

# 两种池塘养殖模式下异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)养成品质及脏器相关生理特征的差异\*

李有志<sup>1</sup> 戎华南<sup>1,2</sup> 陈雨<sup>1</sup> 申屠基康<sup>3</sup> 王志铮<sup>1</sup>

(1. 浙江海洋大学水产学院 浙江舟山 316022; 2. 慈溪市水产技术推广中心 浙江慈溪 315300; 3. 宁波市海洋与渔业研究院 浙江宁波 315048)

**摘要** 水产养殖动物的生存策略往往会因养殖模式的变更而发生改变,并导致其养成品体色、肌肉品质和脏器生理特征等均出现一定程度的差异。以池塘生态主养模式(M<sub>1</sub>)和池塘生态套养模式(M<sub>2</sub>)下养殖 7 个月的异育银鲫夏花苗种为研究对象,以体表色差、背肌物性、全鱼营养成分和排氨率、耗氧率、窒息点以及脏器消化酶和抗氧化酶活力为测定指标,较系统开展了两者间养成品质及脏器相关生理特征的差异研究。结果表明: (1) 两者间在体表色差上具较好的区分度,其中 M<sub>2</sub> 实验个体的体色更接近于池底背景色,具更好的拟境隐蔽性; (2) 在所测 7 项背肌物性指标中,两者间具有显著差异的为硬度、弹性、胶黏性和耐咀性,且均呈 M<sub>1</sub>>M<sub>2</sub> (P<0.05); (3) 全鱼一般营养成分中,除灰分和粗蛋白含量均呈 M<sub>1</sub>≈M<sub>2</sub> (P>0.05)外,水分和粗脂肪含量分别呈 M<sub>1</sub>>M<sub>2</sub> (P<0.05)和 M<sub>2</sub>>M<sub>1</sub> (P<0.05); (4) 在所测 17 种氨基酸中,在含量上具显著差异的仅为组氨酸,呈 M<sub>1</sub>>M<sub>2</sub> (P<0.05),在各类氨基酸含量上具显著差异的仅为∑SEAA、∑NEAA 和∑FAA,且均呈 M<sub>1</sub>>M<sub>2</sub> (P<0.05); (5) 共检到 4 种饱和脂肪酸、5 种单不饱和脂肪酸和 10 种多不饱和脂肪酸,其中 ∑SFA 和 ∑MUFA 均呈 M<sub>1</sub><M<sub>2</sub> (P<0.05),而 ∑PUFA 则呈 M<sub>1</sub>>M<sub>2</sub> (P<0.05); (6) M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验个体在夜均、昼均、日均耗氧率和排氨率上均无组间差异(P>0.05),昼夜耗氧节律也均呈昼均>日均>夜均(P<0.05),两者的窒息点水中氧含量呈 M<sub>1</sub>>M<sub>2</sub> (P<0.05),昼夜排氨节律分别呈昼均~夜均~日均(P>0.05)和昼均>日均>夜均(P<0.05); (7) 胃蛋白酶和肝脂肪酶活力均呈 M<sub>1</sub>≈M<sub>2</sub> (P>0.05),肠淀粉酶活力则呈 M<sub>1</sub><M<sub>2</sub> (P<0.05),除肝脏 CAT、POD 呈 M<sub>1</sub><M<sub>2</sub> (P<0.05)外,组间心、鳃抗氧化酶(SOD、POD、CAT)以及肝脏 SOD 酶活力均呈 M<sub>1</sub>≈M<sub>2</sub> (P>0.05)。研究结果可为我国异育银鲫养成品质鉴定系统的构建以及生态高值养成技术研究及开发提供基础资料。

**关键词** 养殖模式; 异育银鲫; 体表色差; 背肌质构; 营养成分组成; 生理特征

**中图分类号** Q953; S96 doi: 10.11693/hyhz20221200341

体色和食用价值既是评价水产养殖动物养殖品质的重要内容,也是反映其生存福利状况的具体表现。消化、呼吸、排泄和抗氧化生理作为水产动物机体代谢互为关联的方面,均与其所处生存环境条件息息相关(黄溢明, 1982; 刘松岩, 2006)。Wagner 等

(2001)指出,同种生物的不同群体为了经常适应不同的生活环境而形成了各自特有的生物学特性,包括生长、发育、繁殖以及对环境因子的适应力等。王志铮等(2012, 2013a, 2013b)的研究也表明,水产养殖动物的生存策略会因养殖模式的变更而发生改变,并

\* 国家星火计划项目, 2013GA701022 号; 中央财政重大农业技术推广项目, YY2017003 号; 慈溪市农业科技重点项目, CN201901 号; 宁波市重大科技任务攻关项目, 2022Z183 号。李有志, 硕士研究生, E-mail: 1156604931@qq.com; 同等贡献第一作者: 戎华南, 高级工程师, 硕士生导师, E-mail: 13706742262@139.com

通信作者: 王志铮, 教授, E-mail: wzz\_1225@163.com

收稿日期: 2022-12-28, 收修改稿日期: 2023-02-22

导致其养成品质、体色、肌肉品质、血清生化和脏器消化酶与抗氧化酶活力均出现一定程度的差异。因此,比较不同养殖模式下目标水产养殖动物机体生理代谢水平的差异,进而深入全面探究其体色和食用价值由此发生改变的逻辑关联,对于优化目标水产养殖动物的养殖模式与工艺参数,进而推进其健康高质养殖具有重要现实意义。

异育银鲫系我国七大大宗淡水鱼类之一(戈贤平, 2010),广泛养殖于我国沿海和内陆省份,池塘主养和池塘套养为其最为常见的传统养殖模式(郑劲松, 2004; 杨兴丽等, 2022)。为探析不同养殖模式下异育银鲫的生存对策差异,本研究团队以生态主养模式( $M_1$ )和生态套养模式( $M_2$ )下养殖 7 月龄的异育银鲫夏花鱼苗为研究对象,从形质特征和生物学性状对体质量影响效果两个维度,揭示了  $M_1$  和  $M_2$  实验群体为分别贯彻并实施积极取食和伏击取食策略,依次采取的运动和摄食并重的高能耗“添加模式”(additivity model)和更专注摄食的低能耗“优先模式”(prioritization model),是导致两者在增重机制和  $r$ - $K$  生存对策选择轴上均发生明显乖离的本质原因(陈雨等, 2022; 徐英杰等, 2023)。为进一步聚焦  $M_1$  和  $M_2$  实验群体间的生存对策差异,并印证上述研究结果的可靠性,本研究于 2020 年 12 月中旬较系统开展了  $M_1$  和  $M_2$  实验群体间体表色差、背肌质构、全鱼营养成分以及脏器消化、呼吸、排泄、抗氧化生理的差异研究,以期对银鲫品质鉴定系统的构建以及生态高值养成技术研究与开发提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

**1.1.1 供试鲫** 实验用异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的来源及选取要求均完全同陈雨等(2022)。

**1.1.2 实验用水** 为经自然曝气 48 h 的自来水, pH (7.56±0.02)、DO (7.49±0.05) mg/L,水质符合《NY 5051-2001 无公害食品淡水养殖用水水质》要求。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 体表色差的测定** 随机选取  $M_1$  和  $M_2$  实验个体各 3 尾,以鳃盖部、尾柄部、体背部和体腹部的中央区域以及侧线部(按等间距法沿侧线走向设置 5 个测定位点,取其均值)为测定部位,采用 CR-400 色差仪(柯尼卡美能达控股株式会社),逐尾测定体表 Hunter LAB 值( $L$  值由黑至白的取值范围为 0~100,  $A$

值由绿至红的取值范围为-60~60,  $B$  值由黄到蓝的取值范围为-60~60)。

**1.2.2 背肌物性的测定** 任取  $M_1$  和  $M_2$  实验个体各 5 尾,逐尾刮除背部鳞片并用手术刀和手术剪割取背肌组织块制成规格为 2 cm×2 cm×1 cm 的鲜样后,即刻用 TA.XT Plus 型食品物性测试仪测定硬度、黏性、弹性、内聚性、胶黏性、耐咀嚼性和回复性等 7 项物性指标。物性测试仪采用 TPA 模式,测试探头为 P/5,测试前、后移动速度均为 5 mm/s,测试移动速度为 1 mm/s,测距为 3 mm。

**1.2.3 营养成分的测定** 随机选取停食暂养 2 d 后的  $M_1$  和  $M_2$  实验个体各 30 尾进行全鱼营养成分测定。其中,水分、灰分、粗脂肪、粗蛋白含量以及脂肪酸组成的样品处理及检测方法分别按 GB 5009.3-2016 (直接干燥法)、GB 5009.4-2016、GB 5009.6-2016、GB 5009.5-2016 和 GB/T 5009.124-2003 (酸碱水解法),氨基酸组成采用日立 L-8900 高速氨基酸分析仪进行测定。

**1.2.4 耗氧率、排氮率和窒息点的测定** 在室温 26℃条件下,以容量为 10 L 为透明塑料水桶(实验实际容积为 5 L)为呼吸室,各呼吸室均放入同一养殖模式实验鱼 4 尾,按杨程等(2016)的方法分别测定  $M_1$  和  $M_2$  实验个体的耗氧率、排氮率和窒息点。其中,  $M_1$  和  $M_2$  实验个体的排氮率和耗氧率测定均各设 3 个重复,窒息点测定均各设 4 个重复。

**1.2.5 脏器消化酶和抗氧化酶活力的测定** 任取  $M_1$  和  $M_2$  实验鱼各 3 尾,于冰盘上逐尾解剖摘取心、肝、胃、肠和鳃,并去除其内容物及附于其上的脂肪和结缔组织,4℃双蒸水冲净,滤纸吸干表面水分后,将各脏器分别放入规格为 5 mL 的离心管内并作好标记保存于-80℃超低温冰箱备测。其中,消化酶测定指标为胃蛋白酶、肠淀粉酶和肝脂肪酶,测定抗氧化酶的靶器官为心、鳃、肝,测定指标为 SOD (超氧化物歧化酶)、CAT (过氧化氢酶)和 POD (过氧化物酶)。测定上述酶活的试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,测定步骤及计算方法均按所附说明书。

### 1.3 数据处理

借助 SPSS17.0 对实验所得各项数据进行统计分析,并比较组内、组间差异显著性( $P<0.05$  为差异显著)。

## 2 结果

### 2.1 体表色差

由表 1 可见,  $M_1$  和  $M_2$  实验个体间在体表色差上

表 1 两种池塘养殖模式下实验鲫的体表色泽 Hunter LAB 值

Tab.1 Hunter LAB values of body surface color of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes

| 测量部位   | 测量指标 | 养殖模式( $n=3$ )           |                         |
|--------|------|-------------------------|-------------------------|
|        |      | $M_1$                   | $M_2$                   |
| 鳃盖部中央区 | L    | 75.81±2.23 <sup>a</sup> | 67.29±1.36 <sup>b</sup> |
|        | A    | 0.82±0.09 <sup>a</sup>  | 0.33±0.21 <sup>b</sup>  |
|        | B    | 10.45±0.45 <sup>a</sup> | 9.76±0.77 <sup>a</sup>  |
| 体背部中央区 | L    | 17.85±1.24 <sup>a</sup> | 18.36±0.34 <sup>a</sup> |
|        | A    | -0.51±0.09 <sup>a</sup> | -0.18±0.07 <sup>b</sup> |
|        | B    | 1.32±0.14 <sup>a</sup>  | 2.34±0.41 <sup>b</sup>  |
| 体腹部中央区 | L    | 71.25±0.38 <sup>a</sup> | 71.96±2.24 <sup>a</sup> |
|        | A    | -1.25±0.17 <sup>a</sup> | -0.52±0.24 <sup>b</sup> |
|        | B    | 8.43±0.48 <sup>a</sup>  | 7.83±0.93 <sup>a</sup>  |
| 侧线部    | L    | 73.48±0.61 <sup>a</sup> | 65.8±1.06 <sup>b</sup>  |
|        | A    | -1.17±0.23 <sup>a</sup> | 0.06±0.20 <sup>b</sup>  |
|        | B    | 8.69±0.42 <sup>a</sup>  | 8.67±1.12 <sup>a</sup>  |
| 尾柄部中央区 | L    | 73.02±2.42 <sup>a</sup> | 67.37±3.73 <sup>a</sup> |
|        | A    | -1.50±0.20 <sup>a</sup> | -0.52±0.24 <sup>b</sup> |
|        | B    | 8.98±0.50 <sup>a</sup>  | 10.86±0.31 <sup>b</sup> |

注: a、b 标注组间差异( $P<0.05$ ), 字母相同表示无差异, 下同

的异同主要表现为: (1)  $L$  值除鳃盖部中央区和侧线部均呈  $M_1>M_2$  ( $P<0.05$ )外, 其余测定部位均呈  $M_1\approx M_2$  ( $P>0.05$ ), 即  $M_1$  实验个体的侧线部和鳃盖部中央区均较  $M_2$  更显亮白; (2)  $A$  值仅鳃盖部中央区呈  $M_1>M_2$  ( $P<0.05$ ), 其余测定部位均呈  $M_1<M_2$  ( $P<0.05$ ); (3)  $B$  值除体背部中央区和尾柄部中央区均呈  $M_1<M_2$  ( $P<0.05$ )外, 其余测定部位均呈  $M_1\approx M_2$  ( $P>0.05$ )。综上所述,  $M_1$  与  $M_2$  实验个体间在体表色差上具较好的区分度。鉴于异育银鲫属侧扁体型的底层鱼类,  $M_2$  实验个体的侧线部和鳃盖中央区体表色差均较  $M_1$  更黑的结果(表 1, 图 1), 表明  $M_2$  实验个体的体色更接近于土池养殖环境下的池底部背景色, 较  $M_1$  具更好的拟境隐蔽性。

## 2.2 背肌物性

由表 2 可见, 在所测 7 项背肌物性指标中, 除黏性、内聚性和回复性等 3 项指标均呈  $M_1\approx M_2$  ( $P>0.05$ )外, 余下的硬度、弹性、胶黏性和耐咀嚼性等 4 项指标均呈  $M_1>M_2$  ( $P<0.05$ )。由此可知,  $M_1$  和  $M_2$  实验个体间背肌物性的相似性仅为 42.8%, 具有较好的区分度, 且  $M_1$  实验个体的背肌较  $M_2$  更显紧实且富弹性, 具更佳食用口感。

## 2.3 一般营养成分

由表 3 可见, 全鱼一般营养成分中除灰分和粗蛋

白含量均呈  $M_1\approx M_2$  ( $P>0.05$ )外, 水分和粗脂肪含量分别呈  $M_1>M_2$  ( $P<0.05$ )和  $M_2>M_1$  ( $P<0.05$ ), 表明  $M_1$  实验个体较  $M_2$  具更高的脂肪氧化代谢水平。

## 2.4 脂肪酸组成

由表 4 可见,  $M_1$  与  $M_2$  实验个体在脂肪酸组成上的异同主要表现为: (1) 所检 4 种饱和脂肪酸的总含量  $\Sigma SFA$  呈  $M_1<M_2$  ( $P<0.05$ )。其中, 肉豆蔻酸甲酯( $C_{14:0}$ )和花生酸甲酯( $C_{20:0}$ )均呈  $M_1\approx M_2$  ( $P>0.05$ ), 棕榈酸甲酯( $C_{16:0}$ )和硬脂酸甲酯( $C_{18:0}$ )均呈  $M_1<M_2$  ( $P<0.05$ ); (2) 所检 5 种单不饱和脂肪酸的总含量

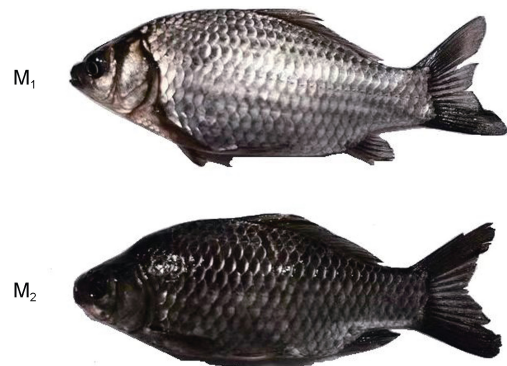


图 1 两种池塘养殖模式实验鲫的侧视图

Fig.1 Side view of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes

表 2 两种池塘养殖模式下实验鲫的背肌物性差异

Tab.2 Physical differences in dorsal muscle properties of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes

| 检测指标 | 养殖模式(n=5)                     |                               |
|------|-------------------------------|-------------------------------|
|      | M <sub>1</sub> (M±SE)         | M <sub>2</sub> (M±SE)         |
| 硬度   | 3267.322±110.883 <sup>a</sup> | 2035.219±124.042 <sup>b</sup> |
| 黏性   | -26.863±3.533 <sup>a</sup>    | -23.907±3.109 <sup>a</sup>    |
| 弹性   | 0.823±0.011 <sup>a</sup>      | 0.759±0.022 <sup>b</sup>      |
| 内聚性  | 0.350±0.012 <sup>a</sup>      | 0.325±0.011 <sup>a</sup>      |
| 胶黏性  | 998.556±33.819 <sup>a</sup>   | 698.675±52.459 <sup>b</sup>   |
| 耐咀嚼性 | 851.408±33.426 <sup>a</sup>   | 531.11±61.213 <sup>b</sup>    |
| 回复性  | 0.228±0.001 <sup>a</sup>      | 0.271±0.024 <sup>a</sup>      |

表 3 两种池塘养殖模式下实验鲫的全鱼常规营养成分(单位: %)

Tab.3 Whole-body nutrient composition of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes

| 测定指标 | 养殖模式(g/100g)              |                           |
|------|---------------------------|---------------------------|
|      | M <sub>1</sub>            | M <sub>2</sub>            |
| 水分   | 72.833±0.464 <sup>a</sup> | 69.900±0.535 <sup>b</sup> |
| 灰分   | 4.640±0.361 <sup>a</sup>  | 4.560±0.226 <sup>a</sup>  |
| 粗脂肪  | 2.733±0.125 <sup>a</sup>  | 5.567±0.125 <sup>b</sup>  |
| 粗蛋白  | 17.733±0.262 <sup>a</sup> | 18.533±0.873 <sup>a</sup> |

表 4 两种池塘养殖模式下实验鲫脂肪酸组成的差异

Tab.4 Differences in fatty acid composition of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes

| 测定指标                       |                                 | 养殖模式                      |                           |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                            |                                 | M <sub>1</sub>            | M <sub>2</sub>            |
| 饱和脂肪酸 SFA                  | 肉豆蔻酸甲酯(C <sub>14:0</sub> )      | 2.166±0.024 <sup>a</sup>  | 2.144±0.010 <sup>a</sup>  |
|                            | 棕榈酸甲酯(C <sub>16:0</sub> )       | 14.313±0.15 <sup>a</sup>  | 15.261±0.027 <sup>b</sup> |
|                            | 硬脂酸甲酯(C <sub>18:0</sub> )       | 5.459±0.06 <sup>a</sup>   | 6.938±0.038 <sup>b</sup>  |
|                            | 花生酸甲酯(C <sub>20:0</sub> )       | 0.321±0.084 <sup>a</sup>  | 0.308±0.037 <sup>a</sup>  |
| 单不饱和脂肪酸 MUFA               | 棕榈烯酸甲酯(C <sub>16:1n</sub> )     | 5.140±0.048 <sup>a</sup>  | 5.928±0.067 <sup>b</sup>  |
|                            | 油酸(C <sub>18:1n-9</sub> )       | 27.606±0.14 <sup>a</sup>  | 28.351±0.112 <sup>b</sup> |
|                            | 二十碳一烯酸(C <sub>20:1n-9</sub> )   | 2.541±0.02 <sup>a</sup>   | 3.426±0.049 <sup>b</sup>  |
|                            | 二十二碳一烯酸(C <sub>22:1n-11</sub> ) | 0.542±0.186 <sup>a</sup>  | 0.289±0.051 <sup>a</sup>  |
| 多不饱和脂肪酸 PUFA               | 亚油酸(C <sub>18:2n-6</sub> )      | 21.446±0.074 <sup>a</sup> | 17.063±0.033 <sup>b</sup> |
|                            | α-亚麻酸(C <sub>18:3n-3</sub> )    | 4.778±0.064 <sup>a</sup>  | 4.592±0.028 <sup>b</sup>  |
|                            | γ-亚麻酸(C <sub>18:3n-6</sub> )    | 0.891±0.014 <sup>a</sup>  | 0.484±0.012 <sup>b</sup>  |
|                            | 十八碳四烯酸(C <sub>18:4n-3</sub> )   | 0.491±0.029 <sup>a</sup>  | 0.964±0.036 <sup>b</sup>  |
|                            | 二十碳二烯酸(C <sub>20:2n-6</sub> )   | 0.751±0.011 <sup>a</sup>  | 1.005±0.007 <sup>b</sup>  |
|                            | 二十二碳四烯酸(C <sub>20:4n-3</sub> )  | 0.508±0.063 <sup>a</sup>  | 0.910±0.015 <sup>b</sup>  |
|                            | 花生四烯酸(C <sub>20:4n-6</sub> )    | 4.357±0.020 <sup>a</sup>  | 2.178±0.064 <sup>b</sup>  |
|                            | EPA(C <sub>20:5n-3</sub> )      | 2.083±0.020 <sup>a</sup>  | 2.304±0.033 <sup>b</sup>  |
|                            | 二十二碳四烯酸(C <sub>22:4n-6</sub> )  | 0.739±0.031 <sup>a</sup>  | 0.355±0.036 <sup>b</sup>  |
|                            | DPA(C <sub>22:5n-3</sub> )      | 1.226±0.018 <sup>a</sup>  | 1.031±0.014 <sup>b</sup>  |
| DHA(C <sub>22:6n-3</sub> ) | 4.643±0.039 <sup>a</sup>        | 6.470±0.143 <sup>b</sup>  |                           |
| ΣSFA                       |                                 | 22.259±0.143 <sup>a</sup> | 24.651±0.034 <sup>b</sup> |
| ΣMUFA                      |                                 | 34.514±0.145 <sup>a</sup> | 35.599±0.172 <sup>b</sup> |
| ΣPUFA                      |                                 | 43.226±0.010 <sup>a</sup> | 39.75±0.206 <sup>b</sup>  |

$\Sigma$ MUFA 呈  $M_1 < M_2$  ( $P < 0.05$ )。其中, 棕榈烯酸甲酯( $C_{16:1n}$ )、油酸( $C_{18:1n-9}$ )和二十碳一烯酸( $C_{20:1n-9}$ )均呈  $M_1 < M_2$  ( $P < 0.05$ ), 仅二十二碳一烯酸( $C_{22:1n-11}$ )则呈  $M_1 \approx M_2$  ( $P > 0.05$ ); (3) 所检 10 种多不饱和脂肪酸的总含量  $\Sigma$ PUFA 呈  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ )。其中, 十八碳四烯酸( $C_{18:4n-3}$ )、二十碳二烯酸( $C_{20:2n-6}$ )、二十二碳四烯酸( $C_{22:4n-3}$ )、EPA ( $C_{20:5n-3}$ )呈  $M_1 < M_2$  ( $P < 0.05$ ), 而亚油酸( $C_{18:2n-6}$ )、 $\alpha$ -亚麻酸( $C_{18:3n-3}$ )、 $\gamma$ -亚麻酸( $C_{18:3n-6}$ )、花生四烯酸( $C_{20:4n-6}$ )、二十二碳四烯酸( $C_{22:4n-6}$ )、DPA ( $C_{22:5n-3}$ )则均呈  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ )。综上可知, 池塘养

殖模式的变更可引起实验鲫体内各类脂肪酸含量占比出现显著改变。

## 2.5 氨基酸组成

由表 5 可见, 在所测 17 种氨基酸含量上,  $M_1$  与  $M_2$  实验个体间具显著差异的仅为组氨酸, 呈  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ ); 在各类氨基酸含量上, 除  $\Sigma$ EAA 和  $\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ NEAA 均呈  $M_1 \approx M_2$  ( $P > 0.05$ )外,  $\Sigma$ SEAA、 $\Sigma$ NEAA 和  $\Sigma$ FAA 均呈  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ )。由此可知,  $M_1$  实验个体在氨基酸水平上较  $M_2$  具更高的食用营养价值。

表 5 两种池塘养殖模式下异育银鲫的氨基酸组成差异(单位: g/100g)

Tab.5 Differences in amino acid composition of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes

| 测定指标                        | 养殖模式                      |                           |                          |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                             | $M_1$                     | $M_2$                     |                          |
| 必需氨基酸 EAA                   | 苏氨酸(Thr)                  | 1.877±0.005 <sup>a</sup>  | 1.731±0.076 <sup>a</sup> |
|                             | 缬氨酸(Val)                  | 1.853±0.023 <sup>a</sup>  | 1.704±0.063 <sup>a</sup> |
|                             | 蛋氨酸(Met)                  | 2.667±0.134 <sup>a</sup>  | 2.605±0.085 <sup>a</sup> |
|                             | 异亮氨酸(Ile)                 | 1.01±0.008 <sup>a</sup>   | 0.929±0.059 <sup>a</sup> |
|                             | 亮氨酸(Leu)                  | 1.633±0.003 <sup>a</sup>  | 1.497±0.086 <sup>a</sup> |
|                             | 苯丙氨酸(Phe)                 | 2.783±0.008 <sup>a</sup>  | 2.665±0.089 <sup>a</sup> |
|                             | 赖氨酸(Lys)                  | 3.992±0.021 <sup>a</sup>  | 3.776±0.197 <sup>a</sup> |
| 半必需氨基酸 SEAA                 | 组氨酸(His)                  | 5.264±0.051 <sup>a</sup>  | 3.708±0.173 <sup>b</sup> |
|                             | 精氨酸(Arg)                  | 1.917±0.023 <sup>a</sup>  | 1.832±0.104 <sup>a</sup> |
| 非必需氨基酸 NEAA                 | 天门冬氨酸(Asp)**              | 2.277±0.013 <sup>a</sup>  | 2.097±0.135 <sup>a</sup> |
|                             | 谷氨酸(Glu)**                | 2.039±0.007 <sup>a</sup>  | 1.871±0.102 <sup>a</sup> |
|                             | 甘氨酸(Gly)*                 | 0.497±0.016 <sup>a</sup>  | 0.473±0.070 <sup>a</sup> |
|                             | 丙氨酸(Ala)*                 | 1.001±0.015 <sup>a</sup>  | 0.949±0.060 <sup>a</sup> |
|                             | 丝氨酸(Ser)                  | 1.854±0.015 <sup>a</sup>  | 1.688±0.073 <sup>a</sup> |
|                             | 胱氨酸(Cys)                  | 3.656±0.101 <sup>a</sup>  | 3.754±0.200 <sup>a</sup> |
|                             | 酪氨酸(Tyr)                  | 3.452±0.042 <sup>a</sup>  | 3.402±0.183 <sup>a</sup> |
|                             | 脯氨酸(Pro)                  | 1.581±0.009 <sup>a</sup>  | 1.457±0.083 <sup>a</sup> |
| 必需氨基酸总量 $\Sigma$ EAA        | 15.816±0.130 <sup>a</sup> | 14.906±0.512 <sup>a</sup> |                          |
| 半必需氨基酸总量 $\Sigma$ SEAA      | 7.181±0.032 <sup>a</sup>  | 5.540±0.234 <sup>b</sup>  |                          |
| 非必需氨基酸总量 $\Sigma$ NEAA      | 16.356±0.159 <sup>a</sup> | 15.690±0.237 <sup>b</sup> |                          |
| 呈味氨基酸总量 $\Sigma$ FAA        | 12.049±0.050 <sup>a</sup> | 11.456±0.152 <sup>b</sup> |                          |
| $\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ NEAA | 0.967±0.010 <sup>a</sup>  | 0.950±0.020 <sup>a</sup>  |                          |

注: 上标\*\*、\*分别示甘味氨基酸和鲜味氨基酸

## 2.6 耗氧率、排氨率与窒息点

由图 2 和图 3 可见,  $M_1$  与  $M_2$  实验个体间在耗氧率、排氨率与窒息点上的异同主要表现为: (1)  $M_1$  实验个体的昼均、夜均和日均耗氧率均与  $M_2$  实验个体无显著差异( $P > 0.05$ ), 且两者的耗氧昼夜节律也均呈昼均 > 日均 > 夜均( $P < 0.05$ ), 表明异育银鲫属昼行性鱼类, 其昼均、夜均和日均耗氧率以及昼夜耗氧节律均

未因池塘养殖模式的变更而发生实质性改变; (2)  $M_1$  实验个体的昼均、夜均和日均排氨率均与  $M_2$  实验个体无显著差异( $P > 0.05$ ), 但两者的昼夜排氨节律则分别呈昼均  $\approx$  夜均  $\approx$  日均( $P > 0.05$ )和昼均 > 日均 > 夜均( $P < 0.05$ ), 表明池塘养殖模式的变更可引起实验鲫昼夜排氨节律的显著改变; (3)  $M_1$  实验个体的窒息点水中氧含量显著低于  $M_2$  实验个体( $P < 0.05$ ), 表明

M<sub>1</sub> 较 M<sub>2</sub> 实验个体具更强的耐低氧能力。

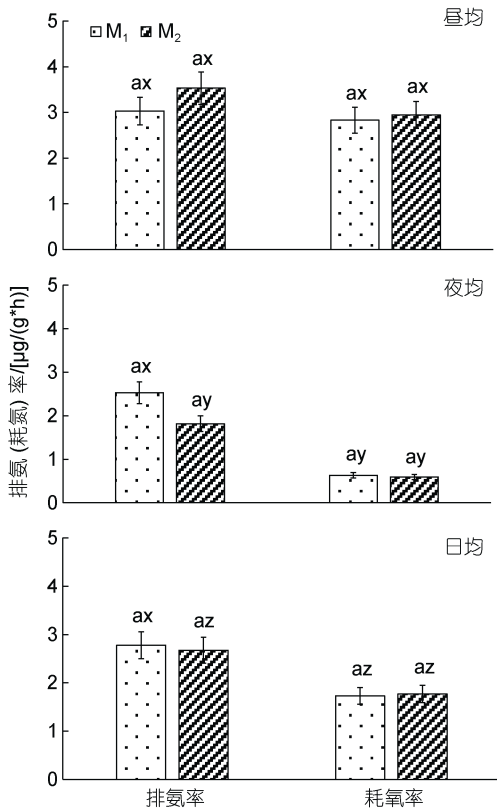


图 2 两种池塘养殖模式下实验鲫的耗氧率和排氨率

Fig.2 Oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes  
注: 上标 a、b 示组间差异, 上标 x、y、z 示组内差异, 上标相同字母示无显著差异

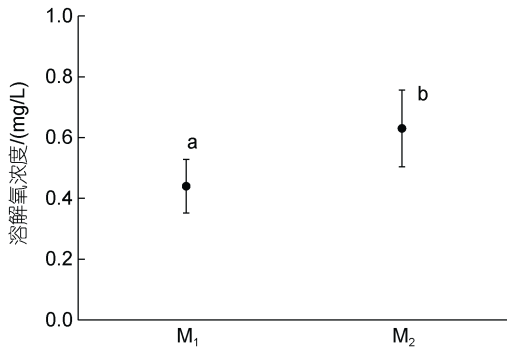


图 3 两种池塘养殖模式下实验鲫窒息点的水中含氧量

Fig.3 Oxygen content in the water at the asphyxia point of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes

### 2.7 脏器消化酶和抗氧化酶活力

由图 4 和图 5 可见, M<sub>1</sub> 与 M<sub>2</sub> 实验个体间在脏器消化酶和抗氧化酶活力上的异同主要表现为: (1) 从脏器消化酶活力看, 实验鲫的胃蛋白酶和肝脂肪酶活力均呈 M<sub>1</sub>≈M<sub>2</sub> (P>0.05), 而肠淀粉酶活力则呈

M<sub>1</sub><M<sub>2</sub> (P<0.05), 表明池塘养殖模式的变更可导致实验鲫肠道消化压力的显著改变; (2) 从脏器抗氧化酶活力看, 除肝 CAT、POD 呈 M<sub>1</sub><M<sub>2</sub> (P<0.05)外, 心、鳃 SOD、POD、CAT 以及肝 SOD 酶活力均呈 M<sub>1</sub>≈M<sub>2</sub> (P>0.05), 表明, 池塘养殖模式的变更可导致肝脏抗氧化生理的显著改变。

## 3 讨论

### 3.1 实验鲫取食策略与养殖品质间的相关性

动物的运动代谢和摄食代谢既是两个互为关联的重要生理过程(Hicks *et al*, 2004; Fu *et al*, 2007), 也是影响进而决定鱼类养成品质的主要代谢途径(王志铮等, 2012, 2013a)。因此, 本研究所涉 M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 实验群体间的养成品质差异, 无疑与两者分别所采取的积极取食为主和伏击取食为主的取食策略密切相关(徐英杰等, 2023)。即(1)鲫属侧扁型底层鱼类, M<sub>2</sub> 实验个体鳃盖中央区和侧线部体色较 M<sub>1</sub> 均显著偏黑 (P<0.05), 具更好的拟境隐蔽性的结果(表 1, 图 1),

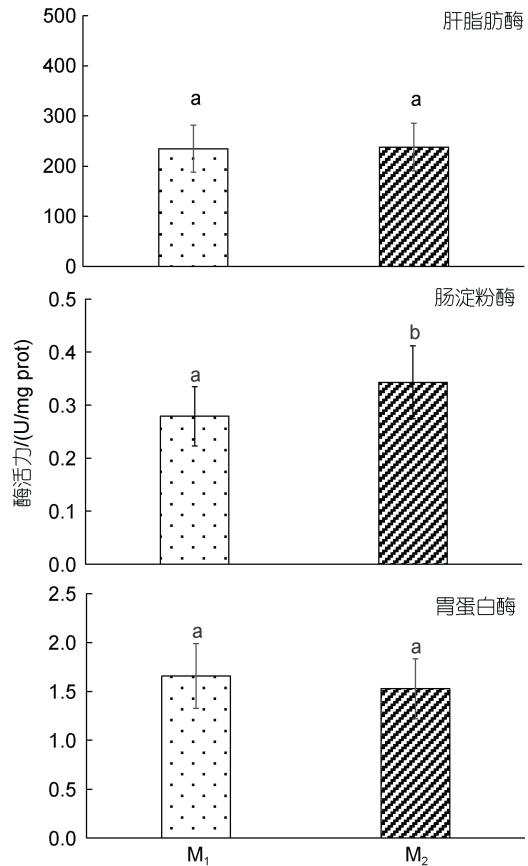


图 4 两种池塘养殖模式下实验鲫的脏器消化酶活力

Fig.4 Digestive enzyme activities in the organs of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes

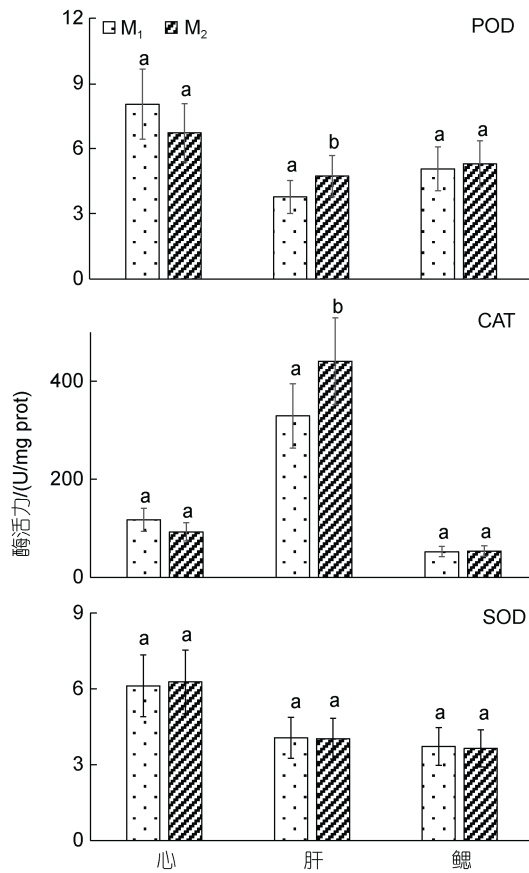


图5 两种池塘养殖模式下实验鲫脏器的抗氧化酶活力  
Fig.5 Antioxidant enzyme activities in the organs of experimental *C. auratus gibelio* in two pond aquaculture modes

更有助于其贯彻以伏击取食为主的取食策略; (2) 从背肌质构和全鱼一般营养成分组成看, M<sub>1</sub> 实验个体的背肌硬度、弹性、胶黏性和耐咀嚼性均显著大于 M<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ ), 更显紧实且富弹性(表 2), 以及仅体脂含量显著小于 M<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ )和水分含量显著大于 M<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ ), 具更高体脂氧化代谢水平(表 3)的结果, 既与大湖养殖模式团头鲂背肌亮度、白度、弹性、咀嚼性、回复性和水分含量均显著大于普通池塘养殖模式, 而粗脂肪含量则显著低于池塘养殖模式的结果(李温蓉等, 2022)相近, 也与种草养殖模式草鱼肌肉白度、硬度、咀嚼性、回复性以及水分含量、胶原蛋白含量和胶原纤维致密度均显著高于普通养殖模式的结果(张曦等, 2021; 温利等, 2022)相似, 在反映 M<sub>1</sub> 实验个体以积极取食为主的取食策略的同时, 也表明改善养殖环境可显著增进养殖鱼类的运动能力并增强其摄食代谢强度; (3) 一般而言, 脂类的营养价值主要取决于 PUFA 的类型和含量。从全鱼脂肪酸和氨基酸组成看, 本研究中 M<sub>1</sub> 实验个体全鱼  $\Sigma$ SFA 与  $\Sigma$ MUFA 均显著小于 M<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ ),  $\Sigma$ PUFA 显著大于

M<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ ) (表 4), 以及  $\Sigma$ SEAA、 $\Sigma$ NEAA、 $\Sigma$ FAA 和组氨酸含量均显著大于 M<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ ) (表 5)的结果, 在揭示实验鲫体脂氧化代谢的主要底物为 SFA 与 MUFA 的同时, 也反映了 M<sub>2</sub> 实验个体因采取以残饵和腐屑为主要食源的伏击取食策略, 致使其食用营养价值明显劣于 M<sub>1</sub>。综上可知, 造成 M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 实验个体间养殖品质差异的本质系两者为更好地适应各自所处生存环境和食源质量而采取不同生存对策所致。另, 鉴于 M<sub>1</sub> 养殖模式实验鲫养殖品质明显优于 M<sub>2</sub> 的研究结果, 与适量种植水生植物可显著改善池塘养殖环境(Pokorny *et al*, 1990; 周遗品等, 2011)并有效提高水产养殖对象养成品质(刘鑫等, 2003; 徐增洪等, 2016)的结论相吻合, 建议在具体养殖生产实践中应以优化养殖水质和提高食源质量为导向, 通过提高目标养殖对象的生存福利以切实提升其养殖品质。

### 3.2 实验鲫脏器生理代谢机能与取食对策间的相关性

生命代谢特征既是表征水生生物所处生存环境优劣程度的重要依据, 也是反映水生生物健康程度和养成品质的重要指标。目标水产养殖对象往往会应养殖模式的改变而采取相应的生存对策, 并表露出不同的生命代谢特征(王志铮等, 2013b)。陈雨等(2022)由 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验群体生物学性状对体质量影响效应差异, 得出两者在  $r$ - $K$  生存对策选择轴上表露出明显偏离倾向的推论, 为我们从机体生理代谢角度阐释两者间取食对策的差异提供了重要启示。研究表明, 活性器官的脏器系数与机体代谢水平呈正相关(Itazawa *et al*, 1983; Oikawa *et al*, 1992)。经称量和计算, M<sub>1</sub> 实验个体心、鳃、胃、肝、肠等活性器官的质量及其脏器系数均显著大于 M<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ ) (陈雨等, 2022), 因而 M<sub>1</sub> 实验个体的机体代谢水平应远高于 M<sub>2</sub>, 这就为 M<sub>1</sub> 实验个体贯彻并实施以积极取食为主的取食策略奠定了扎实的生理基础。胃、肝、肠作为鱼类的重要消化器官和各种营养物质消化吸收与代谢的主要场所, 其发达程度直接影响鱼类的生长速度(马细兰等, 2009)。本研究中, 肠淀粉酶活力呈 M<sub>1</sub> < M<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ ), 而胃蛋白酶和肝脂肪酶活力均呈 M<sub>1</sub>  $\approx$  M<sub>2</sub> ( $P > 0.05$ )的结果(图 4), 无疑进一步印证了 M<sub>2</sub> 实验个体通过显著高企肠淀粉酶活力以贯彻并有效实施以残饵和腐屑为主要食源的伏击取食策略的可靠性。心、鳃担负着鱼类血液循环和气体交换的重要功能(Bushnell *et al*, 1992; Evans *et al*, 2005)。本研究中, M<sub>1</sub> 与 M<sub>2</sub> 实验个体间不仅在昼均、夜均、日均耗氧率和排氨率上均无组间差异( $P > 0.05$ ), 且在昼夜耗氧节律上也均呈昼均 >

日均>夜均( $P<0.05$ ) (图 2), 并结合两者在心、鳃抗氧化酶(SOD、CAT、POD)活力上亦均无组间差异( $P>0.05$ )的结果(图 5), 表明  $M_1$  与  $M_2$  实验个体均已适应各自所处的生存环境, 这就为两者分别固化各自适配的取食对策提供了重要的生理保障。肝脏系鱼类能量代谢的中枢器官, 在蛋白质、脂肪和糖类的分解与合成代谢中发挥着重要作用。实测结果表明, 本研究涉及实验鲫诸活性脏器中的质量及脏器系数均以肝脏为最大(陈雨等, 2022), 因此肝脏也是决定实验鲫机体代谢水平最为重要的代谢器官。鱼类的排氮率往往与其机体能量代谢中的蛋白质消耗占比呈正相关(李治等, 2005)。本研究中  $M_1$  与  $M_2$  实验个体昼夜排氮节律分别呈昼均~夜均~日均( $P>0.05$ )和昼均>日均>夜均( $P<0.05$ ) (图 2), 窒息点水中氧含量呈  $M_1<M_2$  ( $P<0.05$ ) (图 3), 以及肝脏 SOD 酶活力呈  $M_1\approx M_2$  ( $P>0.05$ ), 而 CAT 和 POD 酶活力则均呈  $M_1<M_2$  ( $P<0.05$ ) (图 5)的结果, 既反映了  $M_1$  实验个体依仗更强的机体耐低氧能力和肝脏抗氧化能力, 通过权衡“消耗—获利”, 在运动强度上采取了以积极取食为主的高能耗代谢策略, 为抵制脂肪过度消耗, 在蛋白质利用上采取了昼夜更显均衡的排氮机制; 也揭示了  $M_2$  实验个体面对高企的肝脏抗氧化压力和相对较弱的耐低氧能力, 在运动强度上采取了以伏击取食为主的低能耗代谢策略, 在蛋白质利用上采取了顺应昼夜耗氧节律的节能型排氮机制。综上可知, 引起实验鲫实施不同取食策略和昼夜排氮节律的内在机制主源于其机体内各类活性脏器对所处生存环境和食源质量的综合生理反应, 尤以肝脏抗氧化生理为甚。

#### 4 结论

(1)  $M_1$ 、 $M_2$  实验个体在体表色差、背肌物性和全鱼一般营养成分上均具较好的区分度。其中,  $M_1$  实验个体的背肌更显紧实且富弹性, 具更高的机体脂肪氧化代谢水平, 而  $M_2$  实验个体的体色则具更好的拟境隐蔽性。

(2) 实验鲫体脂氧化代谢的主要底物为 SFA 和 MUFA。因  $M_2$  实验个体的主要食源为残饵和腐屑, 劣于  $M_1$ , 致使其肠淀粉酶活力显著大于  $M_1$ , 而全鱼  $\Sigma$ PUFA、组氨酸和各类氨基酸含量均显著低于  $M_1$ 。

(3)  $M_1$ 、 $M_2$  实验个体的养成品质差异与它们分别所采取的积极取食为主和伏击取食为主的取食策略密切相关。造成实验鲫实施不同取食策略的内在机制主源于其机体内各类活性脏器对所处生存环境和食

源质量的综合生理反应, 尤以肝脏抗氧化生理为甚。即  $M_1$  实验个体依仗更强的机体耐低氧能力和肝脏抗氧化能力, 通过权衡“消耗—获利”, 在运动强度上采取了以积极取食为主的高能耗代谢策略, 为抵制脂肪过度消耗, 在蛋白质利用上采取了昼夜更显均衡的排氮机制;  $M_2$  实验个体面对高企的肝脏抗氧化压力和相对较弱的耐低氧能力, 在运动强度上采取了以伏击取食为主的低能耗代谢策略, 在蛋白质利用上采取了顺应昼夜耗氧节律的节能型排氮机制。

(4) 鉴于  $M_1$  实验个体的养成品质明显优于  $M_2$ , 建议在具体养殖生产实践中应以优化养殖水质和提高食源质量为导向, 通过提高目标养殖对象的生存福利以切实提升其养殖品质。

#### 参 考 文 献

- 马细兰, 张勇, 周立斌, 等, 2009. 脊椎动物雌雄生长差异的研究进展[J]. 动物学杂志, 44(2): 141-146.
- 王志铮, 杨磊, 朱卫东, 2012. 三种养殖模式下日本鳗鲡养成品的形质差异[J]. 应用生态学报, 23(5): 1385-1392.
- 王志铮, 付英杰, 杨磊, 等, 2013a. 三种养殖模式下日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 养成品体色和肌肉品质的差异[J]. 海洋与湖沼, 44(4): 1042-1049.
- 王志铮, 赵晶, 杨磊, 等, 2013b. 三种养殖模式下日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 养成品血清生化指标和脏器消化酶、抗氧化酶活力的差异[J]. 海洋与湖沼, 44(2): 403-408.
- 戈贤平, 2010. 我国大宗淡水鱼养殖现状及产业技术体系建设[J]. 中国水产(5): 5-9.
- 刘松岩, 2006. 环境胁迫对中华鲟体内自由基水平和抗氧化酶活力的影响[D]. 武汉: 华中农业大学.
- 刘鑫, 王哲, 张一, 等, 2003. 两种沉水植物对黄颡鱼 (*Pseudobagrus fulvidraco*) 夏花培育水体主要水质因子的影响[J]. 湖泊科学, 15(2): 184-188.
- 李治, 谢小军, 曹振东, 2005. 摄食对南方鮎耗氧和氨氮排泄的影响[J]. 水生生物学报, 29(3): 247-252.
- 李温蓉, 田明礼, 安玥琦, 等, 2022. 池塘养殖和大湖养殖对“华海 1 号”团头鲂鱼肉品质的影响[J]. 水产学报, 46(7): 1220-1234.
- 杨兴丽, 张芹, 李治勋, 等, 2022. 异育银鲫“中科 5 号”池塘生态增效养殖模式总结[J]. 科学养鱼(10): 79-80.
- 杨程, 刘哲宇, 朱卫东, 等, 2016. 水温对水产经济动物棘胸蛙 (*Paa spinosa*) 蝌蚪耗氧率、窒息点和排氮率的影响[J]. 海洋与湖沼, 47(6): 1233-1240.
- 张曦, 万莹, 席汝娟, 等, 2021. 种青养殖模式提升草鱼肌肉中胶原蛋白的相关研究[J]. 淡水渔业, 51(5): 70-75.
- 陈雨, 戎华南, 刘哲宇, 等, 2022. 两种池养模式下异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 生物学表型对体质量影响效果的差异分析[J]. 海洋与湖沼, 53(5): 1161-1169.
- 周遗品, 刘雯, 雷泽湘, 等, 2011. 铜钱草对城市生活污水的净化效果[J]. 仲恺农业工程学院学报, 24(2): 9-12.
- 郑劲松, 2004. 池塘主养异育银鲫放养模式的研究[J]. 安徽农业科学, 32(2): 353-354.



- 徐英杰, 戎华南, 陈雨, 等, 2023. 两种池塘养殖模式下异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的形质特征差异分析[J]. 海洋与湖沼, 54(1): 204-213.
- 徐增洪, 刘国锋, 水燕, 等, 2016. 人工栽培水草对池塘养殖生态环境和虾蟹生长的影响[J]. 江苏农业科学, 44(6): 328-330, 331.
- 黄溢明, 1982. 环境因素对鱼类某些生理机能的影响[J]. 生理科学进展, 13(2): 162-167.
- 温利, 田明礼, 安玥琦, 2022. 不同养殖模式对草鱼的营养与食用品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 41(3): 244-251.
- BUSHNELL P G, JONES D R, FARRELL A P, 1992. The arterial system [J]. *Fish Physiology*, 12: 89-139.
- EVANS D H, PIERMARINI P M, CHOE K P, 2005. The multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste [J]. *Physiological Reviews*, 85(1): 97-177.
- FU S J, CAO Z D, PENG J L, 2007. Effect of feeding and fasting on excess post-exercise oxygen consumption in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 146(3): 435-439.
- HICKS J W, BENNETT A F, 2004. Eat and run: prioritization of oxygen delivery during elevated metabolic states [J]. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 144(2/3): 215-224.
- ITAZAWA Y, OIKAWA S, 1983. Metabolic rates in excised tissues of carp [J]. *Experientia*, 39(2): 160-161.
- OIKAWA S, TAKEMORI M, ITAZAWA Y, 1992. Relative growth of organs and parts of a marine teleost, the porgy, *Pagrus major*, with special reference to metabolism-size relationships [J]. *Japanese Journal of Ichthyology*, 39(3): 243-249.
- POKORNY J, KVET J, ONDOK J P, 1990. Functioning of the plant component in densely stocked fish ponds [J]. *Bulletin of Ecology*, 21(3): 44-48.
- WAGNER E J, ARNDT R E, BROUGH M, 2001. Comparative tolerance of four stocks of cutthroat trout to extremes in temperature, salinity, and hypoxia [J]. *Western North American Naturalist*, 61(4): 434-444.

## DIFFERENCES OF QUALITY AND VISCERAL-RELATED PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *CARASSIUS AURATUS GIBELIO* IN TWO POND AQUACULTURE MODES

LI You-Zhi<sup>1</sup>, RONG Hua-Nan<sup>1,2</sup>, CHEN Yu<sup>1</sup>, SHENTU Ji-Kang<sup>3</sup>, WANG Zhi-Zheng<sup>1</sup>

(1. Fisheries College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Cixi Fisheries Technology Extension Center, Cixi 315300, China; 3. Ningbo Ocean and Fisheries Research Institute, Ningbo 315048, China)

**Abstract** The *Carassius auratus gibelio* larvae were cultured in common-culture pond mode ( $M_1$ ) and the poly-culture pond mode ( $M_2$ ) for 7 months. The body surface color difference, back muscle physical properties, nutrient composition and ammonia excretion rate of whole fish, oxygen consumption rate, asphyxia point, and the activities of digestive enzymes and antioxidant enzymes in organs were measured. In order to systematically study the differences in cultivation quality and visceral-related physiological characteristics between the two groups. The results showed that: (1) there was a good discrimination degree in the body surface color difference between the two groups. Among them, the body color of  $M_2$  experiment was closer to the background color at the bottom of the pond, which had better simulated environment camouflage; (2) Among the seven physical properties of the back muscles measured, the hardness, elasticity, adhesiveness and chew ability showed significant differences between the two groups ( $M_1 > M_2$ ) ( $P < 0.05$ ); (3) In the general nutritional composition of whole fish, the contents of ash and crude protein were  $M_1 \approx M_2$  ( $P > 0.05$ ), while the contents of water and crude fat were  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ ) and  $M_2 > M_1$  ( $P < 0.05$ ), respectively; (4) Among the 17 amino acids tested, only histidine showed significant difference in content, showing  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ ), only  $\Sigma$ SEAA,  $\Sigma$ NEAA and  $\Sigma$ FAA had significant differences in the contents of various amino acids, and they were  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ ); (5) A total of four saturated fatty acids, five monounsaturated fatty acids and ten polyunsaturated fatty acids were detected, among which  $\Sigma$ MUFA and  $\Sigma$ SFA showed  $M_1 < M_2$  ( $P < 0.05$ ), while  $\Sigma$ PUFA showed  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ ); (6) There were no significant differences in the average oxygen consumption rate and ammonia excretion rate between  $M_1$  and  $M_2$  groups during the day-time, night-time and whole day ( $P > 0.05$ ), the circadian rhythm of oxygen consumption also showed a day-time  $>$  whole day  $>$  night-time mean ( $P < 0.05$ ), the oxygen content in water at the point of asphyxia was  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ ), and the circadian rhythm of ammonia excretion was day-time  $\approx$  night-time  $\approx$  whole day mean ( $P > 0.05$ ) and day-time  $>$  whole day  $>$  night-time mean ( $P < 0.05$ ), respectively; (7) The activities of hepatic lipase and pepsin were  $M_1 \approx M_2$  ( $P > 0.05$ ), while the activity of intestinal amylase was  $M_1 < M_2$  ( $P < 0.05$ ), the activities of SOD, POD, CAT in the heart and gills and SOD in the hepatic were  $M_1 \approx M_2$  ( $P > 0.05$ ), except for CAT and POD in the hepatic  $M_1 < M_2$  ( $P < 0.05$ ). The results could provide basic information for the construction of quality identification system of *C. auratus gibelio* and the research and development of ecological high value cultivation technology in China.

**Key words** aquaculture mode; *Carassius auratus gibelio*; body surface color difference; dorsal muscle texture; nutrient composition; physiological characteristics