

DOI: 10.11964/jfc.20230814134

冰鲜杂鱼和配合饲料对黄姑鱼生长性能、饲料利用及肌肉营养品质的影响差异



王立改¹, 姚高华², 马石鹏³, 李海东³, 陈睿毅¹, 谭朋¹,
胡伟华¹, 徐冬冬^{1*}

1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江省海水增殖养殖重点实验室, 浙江 舟山 316000;
2. 浙江省水产技术推广总站, 浙江 杭州 310012; 3. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316000

摘要:

【目的】为了评价黄姑鱼专用配合饲料的养殖效果, 本研究比较了黄姑鱼专用配合饲料与冰鲜杂鱼对黄姑鱼生长性能、饲料利用及肌肉营养品质的影响差异。

【方法】实验设计冰鲜杂鱼组、市售配合饲料组和黄姑鱼专用配合饲料组, 每组3个平行, 为期8周。

【结果】专用配合饲料组黄姑鱼增重率、特定生长率和蛋白质效率分别为211.52%、2.03%/d和160.92%, 显著高于冰鲜杂鱼组(149.97%、1.64%/d、67.04%)和市售配合饲料组(187.33%、1.88%/d、144.37%)。冰鲜杂鱼组饲料系数显著高于专用配合饲料组和市售配合饲料组。配合饲料组的肝体比和脏体比显著高于冰鲜杂鱼组。专用配合饲料组黄姑鱼肌肉脂肪含量显著高于冰鲜杂鱼和市售配合饲料组, 水分含量则显著低于冰鲜杂鱼组和市售配合饲料组。冰鲜杂鱼组肌肉中总氨基酸含量、必需氨基酸总量、花生四烯酸(ARA)和DHA含量均显著高于配合饲料组。肌肉组织切片观察结果显示, 三组黄姑鱼肌肉纤维纹理清晰, 排列紧密, 均为不规则多边形, 但冰鲜杂鱼组肌纤维密度显著高于配合饲料组。

【结论】黄姑鱼专用配合饲料组在生长性能和饲料利用方面优于冰鲜杂鱼组, 但在肌肉品质上, 冰鲜杂鱼组在肌肉氨基酸和LC-PUFA含量方面要优于专用配合饲料组。本研究可为黄姑鱼高效健康养殖及其人工配合饲料的优化提供理论依据。

关键词:黄姑鱼; 专用配合饲料; 冰鲜杂鱼; 生长性能; 肌肉品质

中华人民共和国农业农村部办公厅印发的《关于实施水产绿色健康养殖技术推广“五大行动”的通知》(农办渔〔2021〕6号)明确强调, 开展配合饲料替代幼杂鱼养殖试验, 提高配合饲料替代率。因此, 研发出可替代冰鲜杂鱼的优质配合饲料对促进水产养殖转型升级和高质量发展具有重要意义。冰鲜杂鱼因富含多不饱和脂肪酸和必需氨基酸, 可显著提高鱼的生长性能^[1-5]并改善鱼肌肉品质^[6-7]。然而, 冰鲜杂鱼受

第一作者: 王立改, 从事海水鱼类营养饲料研发及代谢调控研究, E-mail: wligaikuaile@126.com;



姚高华, 从事鱼类养殖技术研究, E-mail: 807719971@qq.com

通信作者: 徐冬冬, 研究员, 从事海水鱼类遗传学和遗传育种研究, E-mail: xudong0580@163.com



资助项目: 浙江省自然科学基金(LY24C190004); 浙江省“三农九方”科技协作计划项目(2023SNJF078); 浙江省杰出青年基金(LR21C190001); 国家自然科学基金(31972785)

收稿日期: 2023-08-30

修回日期: 2023-10-08

文章编号:

1000-0615(2025)05-059612-11

中图分类号: S 968.1

文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)



季节和资源量限制, 来源不稳定, 存在价格不稳、易变质、污染水质并易携带病菌威胁水产动物健康等缺点^[8]。与冰鲜杂鱼相较而言, 配合饲料具有原料来源广泛、价格相对稳定, 营养全面均衡、饲料系数低等优点。研究表明, 与冰鲜杂鱼相比, 配合饲料可显著提高杂交石斑鱼 [*Epinephelus fuscoguttatus* (♀)×*E. lanceolatus* (♂)] 的消化能力和免疫功能^[9], 并可显著提高刀鲚 (*Coilia nasus*)^[10]、珍珠龙胆石斑鱼 [*E. lanceolatus* (♂) × *E. fuscoguttatus* (♀)]^[11] 和大口黑鲈 (*Micropeterus salmoides*)^[12] 的肌肉必需氨基酸和鲜味氨基酸含量, 提高鱼的肌肉品质。这表明通过优化饲料配方, 投喂配合饲料可以达到冰鲜杂鱼的养殖效果, 甚至更优。

黄姑鱼 (*Nibea albiflora*) 属鲈形目 (Perciformes) 石首鱼科 (Sciaenidae) 黄姑鱼属, 分布于中国东海及日本南部海域, 其生长迅速、肉质鲜嫩、营养价值高、抗病力强, 是我国东南沿海重要的海水网箱养殖鱼类^[13]。目前, 使用冰鲜杂鱼及市售配合饲料进行黄姑鱼网箱养殖是其主要方式。然而, 随着黄姑鱼养殖规模化进程的推进, 以冰鲜杂鱼为饵料, 已经不能满足其市场发展的需求。近年来, 本课题组已经探明黄姑鱼幼鱼主要营养素如蛋白质^[14]、脂肪^[15]、蛋脂比^[16]、维生素 C^[17]、维生素 E^[18]、n-3 LC-PUFA^[19] 和赖氨酸^[20] 的适宜需求量, 并进行了鱼粉和鱼油替代研究^[21-22], 开发了黄姑鱼专用配合饲料。前期通过比较黄姑鱼专用配合饲料和冰鲜杂鱼的网箱养殖投喂效果, 初步表明黄姑鱼专用配合饲料在其养殖方面有很大的应用潜力^[23]。因此, 在前期研究基础上, 本课题组进一步优化了黄姑鱼饲料配方, 开展了 8 周网箱养殖实验, 旨在比较专用配合饲料和冰鲜杂鱼在黄姑鱼生长性能、饲料利用及肌肉营养品质方面的影响差异, 为黄姑鱼高效健康养殖及其人工配合饲料的优化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验对象和实验设计

网箱养殖实验在舟山市普陀区优辰水产养殖合作社进行, 实验鱼取自养殖合作社网箱。挑选体质健康活泼、规格大小一致的黄姑鱼共 540 尾, 随机分配到 9 个网箱 (1.5 m×1.5 m×1.5

m) 中, 每个网箱 60 尾。

实验设计为冰鲜杂鱼组、市售配合饲料组和专用配合饲料组, 每组 3 个平行, 黄姑鱼初始体重为 (34.60±0.05) g。

1.2 实验饲料

本实验使用冰鲜杂鱼为日本鳀 (*Engraulis japonicus*), 市售配合饲料为大黄鱼饲料, 专用配合饲料为本课题组研发的黄姑鱼专用配合饲料, 并委托浙江汉贝生物科技有限公司代加工。饲料营养成分见表 1 和表 2, 饲料氨基酸和脂肪酸含量见表 3 和表 4。

表 1 黄姑鱼专用配合饲料配方表

Tab. 1 The experimental diet composition

组成 composition	含量/% content
鱼粉 fish meal	45
乙醇梭菌蛋白 <i>Clostridium autoethanogenum</i> protein	8
棉粕 cottonseed meal	10
发酵豆粕 fermented soybean meal	10
淀粉 starch	3
面粉 wheat flour	14
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	1.5
大豆油 soybean oil	1
鱼油 fish oil	4.5
海水鱼料复合物 marine fish feed compound ¹⁾	1
海水鱼用预混料 marine fish feed premix ²⁾	2
合计 total	100

注: 1) 海水鱼料复合物包含肉碱盐酸盐、赖氨酸盐酸盐、抗氧化剂、防霉剂、氯化胆碱、VC磷酸酯、沸石粉、中草药添加剂, 由浙江汉贝生物科技有限公司提供。2) 海水鱼用预混料购自广州市诚一水产科技有限公司。

Notes: 1) there are carnitine hydrochloride, lysine hydrochloride, antioxidant, mold inhibitor, choline chloride, vitamin C phosphate, zeolite powder, and Chinese herbal additive in marine fish feed compound, provided by Zhejiang Hanbei Biological Technology Co., Ltd.. 2) marine fish feed premix is purchased from Guangzhou Chengyi Aquatic Technology Co., Ltd..

1.3 饲养管理

实验期间按照体重的 3%~5% 投喂, 每天 2 次 (7: 00 和 16: 00)。养殖实验水温为 (27±2) °C, 水体 pH 为 7.8~8.0, 盐度为 28~29, 溶解氧>5.5 mg/L。

1.4 实验取样

养殖实验结束后, 黄姑鱼禁食 24 h, 统计每个网箱黄姑鱼的数量并称重, 计算存活率和

表 2 饲料营养成分实测值(干重比/湿重比)

Tab. 2 The measured diet nutritional composition (dry weight/wet weight) %

成分 component	专用配合饲料 special formulated feed	市售配合饲料 commercial formulated feed	冰鲜杂鱼 chilled trash fish
水分 moisture	10.45	10.97	75.40
粗蛋白 crude protein	51.52 (45.70)	52.41 (46.66)	71.37 (17.56)
粗脂肪 crude lipid	7.43 (6.65)	8.01 (7.13)	5.68 (1.40)
灰分 ash	12.84 (11.50)	12.91 (11.50)	16.23 (3.99)

注: 括号内为湿重含量。

Notes: Wet weight contents are in parentheses.

表 3 饲料氨基酸含量实测值

Tab. 3 The amino acid contents in diets %

项目 item	专用配合饲料 special formulated feed	市售配合饲料 commercial formulated feed	冰鲜杂鱼 chilled trash fish
苏氨酸 Thr	2.00	2.02	3.11
缬氨酸 Val	2.26	2.37	3.52
蛋氨酸 Met	1.12	1.01	2.13
异亮氨酸 Ile	2.03	1.95	3.08
亮氨酸 Leu	3.41	3.60	5.44
苯丙氨酸 Phe	2.23	2.39	2.98
组氨酸 His	1.21	1.20	2.32
赖氨酸 Lys	3.47	3.39	5.89
精氨酸 Arg	3.05	3.26	4.13
必需氨基酸 EAA	20.73	21.19	32.59
丝氨酸 Ser	2.00	2.27	2.91
谷氨酸 Glu	7.28	7.58	9.90
甘氨酸 Gly	2.64	3.67	3.80
丙氨酸 Ala	2.76	2.99	4.44
酪氨酸 Tyr	1.60	1.61	2.47
天门冬氨酸 Asp	4.53	4.89	6.84
非必需氨基酸 NEAA	20.81	23.01	30.35
鲜味氨基酸 TDAA	17.21	19.13	24.98
总氨基酸 total AA	41.54	44.20	62.94

表 4 饲料脂肪酸含量实测值

Tab. 4 The fatty acid contents in diets %

项目 item	专用配合饲料 special formulated feed	市售配合饲料 commercial formulated feed	冰鲜杂鱼饲料 chilled trash fish
C12:0	0.15	/	0.36
C13:0	0.09	/	0.13
C14:0	7.19	1.58	12.19
C14:1	/	/	0.26
C15:0	0.65	0.18	0.89
C16:0	20.05	14.94	29.11
C16:1	7.65	2.39	7.53
C17:0	0.47	0.14	1.20
C17:1	1.02	0.17	0.39
C18:0	4.00	4.46	6.81
C18:1n-9t	0.13	0.15	0.13
C18:1n-9c	18.96	23.84	22.23
C18:2n-6t	0.10	0.23	0.12
C18:2n-6c	11.20	39.02	0.30
C20:0	0.11	0.41	1.39
C18:3n-6	0.26	0.54	3.80
C20:1n-9	0.42	0.35	0.43
C18:3n-3	1.82	4.47	0.55
C20:2	0.18	0.33	0.22
C20:3n-6	0.14	0.25	0.24
C22:1n-9	0.09	0.06	0.10
C20:4n-6	0.96	0.41	0.78
C22:2	0.07	0.14	0.40
C20:5n-3	12.75	2.60	3.42
C24:1n-9	/	/	0.18
DPA	1.24	0.36	0.57
C22:6n-3	10.30	2.95	6.26
SFA	32.70	21.72	52.09
MUFA	28.28	26.97	31.25
n-6 PUFA	1.37	1.21	4.82
n-3 PUFA	26.11	10.39	10.80
n-3/n-6 PUFA	19.12	8.61	2.24
n-3 LC-PUFA	24.29	5.91	10.26

注: “/”表示未检出。

Notes: “/” means not detected.

增重率。从每个网箱随机取 5 尾黄姑鱼, 分离背肌于-20 °C 保存, 用于肌肉营养成分、氨基酸和脂肪酸含量测定。另取肌肉浸入装有 4% PFA 溶液的离心管中, 用于组织切片观察。实验过程中操作人员严格遵守实验动物伦理规范, 并按照实验动物伦理委员会制定的规章制度执行。

1.5 指标测定

存活率 (SR, %)=(终末鱼尾数/初始鱼尾数)×100%;

增重率 (WGR, %)=(终末体重-初始体重)/初始总重×100%;

特定生长率 (SGR, %/d)=(ln 终末体重-ln 初始体重)/养殖天数×100%;

饲料系数 (FCR)=饲料消耗量/(终末体重-初始体重);

蛋白质效率 (PER, %)=(终末体重-初始体重)/蛋白摄入量×100%

肝体比 (HSI, %)=肝脏重/体重×100%;

脏体比 (VSI, %)=内脏重/体重×100%;

肥满度 (CF, g/cm³)=体重/体长³×100

1.6 肌肉常规营养成分测定

水分含量采用 105 °C 恒温烘干法 (GB 5009.3—2010) 测定, 粗蛋白含量采用凯氏定氮法 (GB 5009.5—2010) 测定, 粗脂肪含量采用索氏抽提法 (GB 5009.6—2003) 测定, 灰分含量采用马弗炉灼烧法 (GB 5009.4—2010) 测定。

1.7 肌肉氨基酸和脂肪酸测定

氨基酸含量按国标 (GB/T 5009.124—2003) 酸水解法测定 (氨基酸自动分析仪, Biochrom 30, 英国), 脂肪酸含量按照国标 (GB/T 22223—2008) 测定 (气相色谱仪, Agilent 6890, 美国)。

1.8 肌肉组织切片

取用 4% PFA (多聚甲醛) 溶液保存的肌肉, 在酒精中梯度脱水后用石蜡包埋, 切片后用苏木精-伊红 (H.E) 染色法染色, 然后用显微镜观察肌肉组织切片结构变化情况。

利用 CaseViewer 软件对各组肌肉纤维的长径 (沿各个方向测定的肌纤维横截面轮廓边界间平行线之间距离的最大值) 和短径 (沿各个方向

测定的肌纤维横截面轮廓两边界间平行线之间距离的最小值) 进行测量, 并根据椭圆面积计算公式 (面积=0.25×π×长径×短径) 计算横截面积。在 CaseViewer 软件中根据标尺计算 0.15 mm² 内肌肉纤维个数, 并换算成 1 mm² 内肌肉纤维的个数, 得到肌纤维密度^[24]。

1.9 数据分析

实验所得数据采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA)。当差异显著 (P<0.05) 时, 进行 Duncan 氏多重比较。数据用平均值±标准差 (mean±SD) 的形式来表示。

2 结果

2.1 生长性能

由表 5 可知, 三组之间存活率无显著差异。专用配合饲料组的黄姑鱼增重率、特定生长率和蛋白质效率显著最高, 市售配合饲料组次之, 冰鲜杂鱼组显著最低; 配合饲料组黄姑鱼饲料系数显著低于冰鲜杂鱼组。配合饲料组的肝体比和脏体比显著高于冰鲜杂鱼组; 市售配合饲料组的肥满度显著高于冰鲜杂鱼组 (图 1)。

2.2 肌肉常规营养成分

营养成分结果表明, 专用配合饲料组黄姑鱼肌肉脂肪含量显著高于冰鲜杂鱼和市售配合饲料组, 水分含量则显著低于冰鲜杂鱼组和市售配合饲料组, 各组粗蛋白和灰分含量无显著差异 (图 2)。

2.3 肌肉氨基酸和脂肪酸含量

肌肉氨基酸和脂肪酸含量结果表明, 冰鲜杂鱼组黄姑鱼肌肉中苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、

表 5 冰鲜杂鱼、市售配合饲料及专用配合饲料对黄姑鱼生长性能及饲料利用的影响

Tab. 5 Effects of chilled trash fish, commercial formulated feed and special formulated feed on growth performance and feed utilization of *N. albiflora*

项目 item	专用配合饲料组 special formulated feed	市售配合饲料组 commercial formulated feed	冰鲜杂鱼组 chilled trash fish
存活率/% SR	91.11±2.55	91.11±4.81	82.78±5.09
增重率/% WGR	211.52±1.62 ^a	187.33±4.74 ^b	149.97±6.30 ^a
特定生长率/(%/d) SGR	2.03±0.01 ^a	1.88±0.03 ^b	1.64±0.05 ^a
蛋白质效率/% PER	160.92±5.38 ^a	144.37±3.39 ^b	67.04±2.98 ^a
饲料系数 FC	1.37±0.05 ^a	1.48±0.03 ^a	8.52±0.35 ^b

注: 同行数据肩标不同字母表示差异显著 (P<0.05), 下同。

Notes: In the same row, values with different lowercase letters superscripts mean significant difference (P<0.05), the same below.

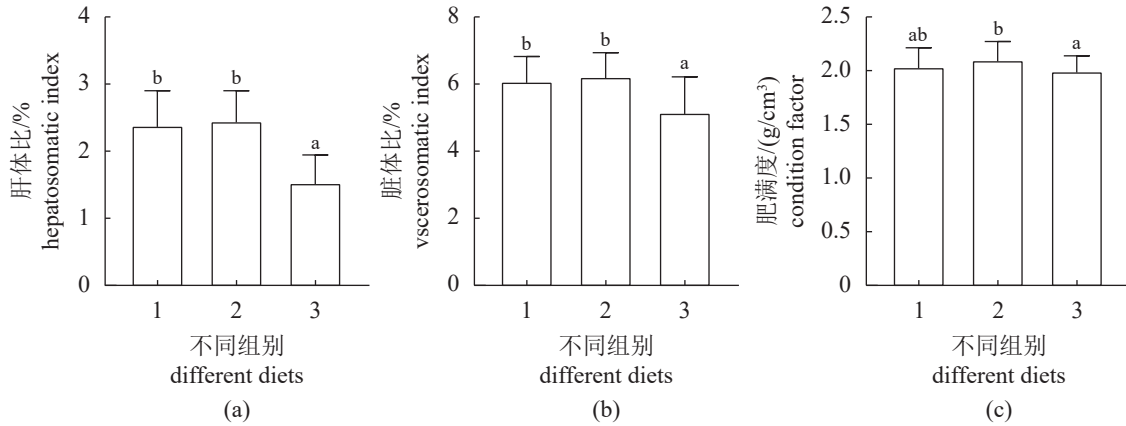


图 1 冰鲜杂鱼、市售配合饲料及专用配合饲料对黄姑鱼形态学指标的影响

1. 专用配合饲料组, 2. 市售配合饲料组, 3. 冰鲜杂鱼组, 柱子下方不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Fig. 1 Effects of chilled trash fish, commercial formulated feed and special formulated feed on morphology index of *N. albiflora*

1. special formulated feed, 2. commercial formulated feed, 3. chilled trash fish, the different letters above the columns mean significant differences ($P < 0.05$), the same below.

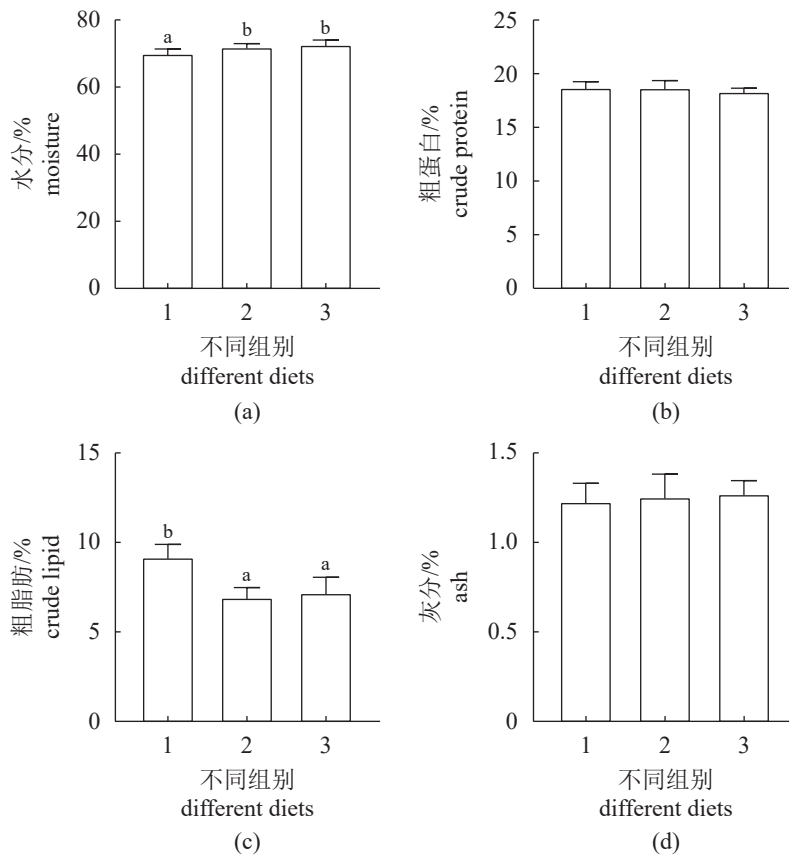


图 2 冰鲜杂鱼、市售配合饲料及专用配合饲料对黄姑鱼肌肉营养成分的影响

Fig. 2 Effects of chilled trash fish, commercial formulated feed and special formulated feed on the composition in whole body and muscle of *N. albiflora*

苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸和精氨酸含量显著高于配合饲料组。冰鲜杂鱼组黄姑鱼肌肉必需氨基酸总量、鲜味氨基酸总量和总氨基酸量均

显著高于配合饲料组 (表 6)。

肌肉脂肪酸含量结果表明, 在 LC-PUFA 含量中, 冰鲜杂鱼组中花生四烯酸 (ARA) 和

表 6 冰鲜杂鱼、市售配合饲料及专用配合饲料对黄姑鱼肌肉氨基酸组成的影响

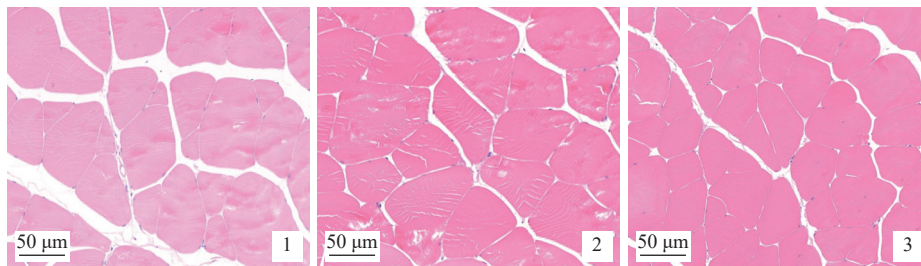
Tab. 6 Effects of chilled trash fish, commercial formulated feed and special formulated feed on muscle amino acids composition of *N. albiflora*

项目 item	专用配合饲料组 special formulated feed	市售配合饲料组 commercial formulated feed	冰鲜杂鱼组 chilled trash fish
苏氨酸 Thr	3.48±0.12 ^a	3.64±0.12 ^a	3.88±0.16 ^b
缬氨酸 Val	3.76±0.12 ^a	3.88±0.13 ^a	4.15±0.16 ^b
蛋氨酸 Met	2.45±0.17	2.49±0.22	2.65±0.21
异亮氨酸 Ile	3.40±0.38 ^a	3.65±0.15 ^{ab}	3.95±0.17 ^b
亮氨酸 Leu	6.28±0.22 ^a	6.44±0.26 ^a	6.94±0.27 ^b
苯丙氨酸 Phe	3.50±0.11 ^a	3.63±0.13 ^a	3.83±0.13 ^b
组氨酸 His	1.62±0.07 ^a	1.65±0.09 ^a	1.79±0.10 ^b
赖氨酸 Lys	7.43±0.26 ^a	7.60±0.31 ^a	8.24±0.33 ^b
精氨酸 Arg	4.69±0.16 ^a	4.86±0.15 ^a	5.21±0.21 ^b
色氨酸 Trp	0.57±0.09 ^{ab}	0.49±0.06 ^a	0.64±0.07 ^b
必需氨基酸 EAA	37.17±1.18 ^a	38.34±1.49 ^a	41.30±0.17 ^b
丝氨酸 Ser	3.29±0.20 ^a	3.42±0.17 ^{ab}	3.58±0.13 ^b
谷氨酸 Glu	12.35±0.71 ^a	12.59±0.085 ^a	13.77±0.49 ^b
甘氨酸 Gly	4.46±0.38 ^b	4.52±0.33 ^b	3.79±0.14 ^a
丙氨酸 Ala	4.67±0.29 ^a	4.91±0.21 ^{ab}	5.14±0.18 ^b
酪氨酸 Tyr	2.83±0.08 ^a	2.90±0.11 ^a	3.13±0.15 ^b
天门冬氨酸 Asp	8.15±0.30 ^a	8.39±0.38 ^a	8.97±0.31 ^b
胱氨酸 Cys	0.62±0.07 ^b	0.54±0.06 ^a	0.81±0.07 ^c
鲜味氨基酸 DAA	29.64±1.58 ^a	30.40±1.62 ^{ab}	31.68±1.06 ^c
非必需氨基酸 NEAA	36.37±1.88 ^a	37.25±1.93 ^{ab}	39.19±1.31 ^b
总氨基酸 total AA	73.54±3.04 ^a	75.59±3.40 ^a	80.49±2.98 ^b

DHA 均显著高于配合饲料组。市售配合饲料组中黄姑鱼肌肉中亚油酸 (C18:2n-6) 的含量显著最高, 冰鲜杂鱼组显著最低 (表 7)。

2.4 肌肉组织切片观察

三组黄姑鱼肌肉纤维纹理清晰, 排列紧密,



图版 黄姑鱼肌肉组织切片

1. 专用配合饲料组, 2. 市售配合饲料组, 3. 冰鲜杂鱼组。

Plate Histological examination of muscle tissue structure of *N. albiflora*

1. special formulated feed diet, 2. commercial formulated feed diet, 3. chilled trash fish diet.

表 7 冰鲜杂鱼、市售配合饲料及专用配合饲料对黄姑鱼肌肉脂肪酸组成的影响

Tab. 7 Effects of chilled trash fish, commercial formulated feed and special formulated feed on muscle fatty acids composition of *N. albiflora*

项目 item	专用配合饲料组 special formulated feed	市售配合饲料组 commercial formulated feed	冰鲜杂鱼组 chilled trash fish
C16:0	24.36±0.76 ^c	19.82±1.15 ^a	24.03±1.15 ^b
C16:1	9.79±0.19 ^b	6.07±0.82 ^a	13.40±0.98 ^c
C17:0	0.35±0.01 ^b	0.19±0.03 ^a	0.61±0.13 ^c
C17:1	0.73±0.10 ^c	0.21±0.02 ^a	0.38±0.04 ^b
C18:0	6.41±0.80 ^b	6.11±0.40 ^b	5.23±0.65 ^a
C18:1n-9	23.58±1.16 ^a	26.31±1.35 ^b	22.80±1.79 ^a
C18:2n-6	8.90±0.92 ^b	27.00±1.93 ^c	2.34±0.71 ^a
C18:3n-3	1.16±0.15 ^b	3.06±0.31 ^c	0.77±0.11 ^a
C20:2	0.16±0.02 ^a	0.34±0.32 ^a	0.99±0.48 ^b
C22:0	0.10±0.01 ^a	0.16±0.01 ^b	0.11±0.03 ^a
C20:3n-6	0.77±0.02 ^b	0.15±0.10 ^a	0.44±0.43 ^a
C22:1n-9	0.09±0.04	0.05±0.02	0.08±0.05
C20:3n-3	0.07±0.02 ^a	0.07±0.02 ^a	0.10±0.02 ^b
C20:4n-6 (ARA)	0.65±0.04 ^b	0.46±0.02 ^a	0.76±0.08 ^c
C20:5n-3 (EPA)	8.11±0.62 ^c	2.57±0.13 ^a	5.25±0.53 ^b
C24:1n-9	0.28±0.01 ^b	0.15±0.06 ^a	0.36±0.16 ^b
C22:6n-3 (DHA)	6.43±0.27 ^b	3.16±0.18 ^a	12.87±1.44 ^c
SFA	37.02±0.84 ^b	28.98±1.11 ^a	37.36±0.16 ^b
MUFA	34.96±1.07 ^a	33.36±2.02 ^a	37.50±1.93 ^b
n-6 PUFA	1.60±0.08 ^b	0.71±0.08 ^a	1.46±0.43 ^b
n-3 PUFA	16.88±1.02 ^b	9.34±0.45 ^a	19.84±2.02 ^c
n-3/n-6 PUFA	10.54±0.72 ^a	13.27±1.19 ^b	14.38±3.46 ^b
n-3 LC-PUFA	15.72±0.90 ^b	6.28±0.31 ^a	19.07±1.97 ^c

均为不规则多边形。统计分析结果表明, 冰鲜杂鱼组肌纤维密度显著高于配合饲料组。由图版可看出, 专用配合饲料组黄姑鱼肌间脂肪较其他两组显著增加。

表 8 冰鲜杂鱼、市售配合饲料及专用配合饲料对黄姑鱼肌纤维长径、短径、横截面积及肌纤维密度的影响

项目 item		专用配合饲料组 special formulated feed	市售配合饲料组 commercial formulated feed	冰鲜杂鱼组 chilled trash fish
长径/ μm	long diameter	123.22 \pm 5.44	124.20 \pm 10.83	102.10 \pm 5.00
短径/ μm	short diameter	70.15 \pm 3.58	72.67 \pm 2.80	74.85 \pm 3.90
横截面积/ μm^2	cross sectional area	6 889.75 \pm 630.49	7 057.08 \pm 566.33	5 814.06 \pm 142.21
肌纤维密度/(n/mm ²)	density of muscle fiber	222.37 \pm 5.88 ^b	186.79 \pm 6.67 ^b	286.86 \pm 17.65 ^a

3 讨论

3.1 各组饲料对黄姑鱼生长性能的影响

当饲料中蛋白质含量接近或相当于理想的蛋白质含量时, 动物的日增重最快, 蛋白质的沉积量最大^[25]。本研究中配合饲料组的饲料蛋白含量(实测值 51.52%)接近黄姑鱼的蛋白需求 54%^[16], 而冰鲜杂鱼组蛋白质含量(71.37%)远高于 54%。因此, 配合饲料组在黄姑鱼增重率、特定生长率和蛋白质效率方面的效果均显著优于冰鲜杂鱼, 表明冰鲜杂鱼组蛋白沉积率较低, 造成了蛋白质的浪费, 并降低了黄姑鱼的生长性能。然而, 在大口黑鲈^[2, 5]、大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)^[3]和斜带石斑鱼 (*E. coioides*)^[8]中的研究则表明, 冰鲜杂鱼组的生长性能优于配合饲料组。对于不同的研究结果, 可能是由于饲料配方、鱼种、养殖环境的不同而产生的差异。鱼类的形态学指标受饲料营养组成的影响显著^[26-27], 牛化欣等^[1]研究表明, 高脂商品饲料组大菱鲆的肝体比、脏体比显著高于低脂商品饲料组。类似地, 本研究结果显示配合饲料组黄姑鱼的肝体比、脏体比显著高于冰鲜杂鱼组, 推测原因可能是因为配合饲料组的脂肪含量高于冰鲜杂鱼所致。因此, 后续可根据冰鲜杂鱼营养成分特点优化黄姑鱼饲料脂肪含量以提高黄姑鱼营养品质。

随着渔业资源的匮乏, 海洋中作为饵料的鱼类越来越少, 其价格也在不断上涨, 严重制约了黄姑鱼的规模化养殖。此外, 小杂鱼的大量减少极大地破坏了野生渔业资源。因此开发出优质配合饲料替代冰鲜杂鱼的传统养殖方式, 对提高渔民的养殖经济效益、促进黄姑鱼规模化养殖和保护海洋生态环境具有重要意义。

3.2 各组饲料对黄姑鱼肌肉营养品质的影响

一般来说, 鱼肉营养水平的高低, 主要取

决于肌肉中蛋白质含量的多少。本研究结果显示, 配合饲料组黄姑鱼肌肉蛋白质含量和冰鲜杂鱼组无显著差异, 表明在肌肉蛋白质含量方面, 配合饲料组可达到与冰鲜杂鱼无异的效果, 这与在乌鳢 (*Channa argus*)^[28]中的研究结果一致。

鱼肉品质的评价指标包括体色、质地、肌肉脂肪含量等。肌纤维的直径越小、密度越大, 肌肉的口感、嫩度越好^[29]。本研究结果表明, 冰鲜杂鱼组黄姑鱼肌纤维密度要显著高于配合饲料组, 表明冰鲜杂鱼组的肌肉口感和嫩度要优于配合饲料组。推测原因, 可能是由于专用配合饲料组鱼肌肉脂肪含量高于冰鲜杂鱼组所致。研究表明, 肌肉脂肪含量是鱼肉肉质的重要影响因素之一, 过多的脂肪沉积在肌肉中会破坏肌肉的结构, 降低鱼肉的结实度, 使得鱼肉肉质松软^[30]。

此外, 本研究发现虽然专用配合饲料脂肪含量和市售配合饲料的脂肪含量相近, 但专用配合饲料组黄姑鱼肌肉脂肪含量要显著高于市售配合饲料组, 推测是由于本研究中专用配合饲料中鱼油添加量较高, 而市售配合饲料中鱼油添加量较低造成的, 这表明黄姑鱼更偏向于沉积鱼油。后续可在配合饲料中降低鱼油用量, 提高植物油用量, 做进一步脂肪沉积的比较研究。

3.3 各组饲料对黄姑鱼肌肉氨基酸和脂肪酸含量的影响

鱼肉的氨基酸和脂肪酸含量和组成是鱼类营养评价的重要指标^[12]。鱼类肌肉中蛋白质和鲜味氨基酸含量越高, 说明肌肉中蛋白质营养价值越高, 而脂肪含量越低、n-3 LC-PUFA 含量越高, 则表示脂肪的营养价值越高^[29]。饲料营养组成是影响鱼类营养成分的重要因素之一。冰鲜杂鱼含有丰富的必需氨基酸和长链不饱和

脂肪酸, 投喂冰鲜杂鱼可显著提高鱼体必需氨基酸和多不饱和脂肪酸含量^[31]。本研究中冰鲜杂鱼组的黄姑鱼肌肉鲜味氨基酸含量和 n-3 LC-PUFA 的含量显著高于配合饲料组, 而脂肪含量则显著低于配合饲料组, 表明冰鲜杂鱼组的黄姑鱼肌肉营养价值要优于配合饲料组, 与大口黑鲈中的研究结果一致^[7]。然而, Xu 等^[12]研究表明, 配合饲料组的大口黑鲈肌肉 EPA 和 DHA 含量显著高于冰鲜杂鱼组。因此, 在提高养殖黄姑鱼肌肉的营养品质方面, 配合饲料还需进一步优化, 以满足消费者对黄姑鱼的营养需求。

鱼体的脂肪酸组成基本上能反映饲料的脂肪酸组成^[7]。在本研究结果中发现, 市售配合饲料组鱼肌肉中的亚油酸极显著高于冰鲜杂鱼组和专用配合饲料组, 推测市售配合饲料组中 C18:2 含量较高, 通过测定市售配合饲料组中的脂肪酸组成, 印证了实验的推测。而市售配合饲料组的 LC-PUFA 的含量却显著低于冰鲜杂鱼组, 这从侧面证实了海水鱼类黄姑鱼自身将 C18:2 转化合成 LC-PUFA 的能力非常有限。

4 结论

本研究结果显示, 专用配合饲料组在生长性能、饲料利用方面优于冰鲜杂鱼组; 但在肌肉品质方面, 冰鲜杂鱼组在肌肉氨基酸、LC-PUFA 含量和肌肉口感方面要优于专用配合饲料组。因此, 专用配合饲料在黄姑鱼养殖中有很大的应用潜力, 但在黄姑鱼肌肉品质方面需要进一步优化饲料配方。

参考文献 (References):

- [1] 牛化欣, 雷霖霖, 常杰, 等. 冰鲜野杂鱼和商品饲料对大菱鲆生长、脂质代谢及抗氧化功能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2013, 25(11): 2696-2704.
- Niu H X, Lei J L, Chang J, *et al.* Effects of fresh frozen trash fish and commercial feeds on growth, lipid metabolism and antioxidant function of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(11): 2696-2704 (in Chinese).
- [2] 朱择敏, 马冬梅, 白俊杰, 等. 配合饲料、冰鲜杂鱼对大口黑鲈生长和 LPL 基因 mRNA 表达的影响 [J]. *大连海洋大学学报*, 2014, 29(4): 360-363.
- Zhu Z M, Ma D M, Bai J J, *et al.* Effects of formulated diets and frozen trash fish on growth and expression of LPL gene mRNA in largemouth bass *Micropterus salmoides* [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2014, 29(4): 360-363 (in Chinese).
- [3] 王煜恒, 丁威, 陈军, 等. 投喂配合饲料和冰鲜杂鱼对大菱鲆生长速度和饲料成本的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(7): 282-285.
- Wang Y H, Ding W, Chen J, *et al.* Effects of formula feed and chilled trash fish on growth rate and feed cost of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(7): 282-285 (in Chinese).
- [4] 原居林, 郭建林, 刘梅, 等. 不同饲料类型和放养密度对乌鳢生长特性及营养品质的影响 [J]. *大连海洋大学学报*, 2017, 32(5): 534-543.
- Yuan J L, Guo J L, Liu M, *et al.* Comparison of growth performances and nutritional quality of muscle in snakehead *Channa argus* fed different diets at different stocking densities [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2017, 32(5): 534-543 (in Chinese).
- [5] 钟立强, 王海晓, 王明华, 等. 不同饵料对大口黑鲈生长性能和肠道微生物的影响 [J]. *水生生物学报*, 2022, 46(11): 1609-1617.
- Zhong L Q, Wang H X, Wang M H, *et al.* Effects of different diets on growth performance and intestinal bacterial community of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, 46(11): 1609-1617 (in Chinese).
- [6] 丛林梅. 商品饲料和冰鲜杂鱼对珍珠龙胆石斑鱼生长、抗氧化、脂质代谢、肠道菌群和品质的影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.
- Cong L M. Effect of commercial diet and fresh frozen trash fish on growth, antioxidant capacity, lipid metabolism, intestinal bacterial communities and quality of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*Epinephelus lanceolatus* ♂) [D]. Changchun: Jiling Agricultural University, 2016 (in Chinese).
- [7] 李志斐, 龚望宝, 王金林, 等. 冰鲜杂鱼和人工配合饲料对大口黑鲈肌肉品质及健康状况影响的评价 [J]. *动物营养学报*, 2017, 29(11): 4180-4188.
- Li Z F, Gong W B, Wang J L, *et al.* Evaluation of effects of frozen fresh fish and artificial compound feed on muscle quality and health status of *Micropterus salmoides* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(11): 4180-4188 (in Chinese).
- [8] 牛行健, 冯瀚墨, 赵兴巧, 等. 冰鲜杂鱼与颗粒饲料对斜带石

- 斑鱼的对比饲养效果[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2021, 26(1): 8-13.
- Niu X J, Feng H M, Zhao X Q, *et al.* The effect comparisons between frozen trash fish and artificial compound feed for grouper (*Epinephelus coioides*)[J]. Journal of Jimei University (Natural Science Edition), 2021, 26(1): 8-13 (in Chinese).
- [9] Ye G L, Dong X H, Yang Q H, *et al.* A formulated diet improved digestive capacity, immune function and intestinal microbiota structure of juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*Epinephelus lanceolatus* ♂) when compared with chilled trash fish[J]. *Aquaculture*, 2020, 523: 735230.
- [10] 施永海, 张根玉, 张海明, 等. 配合饲料和活饵料喂养刀鲚肌肉营养成分分析与比较[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(2): 427-436.
- Shi Y H, Zhang G Y, Zhang H M, *et al.* Analysis and comparison of nutritional quality of muscle from *Coilia nasus* fed formulated feed and live feed[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(2): 427-436 (in Chinese).
- [11] 马林, 李明泽, 郑艳坤, 等. 人工配合饲料与冰鲜饵料对珍珠龙胆石斑鱼肌肉营养成分的影响[J]. *饲料研究*, 2020, 43(5): 22-27.
- Ma L, Li M Z, Zheng Y K, *et al.* Effect of nutritional components in the muscle of *Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus fuscoguttatus* ♀ cultured by artificial compound feed and fresh frozen bait[J]. *Feed Research*, 2020, 43(5): 22-27 (in Chinese).
- [12] Xu X Y, Yang H, Xu Z, *et al.* The comparison of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed trash fish and formula feeds: growth, flesh quality and metabolomics[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 966248.
- [13] Xu D D, Lou B, Shi H L, *et al.* Genetic diversity and population structure of *Nibea albiflora* in the China Sea revealed by mitochondrial COI sequences[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2012, 45: 158-165.
- [14] 鲁琼, 王立改, 楼宝, 等. 饲料蛋白质水平对黄姑鱼幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(12): 3763-3771.
- Lu Q, Wang L G, Lou B, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition and digestive enzyme activities of juvenile *Nibea albiflora*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(12): 3763-3771 (in Chinese).
- [15] Wang L G, Lu Q, Luo S Y, *et al.* Effect of dietary lipid on growth performance, body composition, plasma biochemical parameters and liver fatty acids content of juvenile yellow drum *Nibea albiflora*[J]. *Aquaculture Reports*, 2016, 4: 10-16.
- [16] Wang L G, Hu S Y, Lou B, *et al.* Effect of different dietary protein and lipid levels on the growth, body composition, and intestinal digestive enzyme activities of juvenile yellow drum *Nibea albiflora* (Richardson)[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2018, 17(5): 1261-1267.
- [17] Wang L G, Chen D X, Lou B, *et al.* The effects of dietary vitamin C on growth performance, serum enzymes activities and resistance to *Vibrio alginolyticus* challenge of yellow drum *Nibea albiflora*[J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(9): 4684-4695.
- [18] Wang L G, Ma B H, Chen D X, *et al.* Effect of dietary level of vitamin E on growth performance, antioxidant ability, and resistance to *Vibrio alginolyticus* challenge in yellow drum *Nibea albiflora*[J]. *Aquaculture*, 2019, 507: 119-125.
- [19] Tan P, Wabike E E, Qin G C, *et al.* Effects of dietary n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids (n-3 LC-PUFAs) on growth performance, body composition and subcutaneous adipose tissue transcriptome analysis of juvenile yellow drum (*Nibea albiflora*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2021, 27(2): 556-567.
- [20] Wang L G, Zhao D, Tan P, *et al.* Dietary lysine affects growth performance, whole-body composition and growth-related gene expression in the yellow drum *Nibea albiflora*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2020, 26(6): 1970-1980.
- [21] 王立改, 曾文繁, 楼宝, 等. 发酵豆粕替代鱼粉对黄姑鱼幼鱼生长性能、血清生化指标及肝脏中类胰岛素生长因子-I 基因表达的影响[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(3): 989-998.
- Wang L G, Zeng W F, Lou B, *et al.* Effects of replacement of fish meal by fermented soybean meal on growth performance, serum biochemical indices and liver insulin-like growth factor-I gene expression of juvenile yellow drum (*Nibea albiflora*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(3): 989-998 (in Chinese).
- [22] Zhu W L, Tan P, Lou B, *et al.* Supplementation of a soybean oil-based diet with tributyrin influences growth, muscle composition, intestinal morphology, and expression of immune-related genes of juvenile yellow drum (*Nibea albiflora* Richardson, 1846)[J]. *Aquaculture International*, 2020, 28(5): 2027-2043.
- [23] 曾延清, 王立改, 徐冬冬, 等. 投喂配合饲料和冰鲜杂鱼对黄姑鱼生长性能、饲料利用、生长相关基因表达和养殖水质的影响[J]. *浙江海洋大学学报(自然科学版)*, 2022, 41(4): 299-307, 314.
- Zeng Y Q, Wang L G, Xu D D, *et al.* Effect of compound feed

- and chilled trash fish on growth performance, feed utilization, growth-related gene expression and cultured water quality of *Nibea albiflora*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 2022, 41(4): 299-307,314 (in Chinese).
- [24] 李本相. 不同小肽对大菱鲆幼鱼生长性能、肌肉组织结构、氨基酸代谢的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- Li B X. The effects of different peptide on the growth, muscle tissue structure, amino acid metabolism of turbot[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019 (in Chinese).
- [25] 逯尚尉, 刘兆普, 余燕. 不同饵料对点带石斑鱼幼鱼生长、营养成分及组织消化酶活性的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(5): 648-653.
- Lu S W, Liu Z P, Yu Y. Effect of different diets on growth, nutritive composition and digestive enzyme activities of juvenile *Epinephelus malabaricus*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(5): 648-653 (in Chinese).
- [26] 王思芦, 王红明, 赵良勇, 等. 鸡枞菌多糖对鲫的生长性能、抗氧化及免疫功能的影响 [J]. 淡水渔业, 2019, 49(1): 87-91.
- Wang S L, Wang H M, Zhao G Y, *et al.* Effect of *Termitornyces albuminosus* polysaccharide on growth performance, antioxidant and immune function of *Carassius auratus*[J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(1): 87-91 (in Chinese).
- [27] 褚志鹏, 金佳利, 陈细华, 等. 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼生长、体成分和生化指标的影响 [J]. 中国水产科学, 2020, 27(2): 177-185.
- Chu Z P, Jin J L, Chen X H, *et al.* Effects of different feeding rates and frequencies on the growth performance, body composition, and biochemical parameters of juvenile hybrid sturgeon[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(2): 177-185 (in Chinese).
- [28] 张延华, 马国红, 宋理平. 工厂化养殖饲喂冰鲜鱼和配合饲料对乌鳢肌肉品质的影响 [J]. 长江大学学报 (自然科学版), 2019, 16(5): 72-77.
- Zhang Y H, Ma G H, Song L P. Effect of factory farming on feeding iced fish and formulated feed on muscle quality of *Channa argus*[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2019, 16(5): 72-77 (in Chinese).
- [29] 张亚光, 王秋荣, 王志勇. 养殖鱼类肉质改良与评价的研究进展 [J]. 渔业研究, 2015, 37(2): 172-178.
- Zhang Y G, Wang Q R, Wang Z Y. Research advance on flesh quality improvement and evaluation of farmed fish[J]. Journal of Fisheries Research, 2015, 37(2): 172-178 (in Chinese).
- [30] 解竞静. 大黄鱼肌纤维生长和脂肪沉积规律以及甲状腺激素的作用 [M]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- Xie J J. Patterns of myofiber growth and muscle lipid deposition and the role of thyroid hormones in large yellow croakers[M]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006 (in Chinese).
- [31] 刘丽杰, 彭凯. 水产配合饲料替代冰鲜杂鱼的研究进展 [J]. 饲料研究, 2021, 44(21): 141-144.
- Liu L J, Peng K. Research progress on substitution of iced trash fish with aquatic compound feed[J]. Feed Research, 2021, 44(21): 141-144 (in Chinese).

Effects of chilled trash fish and formulated feed on growth performance, feed utilization and muscle nutrient quality of yellow drum (*Nibea albiflora*)

WANG Ligai¹, YAO Gaohua², MA Shipeng³, LI Haidong³, CHEN Ruiyi¹,
TAN Peng¹, HU Weihua¹, XU Dongdong^{1*}

1. Zhejiang Provincial Key Lab of Mariculture & Enhancement, Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316000, China;
2. Zhejiang Fisheries Technology Extension Center, Hangzhou 310012, China;
3. College of Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China

Abstract: *Nibea albiflora* is an important cage-cultured fish in the East China Sea. An 8-week feeding trial was conducted to evaluate the effects of a special formulated feed and chilled trash fish on the growth performance, feed utilization, and muscle nutrient quality of juvenile *N. albiflora*. A total of 540 healthy yellow drum with an initial body weight of (34.60±0.05) g were randomly divided into three groups, with three replicates per group. The groups were fed either special formulated feed, commercial formulated feed, or chilled trash fish throughout the trial. Results indicated that the weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), and protein efficiency rate (PER) of fish fed special formulated feed were 211.52%, 2.03%/d, and 160.92%, respectively. These values were significantly higher than those of fish fed the chilled trash fish diet (149.97%, 1.64%/d, 67.04%) and the commercial formulated diet (187.33%, 1.88%/d, 144.37%) ($P<0.05$). The feed conversion rate (FCR) of fish fed chilled trash fish was significantly higher than that of fish fed formulated feed ($P<0.05$). Fish fed formulated feed exhibited significantly higher hepatosomatic index (HSI) and viscerosomatic index (VSI) compared to those fed chilled trash fish ($P<0.05$). The muscle lipid content of fish fed the special formulated feed was significantly higher than that of fish fed commercial formulated feed and chilled trash fish, while the muscle moisture content was significantly lower ($P<0.05$). The total amino acid (TAA), essential amino acid (EAA), arachidonic acid (ARA), and docosahexaenoic acid (DHA) contents of fish fed chilled trash fish were significantly higher than that of fish fed formulated feed ($P<0.05$). Histological staining of muscle tissue with H.E revealed that muscle fibers of fish fed formulated feed and chilled trash fish were irregular polygons with clear texture and tight arrangement. However, the muscle fiber density of fish fed chilled trash fish was significantly higher than that of fish fed formulated feed ($P<0.05$). In conclusion, the growth performance and feed utilization of fish fed the special formulated feed were superior to that of fish fed chilled trash fish. However, the muscle amino acid and long-chain polyunsaturated fatty acid (LC-PUFA) contents of fish fed chilled trash fish were higher than that of fish fed the special formulated feed. This study provides a theoretical basis for the efficient and healthy culture of *N. albiflora* and the optimization of its formulated feed.

Key words: *Nibea albiflora*; special formulated feed; chilled trash fish; growth performance; muscle nutrient quality

Corresponding author: XU Dongdong. E-mail: xudong0580@163.com

Funding projects: Natural Science Foundation Project of Zhejiang Province (LY24C190004); Zhejiang Province “Three Agriculture Nine Side” Science and Technology Cooperation Program Project (2023SNJF078); Zhejiang Provincial Outstanding Youth Fund (LR21C190001); National Natural Science Foundation of China (31972785)