

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00322

密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼生长、代谢的影响

逯尚尉¹, 刘兆普¹, 余燕^{1,2}

1. 江苏省海洋生物学重点实验室 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095;

2. 南京农业大学 动物科技学院, 江苏 南京 210095

摘要: 点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)幼鱼体质量 (15 ± 0.5) g, 将其随机分为 4 组, 每缸(直径 60 cm×水深 50 cm)分别放养 10 尾、20 尾、30 尾、40 尾幼鱼, 密度分别相当于 1.1 kg/m^3 、 2.1 kg/m^3 、 3.2 kg/m^3 、 4.2 kg/m^3 , 并分别标记记为 G_{10} 、 G_{20} 、 G_{30} 、 G_{40} , 每组 3 个重复, 养殖 6 周后对幼鱼进行生长性能、饲料系数、血液指标及肝脏中相关酶活性进行分析以研究密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼生长、代谢的影响。结果表明: 1) G_{10} 组幼鱼增重率显著低于其他各组($P < 0.05$), G_{20} 组增重率最高且显著高于其他组($P < 0.05$)。各组间特定生长率的变化与增重率的变化趋势类似。 G_{10} 和 G_{20} 组的饲料系数显著低于 G_{30} 组($P < 0.05$), G_{40} 组饲料系数最高且显著高于其他各组($P < 0.05$)。2) G_{30} 和 G_{40} 组间血浆皮质醇含量无显著差异($P > 0.05$), 但均显著高于 G_{10} 和 G_{20} 组($P < 0.05$), G_{10} 组皮质醇含量显著低于 G_{20} 组($P < 0.05$)。血糖含量呈现与皮质醇含量相同的变化趋势。3) G_{30} 和 G_{40} 组谷丙转氨酶活性均显著高于 G_{10} 和 G_{20} 组($P < 0.05$), 各组谷草转氨酶活性随养殖密度的升高而升高; G_{40} 组乳酸脱氢酶活性最高, 与 G_{30} 组无明显差异($P > 0.05$), 但 G_{40} 与 2 个低密度组(G_{10} 和 G_{20})差异显著($P < 0.05$); 乙酰胆碱酯酶活性随养殖密度的升高而降低。结果表明, 养殖密度过高或过低都会对点带石斑鱼幼鱼的生长与代谢造成负面影响, 20 尾/缸(2.1 kg/m^3)是较为适宜的养殖密度。本研究旨在为工厂化养殖点带石斑鱼提供理论依据。[中国水产科学, 2011, 18(2): 322–328]

关键词: 点带石斑鱼; 密度胁迫; 生长; 代谢

中图分类号: S94

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)02-0322-07

水产养殖中, 通过提高养殖密度来提高单位水体的产量, 以实现更高的经济效益是常用的手段之一。但是, 高密度养殖往往会导致种内对空间和饵料的竞争, 引起密度胁迫, 增加鱼类额外的能量消耗, 增大鱼病发生的可能性, 导致养殖群体生长率和存活率下降^[1]。许多学者针对高密度养殖对鱼类生长、存活、摄食以及新陈代谢、免疫功能等的影响进行了研究。白庆利等^[2]研究认为, 养殖密度过高会导致整个鱼群的平均生长率下降, 生长离散现象加剧。Sodeberg 等^[3]在大西洋鲑(*Salmo salar*)的养殖实验中发现, 单独改变养殖密度不会对大西洋鲑的存活率造成影响。

Jorgensen 等^[4]研究发现, 密度胁迫会对北极红点鲑(*Salvelinus alpinus*)的摄食、行为以及耗氧量造成影响。李爱华^[5]研究发现, 密度胁迫可致使草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)脾脏的脏器系数显著降低, 血浆皮质激素迅速升高, 机体对环境胁迫的抵抗力下降。王文博等^[6]认为, 中度和高强度的密度胁迫会对草鱼非特异性免疫功能产生抑制效应, 并导致脾脏发生器质性病变。因此研究鱼类在密度环境下的适应性反应, 有助于在生产实践中掌握适当的养殖密度, 提高养殖效益。

点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)对环境适应性强、肉质鲜美, 是中国东南沿海重要的海

收稿日期: 2010-01-22; 修订日期: 2010-04-06.

基金项目: 江苏省海洋生物学重点实验室主任基金项目(JSK008-01).

作者简介: 逯尚尉(1985-), 男, 硕士, 主要从事海水健康养殖研究. E-mail: 2008103011@njau.edu.cn

通讯作者: 刘兆普, 教授. E-mail: sea@njau.edu.cn

水养殖对象。目前国内关于点带石斑鱼对密度胁迫的适应机制的研究还不多见。本研究探讨了不同养殖密度对点带石斑鱼幼鱼生长性能以及代谢活动的影响及其适宜养殖密度, 以期为进一步探索点带石斑鱼在密度胁迫环境下的适应机制提供参考, 并为工厂化养殖点带石斑鱼提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼及日常管理

实验在室内循环养殖系统中进行, 水族箱规格为: 直径 60 cm×水深 50 cm。密度组的构建参考 Teng 等^[7]的实验结果, 共设 4 个密度组, 每缸分别放养 10 尾、20 尾、30 尾、40 尾体质量为 (15±0.5) g 的点带石斑鱼幼鱼, 密度分别相当于 1.1 kg/m³、2.1 kg/m³、3.2 kg/m³、4.2 kg/m³, 标记为 G₁₀、G₂₀、G₃₀、G₄₀, 每组 3 个重复。实验期间每天分别在 8:00 和 18:00 各投喂小杂鱼 1 次, 投饵率为体质量的 5%, 每次投饵后 30 min 将缸内粪便和残余饵料吸出。实验共进行 6 周, 期间使用冷暖机控制水温为 (28±0.5)℃。每天对盐度进行监测并及时调整, 控制盐度为 26±0.5。24 h 连续充气, 溶氧水平保持在 5 mg/L 以上。每天更换总水量的约 1/3 以控制各组氨氮水平为: DO 4.1~6.0 mg/L, NH₃-N 0.01~0.05 mg/L, NO₂-N 0.05~0.10 mg/L, pH 8.3±0.2。实验期间如果出现实验幼鱼死亡的情况, 则及时将死亡幼鱼取出, 称量体质量, 然后取标记过的体质量相同的健康幼鱼放入缸中以保持各组密度不变, 该鱼在实验结束时不进行体质量、酶活性等各项指标的测定以免影响实验结果。

1.2 样品采集

实验结束时, 每缸取 3 尾鱼, 尾部静脉采血并将血样置于冰盒中暂时保存, 取出肝脏并用盐度为 8.6 的生理盐水冲洗后放入离心管中, 于 -70℃ 冰箱中冷冻保存。

1.3 分析方法

1.3.1 生长性能 实验开始和结束时分别称量各缸全部幼鱼的鲜重, 计算出平均体质量, 然后根据公式计算增重率(WG)和特定生长率(SGR)。计

算实验期间各缸摄食小杂鱼的总质量(鲜样), 然后根据幼鱼体质量计算饲料系数。公式如下:

$$WG(\%) = 100 \times (W_t - W_0) / W_0$$

$$SGR(\%) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

$$FCR = W_F / n(W_t - W_0)$$

式中, W_0 为实验开始时实验鱼的平均体质量(鲜重), W_t 为结束时实验鱼的平均体质量(鲜重), W_F 为饵料总摄食量(鲜重), t 为实验天数(d), n 为实验个体数量, WG 为增重率, SGR 为特定生长率, FCR 为饲料系数。

1.3.2 皮质醇和血糖测定 将血样在低温离心机 (4 000 r/min, 4℃) 中离心 30 min, 吸取上清液。皮质醇参照 Pickering^[8]的方法用放射免疫法(RIA)进行测定, 试剂盒购自北京北方生物技术研究所。采用葡萄糖氧化酶-过氧化物酶法测定血糖含量, 试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.3.3 组织酶活性测定 称取一定量低温保存的肝脏于玻璃匀浆器中, 加入 9 倍质量的生理盐水(盐度 8.6)匀浆, 匀浆后在低温离心机中 (4 000 r/min, 4℃) 离心 30 min, 吸取上清液, 放入冰箱中冷藏, 留作 GOT(谷草转氨酶)、GPT(谷丙转氨酶)、LDH(乳酸脱氢酶)、TChE(乙酰胆碱酯酶)活性的测定。谷草转氨酶和谷丙转氨酶按赖氏比色法测定, 取 0.5 mL GPT 或 GOT 基质液, 加 0.1 mL 组织匀浆稀释液, 在 28℃ 保温 30 min 后加入 2,4-二硝基苯胍液 0.5 mL 混匀, 在 28℃ 水浴中保温 20 min, 加 5 mL NaOH 溶液 (0.4 mol/L), 在碱性条件下于室温显色 10 min, 用国产 721 型分光光度计在 505 nm 波长下比色。查对标准曲线并计算酶活性, 通过拟合公式求得相应的 GPT 和 GOT 活力。

组织乳酸脱氢酶活性单位定义为: 每克组织蛋白在 28℃ 与基质作用 15 min, 反应体系产生 1 μmol 丙酮酸为 1 单位。组织乙酰胆碱酯酶活性单位定义为: 每毫克组织蛋白在 28℃ 保温 6 min, 水解反应体系中 1 μmol 基质为 1 个活性单位。采用考马司亮兰法测定组织中蛋白质的含量。实验中测定组织酶活性所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.4 统计分析

实验数据采用 SPSS13.0 统计软件, 用单因子方差分析和 Duncan's 多重比较进行差异显著性检验, 实验结果用平均值±标准误($\bar{x} \pm \text{SE}$)表示。

2 结果与分析

2.1 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼生长性能的影响

各实验组点带石斑鱼初始体质量、终末体质量、增重率、特定生长率和饲料系数如表 1 所示。G₁₀ 组的终末体质量最低, G₂₀ 组最高, 但各组终

末体质量之间没有显著差异($P > 0.05$)。G₁₀ 组的增重率最低, G₂₀ 组最高, G₃₀ 和 G₄₀ 组之间没有显著差异($P > 0.05$), 但 G₃₀、G₄₀ 组与 G₁₀、G₂₀ 组差异非常显著($P < 0.05$)。特定生长率具有与增重率类似的变化趋势, G₂₀ 组显著高于 G₁₀ 组($P < 0.05$)。G₁₀ 和 G₂₀ 组的饲料系数差异不大($P > 0.05$), 但是明显低于 2 个高密度组(G₃₀, G₄₀) ($P < 0.05$), G₄₀ 组的饲料系数最高, 且显著高于 G₃₀ 组($P < 0.05$)。实验期间各组幼鱼并未出现死亡等异常情况。

表 1 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼体质量、增重率、特定生长率和饲料系数的影响
Tab. 1 Effects of density stress on body weight, weight gain(WG), specific growth rate (SGR) and feed conversion ratio (FCR) of juvenile *Epinephelus malabaricus*

n=3; $\bar{x} \pm \text{SE}$; FW

组别 group	初始体质量/g average initial body weight	终末体质量/g average final body weight	增重率/% WG	特定生长率/% SGR	饲料系数 FCR
G ₁₀	15.36±0.44	28.73±5.61 ^a	87.09±3.49 ^a	1.49±0.03 ^a	2.65±0.35 ^a
G ₂₀	15.34±0.31	29.59±2.34 ^a	92.93±5.54 ^c	1.55±0.04 ^b	2.69±0.41 ^a
G ₃₀	15.33±0.17	29.14±4.22 ^a	90.05±2.61 ^b	1.52±0.02 ^{ab}	3.16±0.40 ^b
G ₄₀	15.34±0.42	29.15±2.03 ^a	90.01±2.78 ^b	1.53±0.03 ^{ab}	3.65±0.35 ^c

注: 同一列数据上标字母相同者表示差异不显著($P > 0.05$), 不相同者表示差异显著($P < 0.05$)。
Note: Within the same column, values with the same superscripts are not significantly different ($P > 0.05$), and values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2.2 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼血浆皮质醇和血糖含量的影响

如表 2 所示, G₄₀ 组幼鱼血浆皮质醇含量比 G₃₀ 组略高 ($P > 0.05$), 2 个高密度组(G₃₀, G₄₀)皮质醇含量显著高于 2 个低密度组(G₁₀, G₂₀) ($P < 0.05$)。G₁₀ 组皮质醇含量最低, 且显著低于($P < 0.05$) G₂₀ 组。各组血糖含量呈现与皮质醇相同的趋势。

2.3 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼肝脏中酶活性的影响

2.3.1 谷丙转氨酶和谷草转氨酶 如表 3 所示, 2 个高密度组(G₃₀, G₄₀) 谷丙转氨酶活性显著高于 2 个低密度组(G₁₀, G₂₀) ($P < 0.05$), 但 G₃₀ 组和 G₄₀ 组之间、G₁₀ 组 和 G₂₀ 组之间的差异并不显著($P > 0.05$)。各组谷草转氨酶活性从高到低依次呈现为 G₄₀、G₃₀、G₂₀、G₁₀ 的趋势, G₁₀ 组谷草转氨酶活最低, 且显著低于 2 个高密度组(G₃₀, G₄₀) ($P < 0.05$)。

表 2 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼皮质醇和血糖含量的影响

Tab. 2 Effects of density stress on plasma cortisol and blood glucose of juvenile *Epinephelus malabaricus*

n=3; $\bar{x} \pm \text{SE}$

组别 group	皮质醇/(ng·mL ⁻¹) plasma cortisol	血糖/(mg·mL ⁻¹) blood glucose
G ₁₀	105.08±4.83 ^a	0.31±0.02 ^a
G ₂₀	162.66±6.67 ^b	0.43±0.02 ^b
G ₃₀	200.05±5.40 ^c	0.52±0.03 ^c
G ₄₀	215.39±3.26 ^c	0.55±0.02 ^c

注: 同一列数据上标字母相同者表示差异不显著($P > 0.05$), 不相同者表示差异显著($P < 0.05$)。
Note: Within the same column, values with the same superscripts are not significantly different ($P > 0.05$), and values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2.3.2 乳酸脱氢酶 各组乳酸脱氢酶活性如表 3 所示, G₁₀ 组和 G₂₀ 组差异不大($P > 0.05$), 且略低于 G₃₀ 组($P > 0.05$)。G₄₀ 组幼鱼乳酸脱氢酶活性最高, 且与 2 个低密度组(G₁₀, G₂₀)差异非常显著($P < 0.05$),

表 3 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼谷丙转氨酶、谷草转氨酶、乳酸脱氢酶与乙酰胆碱酯酶活性的影响
Tab. 3 Effects of density stress on GOT, GPT, LDH and TChE activities of juvenile *Epinephelus malabaricus*

$n=3; \bar{x} \pm SE; U \cdot mgprot^{-1}$

组别 group	谷丙转氨酶 GPT	谷草转氨酶 GOT	乳酸脱氢酶 LDH	乙酰胆碱酯酶 TChE
G ₁₀	761.69±11.59 ^a	133.51±7.27 ^a	1325.19±114.52 ^a	1.36±0.12 ^c
G ₂₀	743.50±6.01 ^a	149.92±7.80 ^{ab}	1357.91±89.11 ^a	1.30±0.84 ^{bc}
G ₃₀	827.33±9.70 ^b	168.25±2.96 ^{bc}	1505.15±79.03 ^{ab}	0.97±0.10 ^{ab}
G ₄₀	824.74±6.04 ^b	173.20±7.87 ^c	1776.84±28.31 ^b	0.94±0.06 ^a

注: 同一列数据上标字母相同者表示差异不显著($P > 0.05$), 不相同者表示差异显著($P > 0.05$).
Note: Within the same column, values with the same superscripts are not significantly different ($P > 0.05$), and values with different super-
scripts are significantly different ($P < 0.05$).

但 G₄₀ 组与 G₃₀ 组差异不显著($P > 0.05$)。

2.3.3 乙酰胆碱酯酶 如表 3 所示, 乙酰胆碱酯酶活性随养殖随密度升高而降低, G₄₀ 组活性最低且与 2 个低密度组(G₁₀, G₂₀)差异显著($P < 0.05$), G₁₀ 组活性最高, 且显著高于 2 个高密度组(G₃₀, G₄₀) ($P < 0.05$)。

3 讨论

鱼类在胁迫环境下的适应性反应分为三级。第一级反应是下丘脑感受到胁迫后, 激活垂体-肾间组织轴(pituitaryinter-renal axis), 分泌皮质醇和儿茶酚胺; 第二级反应是皮质醇和儿茶酚胺引起的代谢、血液和免疫方面的变化; 第三级反应是最终阶段, 导致鱼类疾病, 生长停滞甚至是死亡^[9]。本研究分别从这 3 个方面研究了密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼的影响。

3.1 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼生长性能的影响

一般来说, 较高的养殖密度对鱼类的生长具有抑制作用, 随着养殖密度升高, 养殖鱼类的生长性能呈下降趋势^[10], 也有研究显示, 较高的养殖密度有利于某些鱼类的生长^[11]。江仁党^[12]研究认为, 虹鳟(*Salmo gairdneri*)稚鱼在不同的养殖密度条件下, 个体的最终体质量、体质量特定生长率、日增重随着放养密度的增大而降低, 饵料转化率也降低。Jorgensen 等^[4]研究则发现, 养殖密度过低, 北极红点鲑(*Salvelinus alpinus*)的生长受到抑制, 中等密度组和高密度组北极红点鲑的生长率没有显著差异。本实验中, 密度最低的 G₁₀ 组幼鱼的增重率和特定生长率显著低于其他各组,

这可能是由于点带石斑鱼具有社会性, 放养密度过低反而不利于其生长, 另外本实验是在循环养殖系统中进行, 克服了高密度养殖易造成水质恶化等问题, 因此密度较高的 G₂₀ 组幼鱼反而生长最快。G₃₀ 组和 G₄₀ 组的增重率和特定生长率要低于 G₂₀ 组, 这说明养殖密度过高, 仍然会对点带石斑鱼幼鱼的生长起到抑制作用。孙大川等^[13]在养殖宝石鲈(*Scortum barcoo*)的实验中得出结论, 过低或过高的养殖密度都会对群体生长产生抑制。G₃₀ 和 G₄₀ 两组的饲料系数显著高于 2 个低密度组(G₁₀, G₂₀), 这是由于高密度胁迫下, 点带石斑鱼幼鱼生长受到抑制, 饲料利用率降低, 因此饲料系数增大。因此, 从生产性能和成本的角度, 在 20 尾/缸(即 2.1 kg/m³)的密度下养殖比较适宜。另外, 本实验中各组并没有发生实验鱼死亡的情况, 这可能是由于实验中进行连续充气并定期换水保证了较好的水质条件, 并且实验周期较短, 高密度环境所造成胁迫作于尚不能致使幼鱼死亡。

3.2 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼血浆皮质醇含量的影响

血浆皮质醇和血糖水平通常被作为反映环境胁迫的重要指标^[14]。其中血浆皮质醇是鱼体在受到外界刺激后, 通过垂体-肾间组织轴所分泌的一种重要的应激激素, 因此皮质醇水平的升高被看作是鱼类应激的灵敏信号^[15]。许多研究表明, 胁迫因子会导致血浆皮质醇含量的上升。Barton 等^[16]发现, 在高密度养殖条件下虹鳟(*Salmo gairdneri*)血液中皮质醇浓度会上升, 但饲养 8 d 后恢复到原来水平。Tejpal 等^[17]研究发现, 高密度组印度

鲮(*Cirrhinus mrigala*)幼鱼的皮质醇含量明显高于低密度组,而在饲料中添加赖氨酸可以降低各组的血浆皮质醇水平。Vijayan 和 Leatherland^[18]证实,溪红点鲃(*Salvelinus fontinalis*)在高密度胁迫下肾间组织细胞皮质醇分泌水平显著提高。本研究中,2 个高密度组皮质醇含量显著高于 2 个低密度组,说明这两组幼鱼受到密度胁迫,导致神经内分泌活动发生变化,这可能是点带石斑鱼在密度胁迫下机体对能量需求增加的适应性反应。

3.3 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼血糖含量的影响

血糖是研究鱼类对胁迫适应性第二级反应的重要参数^[17]。多种胁迫因素,如,低 pH、运输、饥饿等,都会导致血糖水平的变化。卢健民等^[19]研究低 pH 水平对鲤(*Cyprinus carpio*)生长及血糖浓度影响时发现,暴露于 pH 4.5~5.0 的鲤血糖有明显升高,体质量明显下降,生长受到抑制;低 pH 水平加铝实验中, pH<5.5 时,鲤血糖浓度明显上升。Wedemeyer^[20]研究发现振荡胁迫(handling stress)会导致虹鳟血糖水平明显升高。殷帅文等^[21]研究发现,饥饿状态下,鲢(*Mugil cephalus* Linnaeus)血糖、血脂和血浆蛋白含量都显著降低;再充分投喂后,各血液生化指标均恢复到对照组水平。本研究中,随着放养密度的增加,幼鱼血糖水平升高,与 Tejpal 等^[17]的研究结果一致。高密度作为一种胁迫因子引起点带石斑鱼幼鱼对额外能量的需求,糖异生作用加强,消耗乳酸、氨基酸等物质转变为葡萄糖和糖原以对抗胁迫时能量分流和代谢调整,从而导致血糖水平升高。

3.4 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼肝脏中酶活性的影响

在胁迫环境下,氨基酸是鱼类进行糖异生作用的优先替代物,鱼类会消耗蛋白质和脂肪等来满足能量的需求,同时相关酶活性也显著升高^[22]。Vijayan 等^[23]研究发现,溪红点鲃(*Salvelinus fontinalis*)在密度胁迫下糖异生作用加强,此时 1,6-二磷酸果糖酶、甘油激素和 3-磷酸葡萄糖脱氢酶活性上升;同时,肝脏中甘油代谢酶(甘油激酶、3-磷酸甘油脱氢酶)的活性出现显著升高。本实验中, G₄₀ 和 G₃₀ 两组幼鱼肝脏中谷草转氨酶和谷丙

转氨酶活性显著高于其他实验组,可能是由于这两组点带石斑鱼受到胁迫作用后,糖异生作用加强,消耗自身的天冬氨酸和丙氨酸等产生葡萄糖来对抗不利环境,这与 Tejpal 等^[17]的研究结果一致。乳酸也是糖异生作用的优先替代物^[9]。Vijayaraghavan 等^[24]的研究表明,饥饿胁迫下,藤攀木鱼(*Anabas scandens*)的乳酸脱氢酶活性明显升高。本实验中,各组乳酸脱氢酶活性随养殖密度的升高而升高,说明高密度养殖对点带石斑鱼幼鱼造成了胁迫作用,影响了其正常的生理代谢活动。

乙酰胆碱酯酶在以乙酰胆碱作为信息传递介质的组织中发挥重要的生理功能,有关组织中乙酰胆碱酯酶维持较高的生物活性是实现生理信息正确传递的必要条件^[25]。Murthy 等^[26]的研究表明,罗非鱼(*Tilapia mossambica*)处于酸性介质中时,低 pH 胁迫导致罗非鱼乙酰胆碱酯酶活性受到抑制,乙酰胆碱大量积累。Jones 等^[27]研究发现,虹鳟(*Salmo gairdneri*)暴露于神经致毒物质时乙酰胆碱酯酶活性出现显著降低。在本研究中,密度较低的 G₁₀ 和 G₂₀ 组幼鱼肝脏中乙酰胆碱酯酶仍然保持了较高的活性,而 2 个高密度组活性较低,说明这两组幼鱼受到了较为明显的密度胁迫,这与 Murthy 等^[26]和 Jones 等^[27]的研究结果一致。

4 结论

养殖密度过低并不利于点带石斑鱼的生长,且造成养殖水体的资源浪费。但养殖密度过高会对幼鱼造成密度胁迫,增加鱼体自身能量消耗,最终降低养殖效益。20 尾/缸(2.1 kg/m³)是点带石斑鱼幼鱼较为适宜的养殖密度。

参考文献:

- [1] Allen K O. Effects of stocking density and water exchange rate on growth and survival of channel catfish *Ictalurus punctatus* in circular tanks[J]. Aquaculture, 1974, 4: 29-39.
- [2] 白庆利,于洪贤,张玉勇,等. 养殖密度对哲罗鱼稚鱼生长和存活的影响[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(2): 36-70.
- [3] Sodeberg R W, Meade J W. Effects of rearing density on growth, survival, and fincondition of Atlantic salmon[J].

- Prog Fish Cult, 1987, 49, 280–283.
- [4] Jorgensen E H, Christiansen J S, Jobling M. Effects of stocking density on food intake, growth performance and oxygen consumption in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*)[J]. Aquaculture, 1993, 110, 191–204.
- [5] 李爱华. 拥挤胁迫对草鱼血浆皮质醇、血糖及肝脏中抗坏血酸含量的影响[J]. 水生生物学报, 1997, 21(4): 384–386.
- [6] 王文博, 李爱华, 汪建国, 等. 拥挤胁迫对草鱼非特异性免疫功能的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(2): 139–144.
- [7] Teng S K, Chua T E. Effect of stocking density on the growth of estuary grouper, *Epinephelus salmoides* Maxwell, cultured in floating net-cages[J]. Aquaculture, 1978, 15: 273–287.
- [8] Pickering A D, Pottinger P. Seasonal and diet changes in plasma cortisol levels of the brown trout, *Salmo trutta* [J]. Gen Comp Endocrinol, 1983, 49: 232–239.
- [9] Chatterjee N, Pal A K, Das T, et al. secondary stress response in Indian major carps *Labeo rohita* (Ham), *Catla catla* (Ham) and *Cirrhinus mrigala* (Ham) fry to increasing packing densities[J]. Aqua res, 2006, 37: 472–476.
- [10] Shelbourn J E, Brett J R, Shirahata S. Effect of temperature and feeding regimes on the specific growth rate of sockeye salmon fry (*oncorhynchus nerka*) with a consideration of size effect[J]. Fish Board Can, 1973, 30: 1 191–1 194.
- [11] Nicholas J K, Hunting W H. Effects of larval stocking density on laboratory-scale and commercial-scale production of summer flounder *Paralichthys dentatus*[J]. J World Aquaculture Society, 2000, 31(3): 436–445.
- [12] 江仁堂. 放养密度对虹鳟稚鱼生长的影响[J]. 水产学杂志, 2009, 22(4): 32–33.
- [13] 孙大川, 谭洪新, 罗国芝, 等. 养殖密度对宝石鲈生长性能和血液生化指标的影响[J]. 渔业现代化, 2009, 36 (2): 12–15.
- [14] Barton B A, Iwama G K. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids[J]. Annu Rev Fish Dis, 1991, 13–26.
- [15] Strange R J, Schreck C B. Anesthetic and handling stress on survival and cortisol concentration in yearling Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*)[J]. Fish Res Bd Can, 1978, 35: 345–349.
- [16] Barton B A, Schreck B, Barton L D. Effects of chronic administration and daily acute stress on growth, physiological conditions and stress responses in juvenile rainbow trout[J]. Dis Aquat Org, 1987(2): 173–186.
- [17] Tejpal C S, Pal A K, Sahu N P. Dietary supplementation of L-tryptophan mitigates crowding stress and augments the growth in *Cirrhinus mrigala* fingerlings[J]. Aquaculture, 2009, 293: 272–277.
- [18] Vijayan M M, Leatherland J F. High density affects cortisol secretion and tissue distribution in brook charr[J]. Endocrinol, 1990(124): 311–318.
- [19] 卢健民, 卢玲, 蔺玉华. 低 pH 水平对鲤鱼生长及血糖浓度影响的研究[J]. 水产学杂志, 2001, 14 (1): 51–53.
- [20] Wedemeyer G A. Some physiological consequences of handling stress in the juvenile coho salmon (*O. kisutch*) and rainbow trout (*S. gairdneri*)[J]. Fish Res Bd Can, 1972, 29: 1780–1783.
- [21] 殷帅文, 林学群, 陈洁辉. 饥饿以及再充分投喂对鲢鱼血液生化指标的影响[J]. 水产养殖, 2007, 28 (1): 7–9.
- [22] Demeal N A. Some characteristics of carbohydrate metabolism in fish[J]. Oceanic DOC Oceanogr, 1978, 4: 35–365.
- [23] Vijayan M M, Ballantyne J S, Leatherland J F. High stocking density alters the energy metabolism of brook charr[J]. Aquaculture, 1990(88): 371–381.
- [24] Vijayaraghavan S, Rao J V R. Starvation stress effects on tissue lactate and lactate dehydrogenase activity in *Anabas scandens* (Cuvier) [J]. Comp Physiol Ecol, 1986, 4: 233–236.
- [25] 刘洪珍, 孔喜良. LD 含量和 LDH、ACP、ALP、TChE 活性在有氧运动影响下的变化[J]. 曲阜师范大学学报, 2002, 28 (4): 105–107.
- [26] Murthy V K, Reddy Y D, Reddy R M, et al. Changes in brain acetylcholinesterase activity in behaviour of freshwater fish in acid polluted environment[J]. Environ Ecol, 1984, 2: 79–82.
- [27] Jones S B, Beauvais S L, Brewer S K, et al. Physiological and behavioural measures of neurotoxicity in rainbow trout[J]. Fish Respon Tox Envir, 1999, 27–28.

Effects of density stress on growth and metabolism of juvenile *Epinephelus malabaricus*

LU Shangwei¹, LIU Zhaopu¹, YU Yan^{1,2}

1. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Marine Biology, College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China;

2. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China

Abstract: A 6-week feeding trail was conducted to study the effect of density stress on growth performance, plasma cortisol, blood glucose and activities of related enzymes of juvenile *Epinephelus malabaricus*. Three hundred juveniles, body weight (15 ± 0.5) g were randomly distributed in 4 experimental groups: G₁₀ (10 ind/tank, 1.1 kg/m³), G₂₀ (20 ind/tank, 2.1 kg/m³), G₃₀ (30 ind/tank, 3.2 kg/m³), and G₄₀ (40 ind/tank, 4.2 kg/m³). The results showed: (1) weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) of G₁₀ were the lowest among the experimental groups, and WG and SGR of G₂₀ were the highest. Feed conversion ratio (FCR) increased with the increase of density. (2) No significant difference was observed in plasma cortisol levels between G₃₀ and G₄₀ ($P > 0.05$), plasma cortisol levels of G₁₀ and G₂₀ were significantly lower than those of G₃₀ and G₄₀ ($P < 0.05$), and plasma cortisol level of G₁₀ was the lowest. Similar trend was recorded in blood glucose levels. (3) Glutamic pyruvic transaminase (GPT) activities of G₃₀ and G₄₀ were significantly higher than those of G₁₀ and G₂₀; glutamic oxaloacetic transaminase (GOT) activities and lactic dehydrogenase (LDH) activities increased with the increase of the stocking density, total choline esterase (TChE) activities decreased with the increase of the stocking density. Hence, too high or too low stocking density would affect the growth performance and metabolism of juvenile *Epinephelus malabaricus*, and 20 ind/tank (2.1 kg/m³) was considered to be a suitable stocking density. [Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 322–328]

Key words: *Epinephelus malabaricus*; density stress; growth; metabolism

Corresponding author: LIU Zhaopu. E-mail: sea@njau.edu.cn