

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*

王志铮 赵晶 杨磊 任夙芝 付英杰

(浙江海洋学院 舟山 316004)

摘要 随机选取池塘专养(M_1)、日本沼虾套养(M_2)以及水库放养(M_3)三种养殖模式养成的肛长(25.91±3.26)cm的日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)作为研究材料,采用生物化学方法测定并比较了不同养殖模式日本鳗鲡养成品血清生化指标和脏器消化酶与抗氧化酶活力。结果表明:(1)在所测16项血清生化指标中,三者间均无显著差异的为TP、ALB、GLB、ALT和CHE($P>0.05$),均具显著差异的为CK、CREA和 α -HBDH,它们的测定值依次呈 $M_3 > M_2 > M_1$ ($P<0.05$)、 $M_3 > M_1 > M_2$ ($P<0.05$)和 $M_2 > M_1 > M_3$ ($P<0.05$);(2)所测消化酶中,三者均具显著差异的为肝脏蛋白酶、胃蛋白酶、肝脂肪酶及胰腺脂肪酶,它们的测定值均呈 $M_1 > M_2 > M_3$ ($P<0.05$);(3)所测抗氧化酶中,三者间均无显著差异的为心脏SOD、CAT、POD和肝脏CAT活力($P>0.05$),均具显著差异的仅为肝脏POD活力,其测定值呈 $M_1 > M_3 > M_2$ ($P<0.05$)。

关键词 日本鳗鲡;养殖模式;血清生化指标;消化酶;抗氧化酶

中图分类号 S965

养殖模式不仅影响进而决定目标水产养殖对象的生存对策,也由此改变进而固化目标水产养殖对象的生命代谢特征,故其与目标水产养殖对象的养成品质有着极为密切的关系(李小勤等,2008;岑剑伟等,2008;高露姣等,2011)。血清生化、脏器消化与抗逆生理特征既是衡量水产养殖动物健康程度的重要指标,也是指示水产养殖动物生存状况与生命代谢特征的重要依据(Palacea *et al.*, 1998; Applebaum *et al.*, 2003; 洪磊等, 2004),而常被用以分析水产养殖动物对环境胁迫和人工干扰的内在响应机制(骆作勇等, 2007; 乔秋实等, 2011; 徐维娜等, 2011)。因此,通过系统比较不同养殖模式下目标水产养殖对象养成品血液生化、脏器消化与抗逆生理特征间的差异,探析进而揭示由养殖模式引起其生存对策和生命代谢特征改变的本质,无疑对于推进目标水产养殖对象的健康高质养成具重要现实意义。但迄今为止,国内外

有关养殖模式对目标水产养殖对象养成品血清生化、脏器消化与抗逆生理特征影响的系统研究却尚未见报道。鉴于此,本文作者在系统比较池塘专养、日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)池塘套养和水库放养模式日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)养成品形质差异(王志铮等, 2012)的同时,较系统地开展了上述三种养殖模式日本鳗鲡养成品间血清生化指标及脏器消化酶和抗氧化酶活力的差异比较,以期为今后日本鳗鲡养成品品质鉴定与评价体系的构建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验样品

实验用池塘专养模式(记为 M_1)、日本沼虾池塘套养模式(记为 M_2)和水库放养模式(记为 M_3)日本鳗鲡养成品的来源、购置时间、实验个体选取标准及暂养停食处理见王志铮等(2012)。

* 浙江省重大科技专项农业重点项目,2008C12083号。王志铮,研究员,E-mail:wzz_1225@163.com

收稿日期:2011-10-18,收修改稿日期:2012-02-23

1.2 样品处理和血清的制备

各养殖模式均随机选取实验鱼 5 尾, 经低温麻醉、75%酒精体表消毒后, 断尾采血 2ml/ind, 并逐一注入含 1%肝素钠的刻度为 2ml 的离心管中制成抗凝血样, 血样于 3000r/min 离心 10min 后, 将分离获得的血清置于 4℃冰箱中保存备用; 实验鱼采血后即刻置于冰盘上解剖, 取出肝脏、心脏、胃、肠和胰腺, 去除附于各脏器上的脂肪和结缔组织, 剪开胃、肠, 用 4℃双蒸水冲净各脏器, 用滤纸吸干水分并逐一用分析天平(Sartorius BP211D 型, 精度 0.1mg)称重后, 放入已做好标记的各样品袋内, 置于-80℃冰箱中保存备用。

1.3 血清生化指标和脏器酶活力的测定

本研究所测 16 项常规血清生化指标分别为总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、白球比(A/G)、总胆固醇(TC)、甘油三脂(TG)、血糖(GLU)、尿素氮(BUN)、肌酐(CREA)、肌酸激酶(CK)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、胆碱脂酶(CHE)、碱性磷酸酶(ALP)、乳酸脱氢酶(LDH)和 α -羟基丁酸脱氢酶(α -HBDH), 所用测定试剂盒均购自宁波美康生物工程有限公司, 测定仪器为日立 7020 型全自动生化分析仪。

用于消化酶和抗氧化酶活力测定的各类试剂盒均购自南京建成生物工程研究所, 测试步骤及计算方法均按所附说明书, 测定所用仪器均为岛津

UV-1240 型紫外可见分光光度计。其中, 组织蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝总蛋白质定量测试盒; 肝脏、胰腺、肠蛋白酶活力测定均采用胰蛋白酶测试盒, 脂肪酶活力测定采用脂肪酶试剂盒; 胃蛋白酶活力和肠淀粉酶活力测定分别采用胃蛋白酶测试盒和淀粉酶测试盒; 心脏和肝脏抗氧化酶活力测定分别采用超氧化物歧化酶(SOD)测试盒、过氧化物酶(POD)测试盒和过氧化氢酶(CAT)测试盒。

1.4 数据处理

实验所得各项血清生化指标和酶活力测定数据均借助 SPSS17.0 进行统计分析, 各养殖模式日本鳊鲴养成成品血清生化指标值和酶活力值间的差异显著性检验均采用 LSD 多重比较法($\alpha=0.05$)。

2 结果

2.1 三种不同养殖模式日本鳊鲴养成成品血清生化指标间的差异特征

由表 1 可见, 本研究所涉三种养殖模式日本鳊鲴养成成品在血清生化指标上的差异特征表现为: (1) 从蛋白质组成来看, 虽三者 TP、ALB、GLB 测定值上均无显著差异($P>0.05$), 但 A/G 值却呈 M_2 M_3 $<$ M_1 ; (2) 从血脂组成来看, M_2 的 TC 测定值与 M_1 、 M_3 均相仿($P>0.05$), 但 $M_3 > M_1$ ($P<0.05$), M_1 的 TG 测定值与 M_2 、 M_3 均相近($P>0.05$), 但 $M_2 > M_3$ ($P<0.05$); (3) 从血糖及代谢产物来看, GLU 测定值呈 M_1 $M_3 >$

表 1 三种不同养殖模式日本鳊鲴养成成品的血清生化指标
Tab.1 The serum biochemical indices of *A. japonica* under three different aquaculture models

血清成分	指标	养殖模式		
		M_1	M_2	M_3
蛋白质	总蛋白 TP(g/L)	52.82±7.81 ^a	49.94±3.35 ^a	49.42±4.82 ^a
	白蛋白 ALB(g/L)	14.77±3.18 ^a	12.4±1.92 ^a	12.12±0.85 ^a
	球蛋白 GLB(g/L)	38.25±4.87 ^a	36.9±0.85 ^a	37.28±4.06 ^a
	白球比 A/G	0.390±0.040 ^a	0.318±0.02 ^b	0.330±0.021 ^b
血脂	总胆固醇 TC(mmol/L)	15.82±3.21 ^a	17.694±2.36 ^{ab}	21.01±3.50 ^b
	甘油三脂 TG(mmol/L)	7.02±3.07 ^{ab}	11.22±4.56 ^a	4.94±1.41 ^b
血糖及代谢产物	血糖 GLU(mmol/L)	5.86±1.40 ^a	3.81±0.63 ^b	6.21±1.49 ^a
	尿素氮 BUN(mmol/L)	2.27±0.64 ^a	3.15±0.59 ^b	1.87±0.56 ^a
	肌酐 CREA(μ mol/L)	55.67±27.09 ^a	20.00±6.20 ^b	161.40±32.50 ^c
血清酶	谷丙转氨酶 ALT(U/L)	9.33±6.50 ^a	12.6±8.17 ^a	6.80±3.11 ^a
	谷草转氨酶 AST(U/L)	498.67±279.62 ^a	472.2±149.31 ^a	203.80±68.78 ^b
	乳酸脱氢酶 LDH(U/L)	2810.67±1169.83 ^a	3748.6±1446.04 ^a	988.00±455.67 ^b
	肌酸激酶 CK(U/L)	400.83±198.19 ^a	925.20±255.25 ^b	7518.00±1472.11 ^c
	胆碱脂酶 CHE(U/L)	84.00±45.43 ^a	89.8±13.35 ^a	67.00±9.77 ^a
	碱性磷酸酶 ALP(U/L)	20.60±8.56 ^a	207.6±51.47 ^b	188.00±17.86 ^b
	α -羟基丁酸脱氢酶 α -HBDH(U/L)	892.50±402.59 ^a	1656.00±372.49 ^b	366.40±143.41 ^c

注: 用上标 a、b、c 表示组间差异($P<0.05$), 字母相同表示无差异

M₂, 与 BUN 测定值排序正好相反, 而肌酐测定值则呈 M₃ > M₁ > M₂ ($P < 0.05$); (4) 从血清酶组成来看, 三者 ALT、CHE 测定值上均无显著差异 ($P > 0.05$), CK 测定值呈 M₃ > M₂ > M₁, ALP 测定值呈 M₃ > M₂ > M₁, AST 和 LDH 测定值均呈 M₁ > M₂ > M₃, α -HBDH 测定值则呈 M₂ > M₁ > M₃ ($P < 0.05$)。即在所测 16 项血清生化指标中, M₁—M₂、M₁—M₃、M₂—M₃ 间存在显著差异的分别为 7 项(占 43.8%)、8 项(占 50%)和 8 项(占 50%), 且三者间均存在显著差异的有 3 项(占 18.8%), 表明日本鳗鲡养成品部分血清生化指标与其所涉养殖模式间存在较为密切的关联。另外, 断尾采血时发现, 三者血流速度以 M₁ 最慢, 需挤压鱼体方能使血液顺利流出; M₃ 最快, 稍加挤压鱼体即可使血液喷射而出。

2.2 三种不同养殖模式日本鳗鲡养成品脏器消化酶活力的差异特征

由表 2 可见, 本研究所涉三种养殖模式日本鳗鲡养成品脏器消化酶活力间均存在一定程度的差异, 主要表现为: (1) 肝、胃蛋白酶活力均呈 M₁ > M₂ > M₃ ($P < 0.05$), 胰腺、肠蛋白酶活力均呈 M₁ > M₂ > M₃; (2) 肝、胰腺脂肪酶活力均呈 M₁ > M₂ > M₃ ($P < 0.05$), 而肠脂肪酶和淀粉酶活力则均呈 M₁ > M₂ > M₃。即在所测诸脏器消化酶中, M₁ 酶活力均显著大于对应的 M₃, M₂ 除肠脂肪酶和肠淀粉酶外, 其余酶活力均显著小于对应的 M₁, M₃ 除肠蛋白酶和胰腺蛋白酶外, 其余酶活力均显著小于对应的 M₂, 表明日本鳗鲡养成品脏器消化负荷与其所涉养殖模式密切相关。与此同时, 因所测诸器官中仅肝、胃消化酶活力呈 M₁ > M₂ > M₃ ($P < 0.05$), 而使它们成为由养殖模式差异导致日本鳗鲡养成品消化酶活力产生显著改变的重要靶器官。另外, 解剖观察发现 M₁ 腹腔内壁和肝表面均有不同程度的脂肪沉积现象, 而 M₂ 和 M₃ 实验鱼则均无此情形。

2.3 三种不同养殖模式日本鳗鲡养成品脏器 SOD、POD、CAT 活力的差异特征

由图 1 可见, 本研究所涉三种养殖模式日本鳗鲡养成品间心脏 SOD、CAT 和 POD 活力均无显著差异 ($P > 0.05$), 肝脏除 CAT 活力均无显著差异 ($P > 0.05$) 外, SOD、POD 活力分别呈 M₁ > M₂ > M₃ 和 M₁ > M₃ > M₂ ($P < 0.05$); 与此同时, 除 M₃ 的 SOD 活力和 M₁ 的 POD 活力呈肝脏 > 心脏外, 其余酶活力均呈肝脏 > 心脏 ($P < 0.05$) 的结果, 均表明肝脏系由养殖模式差异导致日本鳗鲡养成品抗氧化酶活力产生显著改变的重要靶器官。

3 讨论

3.1 三种不同养殖模式下日本鳗鲡的摄食对策与血液能源物质代谢机制

由表 1 可见, 本研究所涉 M₁、M₂、M₃ 日本鳗鲡养成品间血清 TP、ALB、GLB 测定值均无显著差异 ($P > 0.05$), 这既与日本鳗鲡停食 90d 内其血清 TP、ALB、GLB 含量均几乎不变的结果(尾崎久雄, 1982) 相同, 也与鱼类大多以脂肪和糖元作为主要储能物质, 饥饿状态下主要消耗这两种物质, 而对蛋白质的利用一般是在脂肪被大量消耗之后(Stiding, 1976; Kuty, 1978) 的观点相吻合, 表明蛋白质是日本鳗鲡能量代谢的最终能源, 保持机体蛋白质平衡对维系其正常生命代谢特征具有重要作用。

血脂水平是反映体内脂肪代谢水平的重要生理指标, TG 作为脂肪在鱼类细胞内的主要存在形式, 是鱼类脂代谢的主要物质(何福林等, 2007); 血糖水平是反映体内碳水化合物代谢水平的重要生理指标, GLU 为机体直接利用的能源物质(陈永祥等, 2009)。本研究中 M₁、M₃ 养殖模式日本鳗鲡养成品不仅其血

表 2 三种不同养殖模式下日本鳗鲡养成品的脏器消化酶活力

Tab.2 The activity of digestive enzymes of *A. japonica* under three different aquaculture models

消化酶	器官	酶活力(U/mg prot)		
		M ₁	M ₂	M ₃
蛋白酶	肝脏	2236.541±384.636 ^a	1861.340±204.531 ^b	1106.846±213.217 ^c
	肠	1842.808±483.343 ^a	1546.664±180.596 ^b	1320.214±122.544 ^b
	胰腺	183.535±22.790 ^a	87.139±17.007 ^b	75.242±13.067 ^b
	胃	44.734±9.337 ^a	31.130±3.833 ^b	14.864±3.039 ^c
脂肪酶	肝脏	1562.164±210.850 ^a	963.843±343.538 ^b	740.423±303.036 ^c
	肠	48.949±11.703 ^a	44.908±4.821 ^a	29.212±4.740 ^b
	胰腺	57.524±5.169 ^a	27.041±2.713 ^b	17.435±4.718 ^c
淀粉酶	肠	0.655±0.127 ^a	0.686±0.237 ^a	0.508±0.135 ^b

注: 用上标 a、b、c 表示组间差异 ($P < 0.05$), 字母相同表示无差异

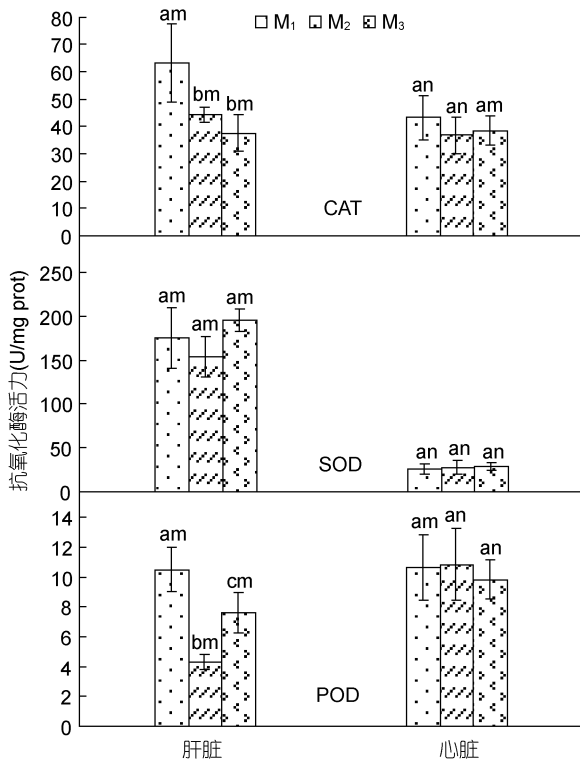


图1 三种不同养殖模式日本鳗鲡养成成品肝脏和心脏的抗氧化酶活力

Fig.1 Activity of the antioxidant enzymes in heart and liver of *A. japonica* under three different aquaculture models
注: 上标 a、b、c 表示组间差异 ($P < 0.05$), m、n 表示组内差异 ($P < 0.05$), 字母相同表示无差异

清 TG、TC、GLU 间的差异特征(表 1), 与重口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)养殖个体血清 TG 显著高于野生个体, TC 显著低于野生个体, 而 GLU 无显著差异的情形(陈永祥等, 2009)相仿, 而且其脏器消化酶活力的差异特征(表 2), 也与大西洋真鳕(*Gadus morhua*)养殖个体胃、肠蛋白酶活力均高于野生个体(Gildberg, 2004), 翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)池养个体肠和肝胰脏蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活力均高于野生个体(张伟等, 2007)的结果完全一致, 这既表明食物供应状况对日本鳗鲡脏器消化酶活力具极为深刻的影响, 同时也揭示了 M_3 养殖模式日本鳗鲡针对食物供应长期匮乏的生存环境, 通过采取显著上调血清 TC 含量, 促进肝脏异生糖元作用, 从而实现维持血清 TG 含量相对稳定和保持较高血糖水平的血液能源物质代谢机制, 形成并固化了具有强力搜寻和追捕猎物能力的摄食对策, 与 Imsland 等(2001)认为在正常情况下, 鱼类体内有机成分的分解代谢与合成代谢保持动态平衡, 血糖含量较高时, 鱼类表现为积极摄食, 健康状况良好的观点相符。 M_2

养殖模式日本鳗鲡肠脂肪酶和淀粉酶活力与 M_1 无差异, 肝蛋白酶活力和胰脂肪酶活力介于 M_1 、 M_3 之间, 其余脏器消化酶活力与 M_3 均无差异(表 2)的结果, 表明其营养供应状况介于 M_1 和 M_3 之间; 与此同时, 其血清 TC 含量与 M_1 和 M_3 无显著差异, TG 含量显著高于 M_1 和 M_3 , 而 GLU 却显著低于 M_1 和 M_3 (表 1)之情形, 揭示了 M_2 养殖模式日本鳗鲡为形成并固化高频度追捕池养日本沼虾的摄食对策, 采取积极动员蓄积于体内的多余脂肪, 并以此通过加速合成 TG 来确保 GLU 获得持续供应的血液能源物质代谢机制的本质, 与解剖 M_1 时发现其腹腔内壁和肝表面具不同程度的脂肪沉积, 而 M_2 和 M_3 均无此情形的观察结果吻合。综上所述, 本研究所涉 M_1 、 M_2 、 M_3 养殖模式日本鳗鲡针对各自所处生境的营养供应状况, 依次所采取的“饱食寡动型”、“运动减肥型”和“寡食追逐型”摄食对策及与之相匹配的血液能源物质代谢机制, 无疑是导致三者养成品品质特征表露显著差异的内因。

3.2 三种不同养殖模式对日本鳗鲡养成品肝脏功能的影响

肝脏是鱼类能量代谢的中枢器官和合成血清蛋白的主要场所, 在蛋白质、脂肪和糖类的分解与合成代谢中具有重要作用, 故肝脏功能对于指示鱼类的健康状况具重要价值。本研究所涉 M_1 、 M_2 、 M_3 养殖模式日本鳗鲡养成品间 TP、ALB、GLB 测定值均无显著差异 ($P > 0.05$), 而血清 A/G 值却呈 $M_1 > M_2 > M_3$ 的情形(表 1), 与“狂游病”欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)和健康欧洲鳗鲡间的比对结果(周玉等, 2002)相仿, 预示着 M_1 养殖模式日本鳗鲡养成品肝脏虽在蛋白质合成功能上尚未发生根本性改变, 但已现轻微受损迹象。SOD、CAT 和 POD 作为保护酶系统的重要组成部分, 在保持体内自由基代谢平衡和维系细胞正常代谢中起重要作用。一般来说, 鱼类机体体内自由基增多, 为抵御外源亲电基团的氧化, 避免脂质过氧化, 往往导致抗氧化酶活性升高(冯广朋等, 2012), 本研究 M_1 、 M_2 、 M_3 养殖模式日本鳗鲡养成品间肝脏 SOD 和 POD 活力分别呈 $M_1 > M_2 > M_3$ 和 $M_1 > M_3 > M_2$ (图 1)之情形, 无疑从另一角度注释了 M_1 养殖模式日本鳗鲡养成品肝脏因轻微受损而导致其抗氧化酶活力高企的事实。ALT 主要存在于肝脏组织中, 系表征鱼类肝脏受损的重要指示酶(何福林等, 2007; 刘伟等, 2010), ALP 与营养免疫相关, 是动物代谢过程中重要的调控酶, 血清 ALP 活性降低, 一定程度说明肝组织发生了损伤(Kertesz *et al*, 2002)。故本研究中 M_1 、 M_2 、

M₃ 养殖模式日本鳗鲡养成血清 ALT 测定值间均无显著差异, 而 ALP 测定值却呈 M₂ M₃ > M₁ 的结果, 无疑进一步支持了上述关于 M₁ 养殖模式日本鳗鲡养成肝脏仅具轻微受损迹象, 而未达到实质性受损的预判。作者认为, 造成 M₁ 养殖模式日本鳗鲡养成肝脏出现轻微受损的原因, 主要与其采取“饱食寡动型”摄食对策导致肝脏消化负担长期过重所致, 当然与其所处生存环境胁迫程度相对较高也有一定的关系。

3.3 三种不同养殖模式对日本鳗鲡养成心脏机能和肌肉运动代谢的影响

CK、LDH、AST 因主要存在于心肌中, 故常被作为诊断心脏或心肌组织是否受损的重要血清酶学指标。据报道, CHE 含量的变化预示心肌受损, 从而影响对 O₂ 的吸收和 CO₂ 的排放, 造成机体缺氧死亡(周玉等, 2002)。本研究涉及 M₁、M₂、M₃ 养殖模式日本鳗鲡养成间心脏 SOD、CAT、POD 活力和血清 CHE 含量均无显著差异($P>0.05$), 而 CK 测定值呈 M₃ > M₂ > M₁ ($P<0.05$), LDH 和 AST 测定值呈 M₁ > M₂ > M₃, α -HBDH 呈 M₂ > M₁ > M₃ ($P<0.05$) 的情形, 既表明 M₁、M₂、M₃ 养殖模式日本鳗鲡养成心脏均未出现实质性受损, 同时也揭示了三者在心肌机能和肌肉运动代谢上均存在一定程度的差异。即: (1) CK 是动物肌肉运动代谢的关键酶。研究表明, 运动耐力训练可导致血清 CK 升高(Clarkson *et al*, 1986; Priscilla *et al*, 1992), 故 M₁、M₂、M₃ 养殖模式日本鳗鲡养成间血清 CK 含量的显著差异, 既真实反映了三者间心肌运动机能的强弱, 同时也与采血时发现三者血流速度渐次明显加快的观察结果相吻合。CREA 为由 CK 所催化的肌酸和磷酸肌酸代谢的最终产物, 其在血清中的含量与肌肉活动量有关(韩娜娜等, 2010)。故本文作者认为造成本研究血清 CREA 测定值呈 M₃ > M₁ > M₂ ($P<0.05$) 的原因, 系 M₃ 养殖模式日本鳗鲡养成具强劲的运动机能(血清 CK 测定值分别为 M₁ 的 10.09—44.36 倍和 M₂ 的 5.12—13.42 倍), 与可用于表征鱼体肌肉含量的净重系数呈 M₁ > M₂ > M₃ (王志铮等, 2012) 两者共同影响所致; (2) LDH 及其同工酶 α -HBDH 是生物参与糖酵解的重要酶, 本研究 M₁、M₂、M₃ 养殖模式日本鳗鲡养成血清 LDH、 α -HBDH 测定值间的差异集中反映了食物供应特征对肌肉运动供能机制的影响。即与 M₃ 养殖模式日本鳗鲡相比, M₁、M₂ 养殖模式日本鳗鲡面临充足的食物保障, 为分别支持其长期适应形成的高强度吞饲行为和高频

度追食行为而显著上调了通过糖酵解途径的供能比例, 且尤以 M₂ 养殖模式日本鳗鲡为甚; (3) AST 以心脏中活性最大, 起催化谷氨酸与草酰乙酸之间的转氨作用, 其活性既是评价心脏或肌肉组织发生障碍的重要血清酶学指标(何福林等, 2007), 也与机体氨基酸代谢强度有着密切关系(周贤君等, 2006; 冯广朋等, 2012)。故在心脏机能均处于正常状况下, M₁、M₂ 养殖模式日本鳗鲡养成与 M₃ 养殖模式日本鳗鲡养成间在食物保障条件上的巨大差异势必决定了它们在氨基酸代谢强度上的显著差异。BUN 作为蛋白质代谢的终末产物, 本研究中血清 BUN 测定值呈 M₂ > M₁ > M₃ 的结果, 无疑为 M₂、M₃ 养殖模式日本鳗鲡运动负荷明显高于 M₁, 与 M₁ 养殖模式日本鳗鲡饱食程度明显高于 M₃ 共同影响所致。综上所述, 本研究所涉 M₁、M₂、M₃ 养殖模式日本鳗鲡为分别贯彻各自的摄食对策, 形成了相应的肌肉运动代谢机制, 符合鱼类摄食代谢与运动代谢为两个相互关联的过程(Hicks *et al*, 2004; Fu *et al*, 2007) 的观点。

参 考 文 献

- 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. 应用生态学报, 23(5): 1385—1392
- 冯广朋, 庄 平, 章龙珍等, 2012. 温度对中华鲟幼鱼代谢酶和抗氧化酶活性的影响. 水生生物学报, 36(1): 137—142
- 乔秋实, 蒋广震, 刘文斌等, 2011. 周期性饥饿在投喂对建鲤(*Cyprinus carpio* Jian) 生长、体组成、消化酶的影响. 海洋与湖沼, 42(5): 367—373
- 刘 伟, 支兵杰, 战培荣等, 2010. 盐度对大麻哈鱼幼鱼血液生化指标及肝组织的影响. 应用生态学报, 21(9): 2411—2417
- 岑剑伟, 王剑河, 李来好等, 2008. 不同养殖模式的凡纳滨对虾品质的比较. 水产学报, 32(1): 39—44
- 李小勤, 刘贤敏, 冷向军等, 2008. 盐度对乌鳢(*Channa argus*) 生长和肌肉品质的影响. 海洋与湖沼, 39(5): 505—510
- 何福林, 向建国, 李常健等, 2007. 水温对虹鳟血液学指标影响的初步研究. 水生生物学报, 31(3): 363—369
- 张 伟, 陈立侨, 顾志敏等, 2007. 池养和野生条件下翘嘴红鲌消化酶活性比较的初步研究. 复旦学报, 46(6): 957—962
- 陈永祥, 肖玲远, 严大明等, 2009. 野生和养殖裂腹鱼血液学指标的比较研究. 水生生物学报, 33(5): 905—910
- 周 玉, 郭文场, 杨振国等, 2002. 欧洲鳗鲡“狂游病”血液生化指标的研究. 水生生物学报, 26(3): 314—316
- 周贤君, 解耀启, 谢从新等, 2006. 异育银鲫幼鱼对饲料中赖氨酸的利用及需求量研究. 水生生物学报, 30(3): 247—255
- 洪 磊, 张秀梅, 2004. 环境胁迫对鱼类生理机能的影响. 海洋科学进展, 22(1): 114—121
- 骆作勇, 王 雷, 王宝杰等, 2007. 不同投喂模式对奥利亚罗非鱼血液生化指标与生长性能的影响. 中国水产科学,

- 14(5): 743—748
- 徐维娜, 刘文斌, 沈美芳等, 2011. 饲料中不同蛋白质和脂肪水平对克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)生长性能、体组成和消化酶活性的影响. 海洋与湖沼, 42(4): 521—529
- 高露姣, 黄艳青, 夏连军等, 2011. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较. 水产学报, 35(11): 1668—1678
- 韩娜娜, 史成银, 2010. 血液指标在鱼类学研究中的应用. 安徽农业科学, 38(33): 18877—18878
- 尾崎久雄著, 1982. 许学龙, 熊国强, 缪圣赐译, 1982. 鱼类血液循环生理. 上海: 上海科学技术出版社, 116—120
- Applebaum S L, Holt G J, 2003. The digestive protease, chymotrypsin, as an Indicator of nutritional condition in larval red drum (*Sciaenops ocellatus*). Marine Biology, 142: 1159—1167
- Clarkson P M, Byrnes W C, McCormick K M *et al*, 1986. Muscle soreness and serum creatine kinase activity following isometric, eccentric and concentric exercise. International Journal of Sports Medicine, 7(3): 152—155
- Fu S J, Cao Z D, Peng J L, 2007. Effect of feeding and fasting on excess postexercise oxygen consumption in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 146: 435—439
- Gildberg A, 2004. Digestive enzyme activities in starved pre-slaughter farmed and wild-captured, Atlantic cod (*Gadus morhua*). Aquaculture, 28(1—4): 343—353
- Hicks J W, Bennett A F, 2004. Eat and run: Prioritization of oxygen delivery during elevated metabolic states. Respiratory Physiology & Neurobiology, 144: 215—224
- Imsland A K, Foss A, Gunnarson S *et al*, 2001. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 198(3—4): 353—367
- Kertsz V, Hlubik I, 2002. Plasma ALP activity and blood PCV value changes in chick fetuses due to exposure of the egg to different xenobiotics. Environmental Pollution, 117: 323—327
- Kutty M N, 1978. Ammonia quotient in Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). J Fish Res Board Can, 35: 1003—1005
- Palacea V P, Brown S B, Baron C I *et al*, 1998. An evaluation of the relationships among oxidative stress, antioxidant vitamins and early mortality syndrome (EMS) of lake trout (*Salvelinus namaycush*) from Lake Ontario. Aquatic Toxicology, 43: 259—268
- Priscilla M C, Kazunori N, Barry B, 1992. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. Medicine & Science in Sports & Exercise, 24(5): 512—520
- Stiding H P, 1976. Effects of experimental feeding and starvation on the proximate composition of the European bass, *Picentrarchus labrax*. Marine Biology, 34: 85—91

VARIATIONS OF SERUM BIOCHEMICAL INDICES, VISCERA DIGESTIVE ENZYMES ACTIVITY AND ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITY OF THREE CULTURED POPULATION OF *ANGUILLA JAPONICA*

WANG Zhi-Zheng, ZHAO Jing, YANG Lei, REN Su-Yi, FU Ying-Jie
(Zhejiang Ocean University, Zhoushan, 316004)

Abstract The (25.91±3.26)cm snout-vent lengths *Anguilla japonica* were randomly selected as research materials from three cultured population, namely monoculture population (M_1), polyculture population (M_2) which were kept in the pounds of *Macrobrachium nipponense*, and proliferation population (M_3) that were collected from huge reservoirs. The biochemical method was used to determine and compare the serum biochemical indices, viscera digestive enzymes activity and antioxidant enzyme activity of three cultured population of *A. japonica*. The results show that: (1) among the 16 serum biochemical indicators, there were no significant differences in the TP, ALB, GLB, ALT and CHE ($P>0.05$) for individuals of these three cultured population. CK, CREA and α -HBDH were the indicators that showed significant differences, and the measured values revealed that $M_3 > M_2 > M_1$ ($P<0.05$), $M_3 > M_1 > M_2$ ($P<0.05$) and $M_2 > M_1 > M_3$ ($P<0.05$), respectively. (2) Liver protease, pepsin, hepatic lipase and pancreas lipase were the measured digestive enzymes that showed significant differences among individuals of these three cultured population. Their measured values all revealed that $M_1 > M_2 > M_3$ ($P<0.05$). (3) The measured antioxidant enzymes that showed no significant differences among individuals of these three cultured population were the SOD, CAT, POD in the heart and CAT in the liver ($P>0.05$). The activity of POD in the liver was the only indicator that showed significant differences among three cultured population, and the measured values revealed that $M_1 > M_3 > M_2$ ($P<0.05$).

Key words *Anguilla japonica*; aquaculture model; serum biochemical indices; digestive enzymes; antioxidant enzymes