的大黄鱼品质评价和等级判定. 食品科学, 2022, 43(13): 184–191]
- SONG J, WANG L F, YAO Y P, *et al.* Determination of tryptophan in feed by microwave hydrolysis and amino acid automatic analyzer. Animal Husbandry and Feed Science, 2021, 42(2): 19–25 [宋洁, 王丽芳, 姚一萍, 等. 微波水解—氨基酸自动分析仪法测定饲料中色氨酸的含量. 畜牧与饲料科学, 2021, 42(2): 19–25]
- TOJO T, TSURUOKA M, KONDO T, *et al.* Evaluation of cancer cell growth suppressibility of ω -3 fatty acids and their metabolites. Journal of Oleo Science, 2022, 71(8): 1253–1260
- TU T, WU W D, TANG X Y, *et al.* Screening out important substances for distinguishing Chinese indigenous pork and hybrid pork and identifying different pork muscles by analyzing the fatty acid and nucleotide contents. Food Chemistry, 2021, 350: 129219
- WEI Y, WENG X D, YU J, *et al.* Study on the effects of different culture modes on the nutritional quality and characteristic flavor of *Carassius auratus*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2024, 55(1): 243–252 [韦毓, 翁旭东, 于瑾, 等. 不同养殖模式对鲫鱼(*Carassius auratus*)营养品质及特征风味的影响研究. 海洋与湖沼, 2024, 55(1): 243–252]
- WEI Z H, DENG K Y, ZHANG W B, *et al.* Interactions of dietary vitamin C and proline on growth performance, anti-oxidative capacity and muscle quality of large yellow croaker *Larimichthys crocea*. Aquaculture, 2020, 528: 735558
- XIE Q S, LIU Y R, YE J, *et al.* Comparison of nutritional ingredients of *Paracoptis anguillioides* in three different sizes. Journal of Hebei Normal University (Natural Science), 2019, 43(6): 518–525 [谢全森, 刘艺冉, 叶嘉, 等. 不同规格生态型拟鳗副鳅营养成分比较. 河北师范大学学报(自然科学版), 2019, 43(6): 518–525]
- YANG M, WEI B, MENG J, *et al.* Progress in sources and physiological function of ω -3 polyunsaturated fatty acids. China Oils and Fats, 2019, 44(10): 110–115 [杨敏, 魏冰, 孟橘, 等. ω -3 多不饱和脂肪酸的来源及生理功能研究进展. 中国油脂, 2019, 44(10): 110–115]
- YU Y B, HUANG W Y, YIN F, *et al.* Aquaculture in an offshore ship: An on-site test of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). Journal of Marine Science and Engineering, 2023, 11(1): 101
- YUAN J L, NI M, LIU M, *et al.* Analysis of the growth performances, muscle quality, blood biochemistry and antioxidant status of *Micropterus salmoides* farmed in in-pond raceway systems versus usual-pond systems. Aquaculture, 2019, 511: 734241
- ZHANG B H, LI X P, LI J R, *et al.* Construction of freshness prediction model for refrigerated large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) based on the characteristic volatile compounds. Journal of Bohai University (Natural Science), 2022, 43(2): 140–154 [张渤函, 李学鹏, 励建荣, 等. 基于特征挥发性气味物质的冷藏大黄鱼新鲜度预测模型构建. 渤海大学学报(自然科学版), 2022, 43(2): 140–154]
- ZHAO Y, JIANG D F, ZHU K W, *et al.* Study on the characteristics of volatile flavor components of imported salmon from different habitats. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(3): 734–744 [赵勇, 蒋东丰, 朱克卫, 等. 不同产地进口三文鱼挥发风味物质组成特征研究. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(3): 734–744]
- ZHOU D, LIU M, FANG W P, *et al.* Comparative study on nutritional quality of *Macrobrachium rosenbergii* under mixed culture and exclusive culture conditions. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(3): 581–589 [周聃, 刘梅, 房伟平, 等. 池塘混养和专养条件下罗氏沼虾营养品质的比较. 上海海洋大学学报, 2024, 33(3): 581–589]
- ZHOU F, ZHANG Y X, ZHANG L, *et al.* Differences in taste components in by-products of chilled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). Food Science, 2019, 40(16): 193–199 [周纷, 张艳霞, 张龙, 等. 冰鲜大黄鱼不同副产物中滋味成分差异分析. 食品科学, 2019, 40(16): 193–199]
- ZHUANG X M, GUO Q Y, ZHENG Y, *et al.* Effect of farming region and commercial size on nutrition and flavor quality of turbot (*Scophthalmus maximus*). Food & Machinery, 2023, 39(11): 179–185 [庄小妹, 郭全友, 郑尧, 等. 养殖地域和商品规格划分对大菱鲆营养及风味品质的影响. 食品与机械, 2023, 39(11): 179–185]

Characterization of Large Yellow Croaker Quality in Different Culture Modes and Sizes

SUN Weibo^{1,2}, WEI Banghong², ZHUANG Xiaomei², MA Yuan², DONG Caiwen^{1①}, GUO Quanyou^{2①}

(1. School of Food and Biotechnology, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450000, China;

2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract Large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) fish are a major marine aquaculture product in China. They mainly farmed in nearshore floating cages, but the irrational layout of nearshore aquaculture and high aquaculture density seriously affect the flesh quality. Offshore aquaculture—such as deep-water cages and offshore ships—has the advantages of a wide area and good water quality, resulting in improvement in the quality of large yellow croaker cultured in offshore systems. Nevertheless, instances exist in which large yellow croaker raised in nearshore floating cages may be misrepresented as being cultured in offshore systems, likely motivated by the higher market value associated with offshore cultivation. Therefore, it is necessary to investigate the quality characteristics of large yellow croaker cultured in different modes and screen for representative indices that can be used to distinguish between these different modes. Thus, large (500–550 g) and small (250–330 g) fish reared in deep-water cages, floating cages, and offshore ship systems were collected from October to November 2023. The deep-water and floating cages were fixed in the Sandu Bay, Ningde City, Fujian Province. In the offshore system, fish were cultured in Guoxin 1, which shifted between the Ningde and Qingdao Sea areas.

After collection, the morphology, texture, basic nutrients, amino acids, fatty acids, taste profile, and volatile compound odor of the flesh were analyzed. The results showed that: (1) the morphology of large yellow croaker reared offshore was better than that nearshore with lower condition factor and higher body length/height and caudal peduncle length/height. The condition factor and body length/height ratio of the larger fish were lower than those of the smaller fish in the same culture mode. (2) The hardness, adhesiveness, and stickiness of the fish from offshore ships and deep-water cages were higher than those from floating cages of the same size. For fish from the same culture mode, the hardness, adhesion, and chewiness of the larger fish were higher than that of the smaller fish. The springiness of the smaller fish cultured in floating cages was significantly lower than that of the larger fish. (3) The crude fat content of the larger fish was lower than that of the smaller fish across different farming modes. For the larger fish cultured in floating cages, the crude fat content was significantly higher than that of fish in the other two culture modes and was lowest in the offshore ship system. Fish cultured in the offshore ship system had lower protein levels than those in the other two culture modes. In the same culture mode, the ash content of the smaller fish was lower than that of the larger fish, but the moisture contents were similar. Nutritional evaluation of amino acids suggested that the limiting amino acid of the smaller fish was isoleucine (ILE), while in the larger fish, it was MET and cysteine (CYS). The monounsaturated fatty acid content of the fish reared in offshore ships and deep-water cages was significantly higher than that of fish reared in floating cages. The eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) levels of the fish were

① Corresponding author: DONG Caiwen, Email: biodcw@126.com; GUO Quanyou, Email: dhsguoqy@163.com

significantly higher in deep-water and offshore ship systems than in floating cages. (4) Inosine monophosphate (IMP) contributes more to the flavor of large yellow croaker, and in the same culture mode, the IMP content of the larger fish was significantly higher than that of the smaller fish. Large yellow croaker reared offshore exhibited higher umami and sweet tastes, whereas those reared in deep-water cages showed higher richness. Large yellow croaker cultured in floating cages had higher levels of 2-methylbutyraldehyde, 2-methylpropionaldehyde, isopropylidene acetone, acetone, 2-hexanone, 2-pentanone, ethyl caproate, and methyl acetate than those cultured in the other two modes, indicating a richer volatile flavor. Isovaleraldehyde, alpha-pinene, ethyl acrylate, 2-butanone, and butanal-D contents were higher in the smaller fish than in the larger fish, indicating a more intense fruity flavor. Orthogonal partial least squares discriminant analysis identified methyl trans-9-octadecenoate, 2-butanol-M, butanal-M, umami, astringent aftertaste, richness, methionine, and cysteine as important indicators for distinguishing large yellow croaker reared under different culture modes. In summary, emerging culture modes such as offshore ships and deep-water cages are important ways to improve the quality of large yellow croaker by improving the body shape, texture, and taste.

Key words Large yellow croaker; Culture modes; Size; Quality; Flavor