

# 两种养殖模式下泥鳅养成品体色、质构及其脏器 消化酶、抗氧化酶和 ATP 酶活力的差异\*

袁向阳<sup>1</sup> 王志铮<sup>1①</sup> 杨程<sup>1</sup> 富裕<sup>1</sup>  
李鸿鹏<sup>1</sup> 白晓倩<sup>1</sup> 朱卫东<sup>2</sup>

(1. 浙江海洋大学水产学院 舟山 316022; 2. 余姚市水产技术推广中心 余姚 315400)

**摘要** 随机选取池塘专养模式(M<sub>1</sub>)和稻田养殖模式(M<sub>2</sub>)养成的平均体长和体重分别为(113.37±4.55) mm、(13.35±1.23) g 和(122.69±5.22) mm、(16.43±1.36) g 的 1 龄泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)作为实验对象,以养殖泥鳅的稻田鲜土样为色差对照(M<sub>0</sub>),比较分析了 2 种模式下泥鳅间体色、背肌质构、脏器消化酶、抗氧化酶和 ATP 酶的差异,以期为阐述稻田生境下泥鳅生活策略、2 种养殖模式下泥鳅的品质鉴定及其养殖模式的优化提供理论依据。结果显示:(1) M<sub>1</sub> 泥鳅养成品背部体色与对照具有显著差异( $P<0.05$ ),二者测量值呈  $M_0>M_1$ ( $P<0.05$ );(2) 所测背肌质构指标中, M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 均具显著差异( $P<0.05$ ),除黏着性外,其余各指标测量值均呈  $M_2>M_1$ ( $P<0.05$ );(3) 所测消化酶中, M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 间仅蛋白酶和脂肪酶具有显著差异( $P<0.05$ ),其测量值依次呈  $M_2>M_1$  和  $M_1>M_2$ ( $P<0.05$ );(4) 所测脏器抗氧化酶和消化酶中, M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 间均具有显著差异( $P<0.05$ ),各测量值均呈  $M_2>M_1$ ( $P<0.05$ )。

**关键词** 泥鳅; 养殖模式; 体色; 质构; 消化酶; 抗氧化酶; ATP 酶

**中图分类号** S966.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2017)02-0121-07

鱼类的商品价值主要取决于其体色和肌肉品质,其中,体色由色素细胞的数量决定(徐建瑜等, 2009),同时也受到外界环境因素的影响(高保全等, 2015; Salm *et al.*, 2005; Yanar *et al.*, 1999)。质构作为评定食物品质的四大要素之一(李云飞等, 2009),养殖模式的差异会对其产生显著影响(王志铮等, 2013; 奉琳娜等, 2015)。抗氧化酶、消化酶和 ATP 酶活力的变化一定程度上反映水产动物的生理状况(赵峰等, 2008; 高攀等, 2009; Partridge *et al.*, 2002),常用以研究水产动物对外界环境胁迫的内在响应机制。因此,比较不同养殖模式下泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)养成

品间体色、背肌质构及其脏器消化酶、抗氧化酶和 ATP 酶活力的差异,不仅有利于从宏观角度揭示由养殖模式差异造成泥鳅的体色变化,而且有助于在微观水平上阐述泥鳅对生存环境胁迫的生理响应特征。

泥鳅是我国一种重要的经济淡水鱼类。迄今,国内外有关泥鳅的研究主要集中在毒性实验(雷忻等, 2009; 高晓莉等, 2004)、捕食行为学(袁向阳等, 2014)和基因遗传学(Morishima *et al.*, 2008; Suzuki *et al.*, 1985)等方面,而有关养殖模式尚未见报道。本研究以泥鳅养成品作为研究对象,开展了 2 种养殖模式下泥鳅养成品体色、背肌质构及其脏器消化酶、抗氧化

\* 宁波市农业领域科技重大攻关择优委托项目(2012C10032)和浙江海洋学院优秀硕士学位论文培育项目[浙海院学位(2013)7 号]共同资助 [This work was supported by Major projects of science and technology in agricultural field of Ningbo, No. 2012C10032, and Excellent master thesis cultivation project of Zhejiang Ocean University [Degree No.(2013)7 of Zhejiang Ocean University] 袁向阳, E-mail: xiangyangyuan007@163.com

① 通讯作者: 王志铮, 教授, E-mail: wzz\_1225@163.com

收稿日期: 2016-01-18, 收修改稿日期: 2016-04-01

酶和 ATP 酶活力的差异实验研究, 以期为泥鳅的品质鉴定及其养殖模式的优化提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验泥鳅

供试样品系 1 龄泥鳅个体, 于 2015 年 7 月分别购自浙江省余姚市鼎源生态家庭农场(池塘专养模式  $M_1$ , 养殖密度为  $6.75 \times 10^5$  尾/hm<sup>2</sup>, 养殖期间投喂泥鳅专用饲料)和余姚市鼎绿生态农庄有限公司(稻田养殖模式  $M_2$ , 养殖期间不投喂任何饲料)。运至实验室后, 将泥鳅暂养于规格为 60 cm×40 cm×30 cm 的塑料桶内, 并停饲 7 d。实验时, 从中随机选取体色自然、有活力的个体作为实验对象。其中,  $M_1$  和  $M_2$  实验泥鳅的平均体长和体重分别为 (113.37±4.55) mm、(13.35±1.23) g 和 (122.69±5.22) mm、(16.43±1.36) g。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 实验泥鳅体色的测量** 将养殖泥鳅的稻田鲜土样设为色差对照  $M_0$ 。泥鳅左侧鳃盖后缘至尾柄基处之间的区段为测量部位, 采用等距法将背、腹侧均分为 5 个位点, 并借助 CR-400 色差仪(柯尼卡美能达中国投资有限公司)依次对其色泽进行测量, 每种养殖模式下泥鳅均测 6 尾。其中, 测量值中 L 表示亮度, L 值越大表明亮度越强, 其取值范围为 0–100; A 表示红绿色方向, +A 为红色反向, -A 为绿色方向, 其取值范围为 -60 – +60; B 表示黄蓝色方向, +B 为黄色反向, -B 为蓝色方向, 其取值范围为 -60 – +60。

**1.2.2 实验泥鳅背肌质构的测量** 采用 TA.XTplus 型质构分析仪(上海超级仪器有限公司), 以实验鳅左侧背鳍基点为起点, 向后割取 10 mm×7 mm×4 mm 的背肌组织块, 对其硬度、黏着性、弹性、凝聚性、咀嚼性、恢复性等 6 项指标进行测定。测量时, 质构仪采用 TPA 测量模式, 测量探头为 P/36R, 测前速率、测中速率和测后速率分别为 1、0.5 和 1 mm/s, 测距为 2 mm, 停留间隔时间为 5 s, 每种养殖模式下泥鳅均测 6 尾。其中, 测量指标及其定义见表 1。

**1.2.3 实验泥鳅酶活力的测定** 每种养殖模式下随机选取 6 尾泥鳅, 经低温麻醉后, 将其置于冰盘进行解剖, 取出鳃、胃、肠和肝脏, 经 4℃超纯水冲洗后, 先用滤纸吸干脏器表面水分, 再用精度为 1 mg 的 BS223S 电子天平(赛多利斯科学仪器有限公司)分别称重、标记, 然后放入 -80℃冰箱中暂存待用。

本实验所测抗氧化酶器官为肝脏和鳃, 抗氧化酶种类包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)

表 1 测量指标及其定义

Tab.1 Measured indices and their definitions

指标 Indices	定义 Definition
硬度 Hardness	肌肉达到一定形变所需要的外力
黏着性 Adhesiveness	第 1 次压缩后探头撤回时负数峰值下的面积
弹性 Springiness	将肌肉压缩至一定形变量后, 其所能恢复的程度
凝聚性 Cohesiveness	肌肉经过第 1 次压缩变形后所表现出来的对第 2 次压缩的相对抵抗能力
咀嚼性 Chewiness	吞咽状态所需的能量, 嫩度越高则该值越低
恢复性 Resilience	可恢复功与压缩功之比, 其值介于 0–1 之间

和过氧化氢酶(CAT); 所测消化酶器官为肝胰脏、胃和肠, 消化酶包括蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶; 所测三磷酸腺苷(ATP)酶器官为肝胰脏, ATP 酶种类包括  $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ ATPase 和  $Na^{+}$ - $K^{+}$ ATPase。实验所用仪器为岛津 UVmini-1240 型紫外可见分光光度计和 Eppendorf 5804R/5810R 高速冷冻离心机(广州安邦生物科技有限公司)。实验所用酶和总蛋白测量试剂盒均购自南京建成生物科技有限公司, 测量步骤和计算方法按说明书所述进行操作。

### 1.3 数据处理

整理实验所得数据, 利用 SPSS 19.0 计算出各测量值的平均值、标准误, 在此基础上, 采用 LSD 对组间和组内进行差异显著性检验( $\alpha=0.05$ ), 并利用 Excel 2003 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种养殖模式下泥鳅养成品的外貌特征

经观察发现, 池塘专养模式下, 泥鳅养成品规格较均匀, 背、腹部间体色差异明显, 其中, 背部呈深黑色, 而腹部呈淡黄色; 稻田养殖模式下, 泥鳅个体间规格差异较大, 背、腹部间体色差异相对较弱, 体色多呈棕黄色, 部分鱼鳍边缘黄中泛红, 其中, 少数个体体表具有明显外伤。

### 2.2 两种养殖模式下泥鳅养成品的体色特征

由表 2 可见, 两种养殖模式下泥鳅养成品的体色特征表现为背部体色 L 值呈  $M_0 \approx M_2 > M_1$  ( $P < 0.05$ ), 而 A 值和 B 值均呈  $M_0 > M_2 \approx M_1$  ( $P < 0.05$ ), 表明  $M_0$  和  $M_2$

背部皮肤亮度显著强于 M<sub>1</sub>, 而 M<sub>0</sub> 所含红色和黄色成分显著高于 M<sub>2</sub> 和 M<sub>1</sub>; 腹部体色 L 值和 B 值呈 M<sub>2</sub>≈M<sub>1</sub>>M<sub>0</sub>, 而在 A 值上 M<sub>0</sub>、M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 任意两者间均无显著差异(P>0.05), 表明泥鳅腹部体色亮度显著强于对照。以上揭示稻田养殖模式下泥鳅养成品的背部体色与土样色泽间较接近, 而池塘专养模式下泥鳅养成品的背部体色与土样色泽间具较好区分度。

由表 3 可见, 池塘专养模式下, 泥鳅背、腹部和 M<sub>0</sub> 色差 L 值和 B 值均呈腹部>M<sub>0</sub>>背部(P<0.05), 表明腹部体色不仅亮度显著强于 M<sub>0</sub> 和背部, 且所含的黄色成分也最多。除腹部外, 背部和 M<sub>0</sub> 色差 A 值呈 M<sub>0</sub>>背部(P<0.05), 表明 M<sub>0</sub> 所含红色成分显著高于背部; 稻田养殖模式下, 泥鳅背、腹部和 M<sub>0</sub> 色差 A 值任意两者间均无显著性差异(P>0.05), 而 L 值和 B 值均呈腹部>M<sub>0</sub>≈背部(P<0.05), 表明腹部体色亮度及其所含黄色成分显著高于 M<sub>0</sub> 和背部。

### 2.3 两种养殖模式下泥鳅养成品的背肌质构特征

由表 4 可见, 两种养殖模式下泥鳅养成品背肌除黏着性外, 硬度、弹性、凝聚性、咀嚼性、恢复性指标测量值均呈 M<sub>1</sub><M<sub>2</sub>(P<0.05), 表明稻田养殖模式下泥鳅养成品的背肌质构显著优于池塘专养模式下泥鳅个体。

### 2.4 两种养殖模式下泥鳅养成品脏器消化酶活力的特征

由表 5 可见, 两种养殖模式下泥鳅间脏器消化酶活力特征表现为肝胰脏、胃蛋白酶活力测量值均呈 M<sub>1</sub><M<sub>2</sub>(P<0.05); 肝胰脏脂肪酶活力测量值呈 M<sub>1</sub>>M<sub>2</sub>(P<0.05), 而肠淀粉酶活力测量值无显著差异(P>0.05)。以上表明泥鳅间脏器消化酶活力的变化与养殖模式差异密切相关。

表 2 两种养殖模式泥鳅养成品的体色特征

Tab.2 The epidermal characteristics of adult *M. anguillicaudatus* cultured in two models

测量部位 Measured sites	测量指标 Measurement indices	对照 Control			养殖模式 Stocking models		
		M <sub>0</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>			
背部 Dorsal part	L 值	36.700±0.767 <sup>a</sup>	30.304±0.896 <sup>b</sup>	34.302±1.122 <sup>a</sup>			
	A 值	1.300±0.051 <sup>a</sup>	-0.155±0.078 <sup>b</sup>	0.018±0.341 <sup>b</sup>			
	B 值	6.737±0.124 <sup>a</sup>	4.443±0.359 <sup>b</sup>	5.054±0.580 <sup>b</sup>			
腹部 Ventral side	L 值	36.700±0.767 <sup>a</sup>	43.729±1.419 <sup>b</sup>	48.422±2.076 <sup>b</sup>			
	A 值	1.300±0.051 <sup>a</sup>	0.165±0.459 <sup>a</sup>	1.095±0.688 <sup>a</sup>			
	B 值	6.737±0.124 <sup>a</sup>	10.650±0.705 <sup>b</sup>	11.423±0.577 <sup>b</sup>			

注: 同一行中, 不同字母表示显著差异(P<0.05), 表 4、表 5 同

Note: Different letters within the same row indicated significant difference (P<0.05). The same as in Tab.4 and Tab.5

表 3 同一养殖模式下泥鳅养成品不同部位的体色特征

Tab.3 The epidermal characteristics of different parts of adult *M. anguillicaudatus* cultured in the same model

测量部位 Measured sites	M <sub>1</sub>			M <sub>2</sub>		
	L 值	A 值	B 值	L 值	A 值	B 值
背部 Dorsal part	30.304±0.896 <sup>m</sup>	-0.155±0.078 <sup>m</sup>	4.443±0.359 <sup>m</sup>	34.302±1.122 <sup>m</sup>	0.018±0.341 <sup>m</sup>	5.054±0.580 <sup>m</sup>
腹部 Ventral side	43.729±1.419 <sup>n</sup>	0.165±0.459 <sup>mn</sup>	10.650±0.705 <sup>n</sup>	48.422±2.076 <sup>n</sup>	1.095±0.688 <sup>m</sup>	11.423±0.577 <sup>n</sup>
M <sub>0</sub>	36.700±0.767 <sup>o</sup>	1.300±0.051 <sup>n</sup>	6.737±0.124 <sup>o</sup>	36.700±0.767 <sup>m</sup>	1.300±0.051 <sup>m</sup>	6.737±0.124 <sup>m</sup>

注: 同一列中, 不同字母表示显著差异(P<0.05)

Note: Different letters within the same column indicated significant difference (P<0.05)

表 4 两种养殖模式泥鳅养成品的背肌质构特征

Tab.4 Physical characteristics of the dorsal muscle of adult *M. anguillicaudatus* cultured in two models

指标 Indices	养殖模式 Stocking models	
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
硬度 Hardness	7027.188±200.308 <sup>a</sup>	7891.998±236.627 <sup>b</sup>
黏着性 Adhesiveness	-40.818±3.909 <sup>a</sup>	-55.204±2.934 <sup>b</sup>
弹性 Springiness	0.601±0.029 <sup>a</sup>	0.782±0.032 <sup>b</sup>
凝聚性 Cohesiveness	0.464±0.022 <sup>a</sup>	0.548±0.019 <sup>b</sup>
咀嚼性 Chewiness	1939.174±255.919 <sup>a</sup>	2850.147±98.507 <sup>b</sup>
恢复性 Resilience	0.324±0.019 <sup>a</sup>	0.408±0.022 <sup>b</sup>

表 5 两种养殖模式下泥鳅成品的脏器消化酶活力  
Tab.5 The activity of digestive enzymes of *M. anguillicaudatus* cultured in two models

消化酶 Digestive enzymes	脏器 Organs	酶活力 Enzyme activity (U/mg prot)	
		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
蛋白酶 Protease	肝胰脏 Hepatopancreas	2022.626±92.061 <sup>a</sup>	3150.466±189.158 <sup>b</sup>
	胃 Stomach	9.229±1.181 <sup>a</sup>	34.204±4.216 <sup>b</sup>
脂肪酶 Lipase	肝胰脏 Hepatopancreas	92.409±5.656 <sup>a</sup>	63.922±8.020 <sup>b</sup>
淀粉酶 Amylase	肠 Intestine	0.570±0.041 <sup>a</sup>	0.553±0.047 <sup>a</sup>

## 2.5 两种养殖模式下泥鳅养成品脏器 SOD、POD、CAT 活力的特征

由图 1 可见,池塘专养模式下,泥鳅养成品肝胰脏和鳃间除 POD 活力外,CAT 和 SOD 活力均无显著

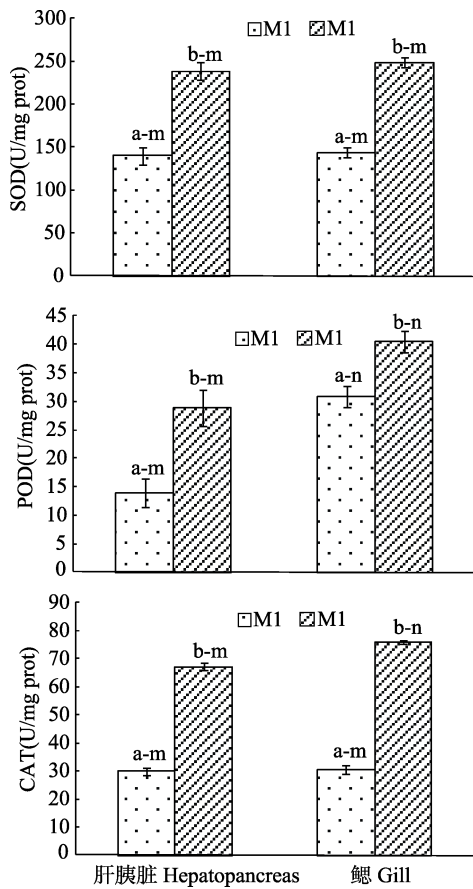


图 1 两种养殖模式泥鳅成品肝胰脏和鳃的抗氧化酶活力  
Fig.1 Activity of the antioxidant enzymes in hepatopancreas and gill of *M. anguillicaudatus* cultured in two models

a、b 标注两种模式下同一种脏器酶活力差异,字母不同表示显著差异;m、n 标注同一模式下不同脏器酶活力差异,字母不同表示显著差异,图 2 同

a and b indicated significant difference between enzyme activity in the same organ under two aquaculture models ( $P<0.05$ ); m and n indicated significant difference between enzyme activity in two organs under the same aquaculture model ( $P<0.05$ ), the same as in Fig.2

性差异( $P>0.05$ );稻田养殖模式下,泥鳅养成品肝胰脏和鳃间除 SOD 活力外,POD 和 CAT 活力均存在显著性差异( $P<0.05$ );两种养殖模式间泥鳅养成品 CAT、SOD 和 POD 活力均存在显著性差异( $P<0.05$ ),且酶活力测量值均呈  $M_2>M_1$  ( $P<0.05$ ),表明泥鳅肝胰脏和鳃是由养殖模式差异造成泥鳅抗氧化酶活力产生显著变化的靶器官。

## 2.6 两种养殖模式下泥鳅养成品肝胰脏 ATP 酶活力的特征

由图 2 可见,泥鳅养成品肝胰脏 ATP 酶活力的特征表现为两种养殖模式间泥鳅养成品肝胰脏的 ATP 酶活力均呈  $M_2>M_1$ ,且差异显著( $P<0.05$ );同一养殖模式下泥鳅养成品肝胰脏的  $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$  ATP 酶活力显著高于  $Na^+$ - $K^+$  ATP 酶活力( $P<0.05$ )。

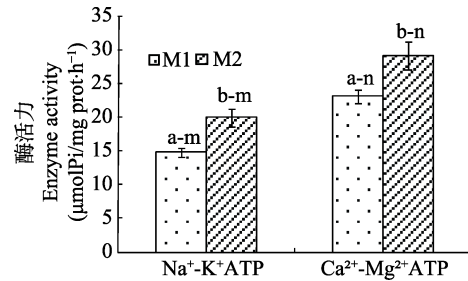


图 2 两种养殖模式泥鳅养成品肝胰脏的 ATP 酶活力  
Fig.2 Activity of ATP enzymes in hepatopancreas of *M. anguillicaudatus* cultured in two models

## 3 讨论

### 3.1 两种养殖模式下泥鳅体色的差异

已有研究表明,鱼类的体色由色素细胞释放的色素通过选择性吸收和反射特定波长的光产生,其中,色素释放的过程受神经系统和内分泌调控(冯幼等,2014),而环境和饲料也是影响鱼类体色的主要外界因素(沈志刚等,2009;袁立强等,2008)。由表 2 可知,两种养殖模式下,泥鳅养成品背部体色亮度强弱呈  $M_0\approx M_2>M_1$  ( $P<0.05$ ),不仅表明泥鳅的体色变化受养殖环境差异影响,而且揭示稻田养殖模式下泥鳅个体

通过采取改变体色的手段,以达到适应环境和躲避捕食的目的。刘建平(2005)也曾报道,生活在海洋或深水湖中的七彩鲑鱼(*Salvelinus fontinalis*)体色多呈浅色或银白色,而生活在小溪或浅水河流中的七彩鲑鱼体色较鲜艳。冷向军等(2003)发现,野生胡子鲶(*Clarias fuscus*)体色为金黄、土黄和褐黄色不等,半人工养殖胡子鲶为黄褐、褐和灰褐色不等,而全人工养殖胡子鲶为灰褐、灰和灰黑色不等。

### 3.2 两种养殖模式下泥鳅质构的差异

由表4可知,两种养殖模式下,泥鳅养成品背肌在硬度、弹性、凝聚性、咀嚼性和恢复性指标上均呈  $M_1 < M_2$  ( $P < 0.05$ ),究其原因,这可能与因养殖模式差异造成泥鳅个体采取不同的觅食策略有关,即稻田养殖模式下,泥鳅个体由于长期处于食物保障程度较池塘专养模式相对匮乏状态,致使其采取游动搜索觅食策略。刘凌云等(2009)研究表明,鱼类向前游动的推动力主要借助于背部发达的轴上肌通过左右摆动所产生的收缩波,在此过程中肌小节间的 ATP 酶活性和肌纤维间的结合力会分别增大和增强,从而造成泥鳅养成品肌肉硬度增强以及弹性、凝聚性、咀嚼性和恢复性增大。此外,造成这一现象也可能与泥鳅采食不同饵料有关,即池塘专养模式下泥鳅个体由于长期采食富含高蛋白和高脂肪的配合饲料,造成鱼体脂肪含量过高而降低鱼肉质度。综上可知,稻田养殖模式下泥鳅养成品肌肉质构显著好于池塘主养模式下泥鳅个体。这不仅与 Haard(1992)认为鱼体低脂肪含量是导致野生鱼肉质度较人工养殖鱼类更加结实的主要原因的结果相符,而且也与张玉龙等(2014)发现野生环境下黄鳝(*Monopterus albus*)和泥鳅肌肉的硬度、弹性和咀嚼性均显著高于人工养殖模式( $P < 0.01$ )的情形相一致。

### 3.3 两种养殖模式下泥鳅脏器消化酶的差异

消化酶主要由消化器官和消化腺分泌(林浩然, 2007),可将消化系统内食物从难以吸收的大分子物质分解为易吸收的小分子物质,经过机体消化、吸收和转运后,以满足机体代谢的需求。消化酶活力的变化不仅有利于揭示鱼类的消化生理机制,而且有助于反映养殖环境的差异。由表5可知,两种养殖模式下,泥鳅养成品除肠淀粉酶活力无显著差异外( $P > 0.05$ ),其他各消化酶活力间均存在显著性差异( $P < 0.05$ )。这也与不同养殖模式下日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)养成品脏器消化酶活力间存在差异相一致(王志铮等, 2013),认为造成消化酶活力的变化可能与其养殖模

式差异相关。

### 3.4 两种养殖模式下泥鳅脏器抗氧化酶的差异

鱼类体内存在一套完整的抗氧化防御机制,主要包括 SOD、CAT 和 POD 等酶(胡毅等, 2012)。由于抗氧化酶能够清除受养殖密度、水温、光照和溶解氧等外环境的变化造成机体产生过量的自由基,因此,常常将抗氧化酶活性作为衡量环境适宜程度的重要指标(Yu, 1994)。由图1可知,两种养殖模式之间,泥鳅养成品 CAT、SOD 和 POD 活力均存在显著性差异( $P < 0.05$ ),且酶活力大小均呈  $M_2 > M_1$ ,究其原因,可能是由于稻田养殖模式下泥鳅养成品长期处于环境胁迫程度相对较高的状态,导致机体进行氧化应激反应,在产生大量自由基的同时,也激活了泥鳅肝脏抗氧化酶活性,通过消除机体中过多的活性氧自由基来维持机体的正常运作。这也与本研究肝胰脏 ATP 酶活力的变化趋势相一致。

### 3.5 两种养殖模式下泥鳅肝胰脏 ATP 酶活力的差异

肝胰脏不仅在脂肪分解、蛋白质消化和碳水化合物代谢等方面起着重要作用,而且还能起到分解毒物和调节血糖平衡的作用(王军等, 2008),故肝胰脏功能可作为指示鱼体健康状况的重要依据。目前,国内外关于鱼类个体脏器 ATP 酶的研究多集中于肾和鳃丝(尹飞等, 2011; 罗海忠等, 2015; Lin *et al.*, 2004),而涉及肝胰脏的研究尚未见报道。在鱼类体内,ATP 酶不仅能维持细胞内外的离子平衡,而且也是一项评价环境胁迫影响的生物学指标(孙鹏等, 2014)。由图2可知,本研究中稻田养殖模式下,泥鳅养成品肝胰脏的 ATP 酶活力显著高于池塘专养模式下泥鳅养成品( $P < 0.05$ ),这可能与因稻田生境中环境胁迫导致肝胰脏 ATP 酶被快速激活有关,从而有效稳定细胞内外渗透压平衡,保持机体内环境稳定有关。这也与在实验过程中观察到稻田养殖模式下少数泥鳅体表存在明显外伤的现象相吻合。

## 参 考 文 献

- Feng LN, Lin XD, Cheng YW. Effects of two culture models on the fresh quality of *Oplegnathus punctatus*. *Fishery Modernization*, 2015, 42(2): 35-38 [奉琳娜, 林向东, 成一伟. 不同养殖模式对斑石鲷鱼肉品质的影响及分析. *渔业现代化*, 2015, 42(2): 35-38]
- Feng Y, Xu HJ, Liu D, *et al.* Research status of skin color on fish. *Aquaculture*, 2014(2): 49-52 [冯幼, 许合金, 刘定, 等. 鱼类体色研究现状. *水产养殖*, 2014(2): 49-52]
- Gao BQ, Liu P, Li J, *et al.* Analysis of body color variations

- among four wild populations of *Portunus trituberculatus*. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(3): 79–84 [高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹 4 个地理群体体色差异分析. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 79–84]
- Gao P, Jiang M, Wen H, *et al.* Effect of dietary protein-energy ratio on digestive enzyme activities of juvenile *Ctenopharyngodon idellus*. Freshwater Fisheries, 2009, 39(6): 54–58 [高攀, 蒋明, 文华, 等. 不同蛋白能量比饲料对草鱼幼鱼消化酶活性的影响. 淡水渔业, 2009, 39(6): 54–58]
- Gao XL, Feng S, Wang LM, *et al.* The joint toxicity studies of anthracene and five kinds of phenolic compounds to *Misgurnus anguillicadatus*. Reservoir Fisheries, 2004, 24(2): 65–66 [高晓莉, 凤生, 王丽敏, 等. 蒽与 5 种酚类化合物对泥鳅的联合毒性研究. 水利渔业, 2004, 24(2): 65–66]
- Haard NF. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. Food Research International, 1992, 25(4): 289–307
- Hu Y, Huang Y, Zhong L, *et al.* Effects of ammonia stress on the gill  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase, microstructure and some serum physiological-biochemical indices of juvenile black carp. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(4): 538–545 [胡毅, 黄云, 钟蕾, 等. 氨氮胁迫对青鱼幼鱼鳃丝  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP 酶、组织结构及血清部分生理生化指标的影响. 水产学报, 2012, 36(4): 538–545]
- Leng XJ, Li XQ, Wei YC, *et al.* Effect of xanthophyll addition on body color of *Clarias fuscus*. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(1): 38–42 [冷向军, 李小勤, 韦友传, 等. 饲料中添加叶黄素对胡子鲶体色的影响. 水产学报, 2003, 27(1): 38–42]
- Lei X, Li ZQ, Lian ZM, *et al.* Acute toxicity effects of bisphenol A and *p*-nitrophenol to *Misgurnus anguillicadatus*. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(11): 2257–2261 [雷忻, 李宗强, 廉振民, 等. 双酚 A 和对硝基酚对泥鳅的急性毒性效应. 生态学杂志, 2009, 28(11): 2257–2261]
- Lin HR. Fish physiology. Second edition. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 2007, 37–40 [林浩然. 鱼类生理学. 第二版. 广州: 广东高等教育出版社, 2007, 37–40]
- Li YF, Yin YG, Xu SL, *et al.* Physical properties of foods. Beijing: China Light Industry Press, 2009, 99–101 [李云飞, 殷涌光, 徐树来, 等. 食品物性学. 北京: 中国轻工业出版社, 2009, 99–101]
- Lin CH, Tsai RS, Lee TH. Expression and distribution of  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase in gill and kidney of the green spotted pufferfish, *Tetraodon nigroviridis*, in response to salinity challenge. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A Molecular & Integrative Physiology, 2004, 138(3): 287–295
- Liu JP. Breeding technology of *Salvelinus fontinalis*- characteristic, habit and its breeding experience. China Fisheries, 2005(2): 83–84 [刘建平. 七彩鲑鱼养殖技术——特征、习性及其饲养经验. 中国水产, 2005(2): 83–84]
- Liu LY, Zheng GM. General zoology. Beijing: Higher Education Press, 2009, 340–341 [刘凌云, 郑光美. 普通动物学. 北京: 高等教育出版社, 2009, 340–341]
- Luo HZ, Li WY, Fu RB, *et al.* The effects of salinity on the growth of juvenile *Eleutheronema tetradactylum* and  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP enzyme. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(2): 94–99 [罗海忠, 李伟业, 傅荣兵, 等. 盐度对四指马鲛幼鱼生长及其鳃丝  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP 酶的影响. 渔业科学进展, 2015, 36(2): 94–99]
- Morishima K, Nakayama IK. Genetic linkage map of the loach *Misgurnus anguillicadatus* (Teleostei: Cobitidae). Genetica, 2008, 132(3): 227–241
- Partridge GJ, Jenkins GI. The effect of salinity on growth and survival of juvenile black bream (*Acanthopasgrus butcheri*). Aquaculture, 2002, 210(S1–4): 219–230
- Salm AL, Spaninqs FA, Gresniqt R, *et al.* Background adaptation and water acidification affect pigmentation and stress physiology of tilapia, *Oreochromis mossambicus*. General and Comparative Endocrinology, 2005, 144(1): 51–59
- Shen ZG, Yang L, Sun CJ, *et al.* Research progress on body color of fisheries. Hebei Fisheries, 2009(11): 48–51 [沈志刚, 杨磊, 孙存军, 等. 养殖鱼类体色改良研究进展. 河北渔业, 2009(11): 48–51]
- Sun P, Yin F, Wang JJ, *et al.* Effects of handling stress on activities of antioxidant enzymes in liver and  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase in gill of *Epinephelus moara*. Marine Fisheries, 2014, 36(3): 247–251 [孙鹏, 尹飞, 王建军, 等. 操作胁迫对云纹石斑鱼肝脏抗氧化和鳃  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase 活力的影响. 海洋渔业, 2014, 36(3): 247–251]
- Suzuki R, Oshiro T, Nakanishi T. Survival, growth and fertility of gynogenetic diploids induced in the cyprinid loach, *Misgurnus anguillicadatus*. Aquaculture, 1985, 48(1): 45–55
- Wang J, Chen MR, Xie YJ. Ichthyology. Xiamen: Xiamen University Press, 2008, 59 [王军, 陈明茹, 谢仰杰. 鱼类学. 厦门: 厦门大学出版社, 2008, 59]
- Wang ZZ, Fu YJ, Yang L, *et al.* Variations in body color and flesh quality of *Anguilla japonica* populations in different culture models. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(4): 1042–1029 [王志铮, 付英杰, 杨磊, 等. 三种不同养殖模式下日本鳗鲡养成体色和肌肉品质的差异. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 1042–1029]
- Wang ZZ, Zhao J, Yang L, *et al.* Variations of serum biochemical indices, viscera digestive enzymes activity and antioxidant enzymes activity of three cultured population of *Anguilla japonica*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(2): 403–408 [王志铮, 赵晶, 杨磊, 等. 三种养殖模式下日本鳗鲡养成体血清生化指标和脏器消化酶、抗氧化酶活力的差异. 海洋与湖沼, 2013, 44(2): 403–408]
- Xu JY, Liu Y. Study on color modification of tilapia *Oreochromis niloticus* under environmental background and stress by computer vision. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(2): 164–169 [徐建瑜, 刘鹰. 基于计算机视觉的罗非鱼适应环境的体色变化研究. 水生生物学报, 2009, 33(2): 164–169]
- Yanar M, Tekelioglu N. The effect of zeaxanthin and tank color on pigmentation and growth of goldfish (*Carassius auratus*). Turkish Journal of Biology, 1999(3): 303–307
- Yin F, Sun P, Peng SM, *et al.* Effects of low salinity stress on the antioxidant enzyme activities in juvenile *Pampus argenteus* liver and the ATPase activities in its gill and kidney. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(4): 1059–1066 [尹飞, 孙鹏, 彭士明, 等. 低盐度胁迫对银鲳幼鱼肝脏抗氧化酶、鳃和肾脏 ATP 酶活力的影响. 应用生态学报, 2011, 22(4): 1059–1066]
- Yu BP. Cellular defenses against damage from reactive oxygen species. Physiological Reviews, 1994, 74(1): 139–62
- Yuan LQ, Ma XZ, Wang W, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth and body pigmentation of darkbarbel catfish.

Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(5): 577-584 [袁立强, 马旭洲, 王武, 等. 饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长和鱼体色的影响. 上海水产大学学报, 2008, 17(5): 577-584]

Yuan XY, Zou LC, Shentu Y, *et al.* Predation habit of *Trionyx sinensis* on juvenile *Misgurnus anguillicaudatus*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(1): 206-211 [袁向阳, 邹李昶, 申屠琰, 等. 中华鳖对泥鳅幼鱼的捕食效应. 海洋与湖沼, 2014, 45(1): 206-211]

Zhang YL, Zhang C, Tao SY, *et al.* The meat quality

characteristics of the eel and loach growing in wild and captivity environment. *Journal of Suzhou University*, 2014, 29(3): 90-93 [张玉龙, 张余, 陶善云, 等. 野生与人工养殖黄颡、泥鳅肉的品质差异性分析. 宿州学院学报, 2014, 29(3): 90-93]

Zhao F, Zhuang P, Zhang LZ, *et al.* Responses of antioxidases in different tissues of *Acipenser schrenckii* to increased salinity in water. *Marine Fisheries Research*, 2008, 29(5): 65-69 [赵峰, 庄平, 章龙珍, 等. 施氏鲟不同组织抗氧化酶对水体盐度升高的响应. 海洋水产研究, 2008, 29(5): 65-69]

(编辑 冯小花)

## Comparison of the Body Color, Texture, Activities of Viscera Digestive Enzymes, Antioxidant Enzymes and ATP Enzymes of Two Cultured Population of *Misgurnus anguillicaudatus*

YUAN Xiangyang<sup>1</sup>, WANG Zhizheng<sup>1</sup>①, YANG Cheng<sup>1</sup>, FU Yu<sup>1</sup>, LI Hongpeng<sup>1</sup>,  
BAI Xiaoqian<sup>1</sup>, ZHU Weidong<sup>2</sup>

(1. Fishery College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022;

2. Fishery Technology Extension Center of Yuyao, Yuyao 315400)

**Abstract** *Misgurnus anguillicaudatus* is a fish species with high economical values, and is widely distributed in China except for the Qinghai-Tibet Plateau. The popularity of this fish has been growing due to its high contents of minerals, amino acids and vitamins. Environment is one of the main factors that affect the body color, the texture and the visceral enzyme activities of the fish; hence it has been a hotspot in the research of *M. anguillicaudatus*. In this study we explored the living strategies of *M. anguillicaudatus* raised in two culture models, the pond monoculture ( $M_1$ ) and the polyculture of turtles, fish and shrimp in the rice field ( $M_2$ ). The wet earth from the paddy field served as the control ( $M_0$ ). We analyzed the differences in the body color, the texture, digestive enzymes, antioxidant enzymes and ATP enzymes between the two populations. The average body length and weight of the samples were (113.37±4.55) mm and (13.35±1.23) g for  $M_1$ , and (122.69±5.22) mm and (16.43±1.36) g for  $M_2$ . SPSS 19.0 and Excel 2003 were employed for data analysis. The results were as follows: (1) The measures of the dorsal chromatism of adult *M. anguillicaudatus* were  $M_0 > M_1$  ( $P < 0.05$ ). (2) There were significant differences in the measured indicators of the textures of dorsal muscles between the two populations, and all the values followed the order  $M_2 > M_1$  ( $P < 0.05$ ) except for that of adhesiveness. (3) There was no difference in the activities of the visceral digestive enzymes except for protease ( $M_2 > M_1$ ,  $P < 0.05$ ) and lipase ( $M_1 > M_2$ ,  $P < 0.05$ ). (4) Activities of antioxidant enzymes (CAT, SOD and POD) of  $M_2$  were higher than those of  $M_1$  ( $P < 0.05$ ). There were significant differences in activities of hepatopancreas enzymes between the two populations ( $P < 0.05$ ). The activities of  $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$  ATPase and  $Na^+$ - $K^+$  ATPase of  $M_2$  were significantly higher than those of  $M_1$  ( $P < 0.05$ ).

**Key words** *Misgurnus anguillicaudatus*; Aquaculture models; Body color; Texture; Digestive enzymes; Antioxidant enzymes; ATPase

① Corresponding author: WANG Zhizheng, E-mail: wzz\_1225@163.com