

文章编号: 1674-5566(2013)05-0706-07

## 循环水养殖密度和氨氮对斜带石斑鱼生长和免疫力的影响

郑乐云<sup>1</sup>, 杨求华<sup>1</sup>, 黄种持<sup>1</sup>, 吴精灵<sup>1</sup>, 陈新明<sup>2</sup>

(1. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361012; 2. 厦门小嶝水产科技有限公司, 福建 厦门 361104)

**摘要:** 选取平均体重为 146.3 g/尾的斜带石斑鱼 450 尾分成 3 个密度组进行饲养, 分别为低密度组 D1 (100 尾/m<sup>3</sup>, 14.6 kg/m<sup>3</sup>)、中密度组 D2 (150 尾/m<sup>3</sup>, 21.7 kg/m<sup>3</sup>) 和高密度组 D3 (200 尾/m<sup>3</sup>, 29.5 kg/m<sup>3</sup>), 比较不同养殖密度引起的水质变化对斜带石斑鱼的生长性能、摄食率和免疫力的影响。结果表明: 水体中氨氮含量随斜带石斑鱼养殖密度的增加而增加 ( $P < 0.05$ ); 斜带石斑鱼的摄食率随水体中氨氮浓度的增加而显著下降 ( $P < 0.05$ )。随着养殖密度的增加, 斜带石斑鱼的生长速度呈现负相关性, 各试验组的特定生长率分别为 1.07、0.66、0.47; 各实验组斜带石斑鱼体重也出现显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 各实验组的尾均增重量分别为 118.5 g、63.3 g 和 44.1 g; 养殖密度对斜带石斑鱼的饵料系数和成活率无显著影响 ( $P > 0.05$ ); 斜带石斑鱼的免疫指标血清溶菌酶 (LZM)、碱性磷酸酶 (AKP) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 随养殖密度的增加而下降, 随养殖时间的延长呈现出先上升后下降的趋势。阐明了养殖密度引起养殖水质状况的改变, 继而影响斜带石斑鱼摄食率的变化, 从而造成石斑鱼的生长性能出现显著性差异, 可能是养殖密度对斜带石斑鱼生长性能影响的机制之一。

**研究亮点:** 阐明了养殖密度引起养殖水质变化, 继而影响斜带石斑鱼的摄食率, 造成石斑鱼的生长性能和免疫力出现显著性差异。以此阐释了养殖密度对石斑鱼摄食和生长影响的可能机制, 为科学开展斜带石斑鱼封闭式循环水养殖提供理论参考。

**关键词:** 斜带石斑鱼; 水质; 生长; 摄食; 免疫指标  
**中图分类号:** S 965.334  
**文献标志码:** A

斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 俗称青斑, 隶属于鲈形目 (Perciformes)、鲷科 (Serranidae), 石斑鱼属 (*Epinephelus*), 主要分布在热带亚热带海区, 因其肉质细嫩, 味道鲜美, 近年来已成为我国南方沿海海水养殖的高档经济鱼类之一, 在福建、海南、广东、台湾等地均有大量养殖<sup>[1-2]</sup>。工厂集约化养殖因其能够明显提高单位水体的载鱼量而逐渐成为水产养殖业重要的生产模式之一<sup>[3]</sup>, 不过随着养殖密度的提高, 其对水产动物的生长、生理及品质等方面都会产生一定的影响, 过高的养殖密度可能导致鱼体之间受到胁迫<sup>[4-5]</sup>, 引起水质状况发生改变, 水体中的氨氮、亚硝酸盐等含量上升<sup>[6]</sup>, 继而造成鱼体生长缓慢<sup>[7]</sup>、离散增加<sup>[8]</sup>、免疫力下降<sup>[9]</sup>等。目前, 关于适度养殖密度的研究主要集中于对鱼类胁迫效

应方面<sup>[10]</sup>, 而在生产系统内开展鱼类的养殖密度胁迫效应由于水质状况不容易控制等因素造成研究难度加大, 即使是相同的品种, 在生长的不同阶段其研究结果也存在差异<sup>[11]</sup>。本文在循环水养殖系统内研究不同养殖密度条件下, 斜带石斑鱼养殖水质的变化, 继而对其摄食、生长、免疫和水质的影响, 为科学开展斜带石斑鱼封闭式循环水养殖提供理论参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验用鱼及饲料

养殖试验在厦门小嶝水产科技有限公司的养殖场进行。试验用鱼为场内养殖池生产用鱼, 规格整齐、健康, 均重为 (146.3 ± 6.33) g。

试验饲料采用中山统一企业公司生产的石

收稿日期: 2013-01-30 修回日期: 2013-04-26

基金项目: 福建省石斑鱼种业创新与产业化工程建设[闽种石斑鱼(004号)]

作者简介: 郑乐云(1969—), 男, 高级工程师, 研究方向为石斑鱼养殖与育种。E-mail: lyzheng69@sina.com

通信作者: 黄种持, E-mail: hzc@fjta.com

斑鱼配合饲料,其主要营养成分为:粗蛋白 $\geq 46\%$ 、粗灰分 $\leq 16\%$ 、粗纤维 $\leq 4\%$ 、钙 $\leq 4.5\%$ 、总磷 $\leq 4.5\%$ 、赖氨酸 $\geq 1.5\%$ 、水分 $\leq 12\%$ 。

## 1.2 试验设计

试验用鱼经过 7 d 的摄食驯化后开始进行试验。试验在 3 套循环水系统(大连汇新钛设备开发有限公司,圆桶内径 1.0 m,高度 0.8 m,有效容积 400 L)中进行,保持流水状态。试验分为 3 个组:低密度组 D1(100 尾/ $m^3$ ,14.6 kg/ $m^3$ )、中密度组 D2(150 尾/ $m^3$ ,21.7 kg/ $m^3$ )、高密度组 D3(200 尾/ $m^3$ ,29.5 kg/ $m^3$ ),每组设 2 个重复,免疫指标测定中对照组(D0)为室外高位池养殖的斜带石斑鱼。

## 1.3 日常饲养管理

试验时间为 2012 年 9 月 3 日至 10 月 27 日,共计 55 d。养殖用水为自然海区沙滤水,试验期间不换水或仅少量加水(各实验组处理方式一致),自然水温为(29.3 $\pm$ 2.4) $^{\circ}C$ ,盐度为 33~40,DO $>5$  mg/L,每天投饵 2 次,投喂时间一般为上午 7:00-7:30,下午 17:00-17:30,投饵量以实验鱼不再活跃摄食为度,每天测量水温,统计、记录每组鱼的摄食量和死亡量,每隔 10 d 测定一次水质状况,包括氨氮、亚硝氮、溶解氧(DO)、酸碱度(pH)等,测定方法按照 GB 17378.4—1998 中海水监测规范进行<sup>[6]</sup>。

## 1.4 测定指标及方法

### 1.4.1 生长指标

实验开始和结束时测量全部实验鱼的数量及体重,测量前 24 h 停止喂食,按下列公式计算实验鱼的生长指标:

$$W_G = W_t - W_0 \quad (1)$$

$$W_{Gr} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100 \quad (2)$$

$$G = (W_t - W_0) / T \quad (3)$$

$$R_{SG} = (\ln W_t - \ln W_0) / T \times 100 \quad (4)$$

$$F_d = F_c / (T \cdot N) \quad (5)$$

$$F_{dr} = F_d / [(W_t + W_0) / 2] \times 100 \quad (6)$$

$$Q_{sr} = Q_t / Q_0 \times 100\% \quad (7)$$

$$F_{cr} = F_c / W_g \quad (8)$$

式中: $W_G$ 为平均每尾鱼增重量(g); $W_t$ 为实验结束时尾均重(g); $W_0$ 为实验开始时尾均重(g); $W_{Gr}$ 为平均每尾鱼增重率(%); $G$ 为平均每尾鱼日增重量(g); $T$ 为实验天数(d); $R_{SG}$ 为特定增长率(%); $F_d$ 为试验期间每尾鱼日均摄食量(g);

$F_{dr}$ 为日均摄食率(%); $Q_{sr}$ 为成活率(%); $Q_t$ 实验结束时鱼总数(尾); $Q_0$ 实验开始时鱼总数(尾); $F_{cr}$ 为饲料系数; $F_c$ 为饵料总投喂量(g); $W_g$ 为实验结束时鱼总增重量(g); $N$ 为试验各组鱼的数量(尾)。

### 1.4.2 血清免疫指标

试验开始后,分别在第 10 天、第 20 天、第 30 天和试验结束时进行石斑鱼免疫活力(免疫学指标)测定。从各养殖桶内随机取鱼 3 尾,用 5 mL 的无菌注射器自石斑鱼的尾静脉处抽取血液,放置于无菌的 Eppendorf 管,室温静置 2 h 后,再于 4 $^{\circ}C$ 静置过夜,3 000 r/min 离心 10 min 取上层血清用于免疫指标测定。测定指标包括超氧化物歧化酶活性(SOD)、溶菌酶活性(LZM)和碱性磷酸酶活性(AKP),3 种酶的活性测定均采用南京建成生物试剂盒法,计算方法参照试剂盒说明书。

## 1.5 数据处理与分析

通过 Excel 和 SPSS 18.0 对所有数据进行处理,单因素方差分析(One-Way ANOVA),Duncan 氏法进行多重比较。为使待分析数据呈正态分布,方差分析前将以百分比表示的数据转换为该数值的反正弦值。试验结果用平均值 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm SD$ )表示。

## 2 结果

### 2.1 养殖密度对斜带石斑鱼生长性能的影响

各试验组斜带石斑鱼生长性能指标如表 1 所示。从表中可以看出,试验开始时各组平均体重没有显著差异( $P > 0.05$ ),经过 55 d 的实验,3 个密度组鱼的体重增长出现明显差异( $P < 0.05$ )。低密度组(D1 组)的平均体重最高,达 264.9 g,养殖密度达 26.2 kg/ $m^3$ ;高密度组(D3 组)的平均体重最低,为 191.8 g,养殖密度达 37.8 kg/ $m^3$ 。

试验期间,养殖密度对斜带石斑鱼增重量和日增重率有显著影响( $P < 0.05$ )。实验 D1 组的尾增重量最高,为 118.5 g,实验 D3 组的尾增重量最低,为 44.1 g,随着养殖密度的增加,尾增重量呈下降趋势;不同密度组间的饲料系数无显著性差异( $P > 0.05$ );不同密度组间的存活率均大于 98%,也不存在显著性差异( $P > 0.05$ ),如表 1 所示。

表 1 不同养殖密度对斜带石斑鱼生长性能的影响

Tab. 1 Effects of different density on growth of grouper (*Epinephelus coioides*)

组别	D1	D2	D3
平均初重/(g/尾)	146.4 ± 6.18	144.9 ± 5.69	147.7 ± 7.66
平均末重/(g/尾)	264.9 ± 14.82 <sup>a</sup>	208.2 ± 15.12 <sup>b</sup>	191.8 ± 16.96 <sup>b</sup>
尾均增重量/g	118.5 ± 1.91 <sup>a</sup>	63.3 ± 3.93 <sup>b</sup>	44.1 ± 13.88 <sup>b</sup>
尾均增重率/%	80.96 ± 1.26 <sup>a</sup>	43.63 ± 2.13 <sup>b</sup>	29.87 ± 9.79 <sup>b</sup>
日增重/(g/d)	2.15 ± 0.034 <sup>a</sup>	1.15 ± 0.071 <sup>b</sup>	0.80 ± 0.252 <sup>b</sup>
特定增长率/(%/d)	1.07 ± 0.012 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.027 <sup>b</sup>	0.47 ± 0.137 <sup>b</sup>
摄食率/%	2.78 ± 0.76	2.60 ± 0.83	2.26 ± 0.75
成活率/%	99.00	98.67	98.50
饲料系数	1.72 ± 0.03	1.73 ± 0.06	1.78 ± 0.12

注:同行标注不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.2 养殖密度引起的水质变化对斜带石斑鱼摄食的影响

试验期间共监测了 6 项水质指标(表 2),如表所示,温度、盐度、DO、pH 和  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  含量基本保持平稳,各个试验组之间无显著差异( $P > 0.05$ );各实验组氨氮浓度呈先上升后下降并趋于稳定的变化趋势(图 1),高密度组氨氮浓度处于较高水平,组间差异显著( $P < 0.05$ )。由于水质测定时间间隔为 10 d,计算水质测定前后 5 d

共 10 d 的平均摄食率,得到不同时间水体中氨氮含量变化与石斑鱼摄食率关系图(图 1)。如图所示,随着试验的进行,水体中氨氮含量的上升,斜带石斑鱼的摄食率整体呈下降趋势,其中高密度组 D3 的下降幅度最大,其最低时(10 月 15 日)的摄食率比最高时(9 月 5 日)下降了 61.3%;而对于各个试验组之间,石斑鱼的摄食率不存在显著差异( $P > 0.05$ ),不过从图中可以看出,整体上低密度组(D1 组)的摄食率要高于其余两组。

表 2 各密度组摄食率及水质指标的变化

Tab. 2 Physiochemical and microbiological parameters at different stocking densities

组别	水温/°C	盐度	DO/(mg/L)	pH	$\text{NH}_4^+ - \text{N}/(\text{mg/L})$	$\text{NO}_2^- - \text{N}/(\text{mg/L})$
D1	29.23 ± 2.52	37.6 ± 1.7	5.97 ± 0.61	7.73 ± 0.13	0.51 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.007
D2	29.42 ± 2.41	38.3 ± 1.4	5.89 ± 0.56	7.67 ± 0.12	0.85 ± 0.32 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.010
D3	29.37 ± 2.40	36.2 ± 1.0	5.93 ± 0.48	7.72 ± 0.11	0.92 ± 0.51 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.012

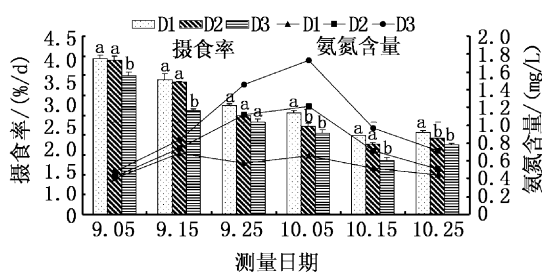


图 1 水体中氨氮含量及石斑鱼摄食率变化

Fig. 1 The content of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and feeding rate of grouper in different time

字母不同表示同一测定时间各处理组之间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。图中左边纵坐标表示平均每日的摄食率(%/d),右边表示水体中氨氮浓度(mg/L)。

## 2.3 不同养殖密度斜带石斑鱼血清免疫指标的差异

图 2、3、4 分别显示了不同养殖密度条件下斜带石斑鱼血清溶菌酶(LZM)、碱性磷酸酶

(AKP)和超氧化物歧化酶(SOD)随时间变化的趋势。由图 2 可知,各试验组的 LZM 活性呈先上升后下降的趋势,在试验末期为最低值。对照组的溶菌酶活性则呈缓慢上升趋势,不过差异不显著( $P > 0.05$ )。到第 30 天时,各试验组的溶菌酶含量已显著低于对照组( $P < 0.05$ ),且下降幅度随着养殖密度的增加而加剧,各密度组之间也达到显著性差异( $P < 0.05$ )。由图 3 可知,各试验组的 AKP 活性的变化趋势与溶菌酶相类似,呈先上升后下降的趋势,不过各密度组之间差异不显著,或仅低密度组 D1 与高密度组 D3 之间有显著性差异( $P < 0.05$ )。由图 4 可知,除对照组的 SOD 呈上升趋势外,各试验组的超氧化物歧化酶活性都呈现出下降的趋势,且下降幅度随着养殖密度的增加而加剧,到第 30 天时,各试验组的 SOD 含量已达到显著性差异( $P < 0.05$ )。测定的

3 种免疫酶的活性随着养殖密度的增加而降低。

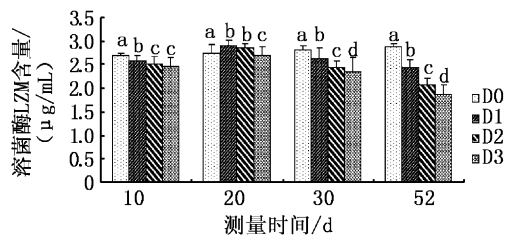


图2 不同养殖密度对斜带石斑鱼溶菌酶含量的影响  
Fig. 2 Effects of different density on lysozyme content of grouper (*Epinephelus coioides*)

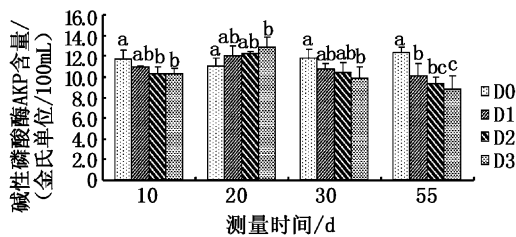


图3 不同养殖密度对斜带石斑鱼碱性磷酸酶含量的影响  
Fig. 3 Effects of different density on AKP content of grouper (*Epinephelus coioides*)

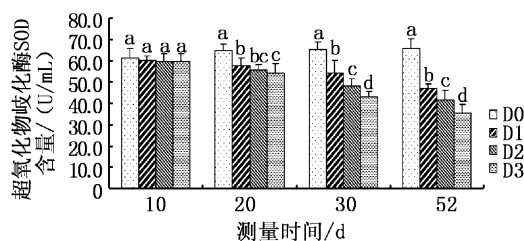


图4 不同养殖密度对斜带石斑鱼总超氧化物歧化酶含量的影响  
Fig. 4 Effects of different density on SOD content of grouper (*Epinephelus coioides*)

### 3 讨论

#### 3.1 养殖密度对斜带石斑鱼生长和养殖水质的影响

养殖密度是影响水体生产力的重要因素之一,一般认为,随着养殖密度的增加,单位水体的产量也随之上升,而随着养殖密度的继续上升,水体中溶解氧消耗,二氧化碳排放、氨氮增加,水质恶化,不良的水体环境对生物体的摄食、生长、能量代谢及行为等产生影响<sup>[12]</sup>。

在普通网箱养殖石斑鱼实验中,100 g 左右

的斜带石斑鱼密度为  $2.06 \text{ kg/m}^3$ <sup>[13]</sup>,300 g 的石斑鱼放养密度为  $5 \text{ kg/m}^3$ <sup>[14]</sup>,而池塘中养殖的赤点石斑鱼的放养密度为  $0.08 \text{ kg/m}^3$ <sup>[15]</sup>。在循环水养殖模式中,200 ~ 250 g 的鞍带石斑鱼养殖密度可达  $12.7 \text{ kg/m}^3$ ,最高可达  $32.5 \text{ kg/m}^3$ <sup>[16]</sup>。而在辛乃宏等<sup>[17]</sup>构建的封闭式循环水养殖系统中,石斑鱼和半滑舌鳎的养殖承载量分别达到  $30 \text{ kg/m}^3$  和  $20 \text{ kg/m}^3$ 。罗国芝等<sup>[18]</sup>对半封闭循环水系统中高体革鳃最适养殖密度进行研究,对于体重为 50 ~ 100 g 的鱼体建议的最适养殖密度为 260 尾/ $\text{m}^3$  ( $13 \text{ kg/m}^3$ )。同样是在封闭循环水养殖系统,朱建新等<sup>[8]</sup>研究了养殖密度对大菱鲂幼鱼生长和免疫机能的影响,试验结束时最高养殖密度为  $17.77 \text{ kg/m}^3$ 。在本实验中,共设置了  $14.6 \text{ kg/m}^3$ 、 $21.7 \text{ kg/m}^3$ 、 $29.5 \text{ kg/m}^3$  3 密度进行试验,其密度显著高于普通网箱和池塘的石斑鱼养殖密度,但还处在循环水系统的鱼载量范围之内。

养殖密度对养殖水体水质有显著影响<sup>[6]</sup>,张晓雁等<sup>[9]</sup>的研究表明,硝酸盐、磷酸盐和总细菌随养殖密度的下降而显著降低。本研究中,溶解氧、亚硝酸盐和酸碱度在密度组之间无显著差异,而氨氮含量随着养殖密度的增加而显著增加,因此养殖密度对鱼类生长的影响有可能是因为不同养殖密度引起的水质差异造成的。此外,密度胁迫也有可能是养殖密度对鱼类生长影响的机制之一,很多学者对此进行了研究。逯尚尉等<sup>[10]</sup>对点带石斑鱼幼鱼的密度胁迫影响进行了研究,其设置了  $1.1 \text{ kg/m}^3$ 、 $2.1 \text{ kg/m}^3$ 、 $3.2 \text{ kg/m}^3$ 、 $4.2 \text{ kg/m}^3$  4 个密度组的点带石斑鱼幼鱼养殖试验,结果发现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。罗国芝等<sup>[18]</sup>研究表明过高的养殖密度会造成鱼体的生长效率、特定增长率等显著下降,而且饲料系数也会随着养殖密度的增加而明显升高。朱建新等<sup>[8]</sup>指出大菱鲂的生长速度与养殖密度呈负相关,高密度不利于大菱鲂的生长。也有研究表明密度对大西洋鲑(*Salmon salar*)的生长效率没有显著影响<sup>[19]</sup>,同样的结果也出现在 SODEBERG 和 MEADE<sup>[20]</sup>的研究结果里,他们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。不过柳敏海等<sup>[12]</sup>研究了长期密度胁迫对条石鲷鱼的影响,发现长期密度胁迫将导致条石鲷鱼死亡率急剧升高,并且当密度达到 9

kg/m<sup>3</sup>后将不适合条石鲷生长。在本实验中,斜带石斑鱼的生长速率和摄食率随着养殖密度的增加而显著减少,这与条石鲷<sup>[12]</sup>的研究结果相类似,其可能是高密度造成个体间相互遭遇攻击的机会增加,种群内的“社群胁迫”作用加剧<sup>[18]</sup>,鱼类与社会相互作用相关的耗能活动水平增加<sup>[21]</sup>,导致摄食率下降,不过各密度组斜带石斑鱼的成活率不存在显著性差异,均超过98%。

### 3.2 养殖水质对斜带石斑鱼生长的影响

有报道指出<sup>[18]</sup>,养殖密度过大引起的水质恶化对试验鱼的胁迫也可能是密度胁迫效应的一种表现形式。而常用的水质好坏主要测定指标包括水的酸碱度值(pH)、溶解氧含量(DO)、化学耗氧量(COD)、透明度、氨氮、亚硝酸盐以及硫化物浓度(S<sup>2-</sup>)等<sup>[22]</sup>。

氨氮是水产养殖环境中的一种重要影响因子,李永等<sup>[23]</sup>研究表明,高浓度氨氮胁迫会对甲壳动物的免疫和肝胰腺有着重要影响,长时间胁迫导致其免疫力下降,肝胰腺组织结构受到破坏;水体中积累一定的分子氨会对鱼鳃表皮细胞造成损伤及使鱼的免疫力降低<sup>[24]</sup>;COLT和TCHOBANOGLIOUS<sup>[25]</sup>用0.52 mg/L浓度的氨处理鲶鱼,发现鲶鱼生长速度降低了一半;郑乐云发现氨氮对小规格(4.4 cm)及大规格(10.5 cm)斜带石斑鱼苗96 h LC<sub>50</sub>值分别为2.68、51.4 mg/L,对应的非离子氨质量浓度分别为0.11、2.12 mg/L;在本实验水体中氨氮浓度在安全浓度内,氨氮对试验鱼的影响主要表现在降低了石斑鱼的摄食率、生长速率和免疫水平<sup>[26]</sup>。

姚雪梅等<sup>[27]</sup>研究了亚硝酸盐对海参的影响,亚硝酸盐质量浓度大小与海参生长呈明显的负相关关系,当亚硝酸盐浓度达1.34 mg/L时,海参的日增重率为负值,为-3.304%,而当亚硝酸盐浓度为0.23 mg/L时,海参的日增重率为1.638%,二者差异显著( $P < 0.05$ )。RODRIGUE等<sup>[28]</sup>研究了亚硝酸态氮对多种养殖鱼类和甲壳类的毒性,结果表明,鲑鳟鱼类的LC<sub>50</sub>为0.19~0.88 mg/L,非鲑鳟鱼类为2.3~190 mg/L,虾蟹类为0.42~6.5 mg/L。郑乐云<sup>[26]</sup>研究显示亚硝酸盐对全长4.4 cm和10.5 cm斜带石斑鱼苗安全质量浓度分别为26.7 mg/L和20.8 mg/L,本实验水体中亚硝酸盐含量处于较低水平,与各组间石斑鱼的生长无相关关系。

### 3.3 养殖水质对斜带石斑鱼免疫力的影响

溶菌酶是一种可以催化细菌细胞壁多糖水解从而破坏细菌细胞壁使之死亡的蛋白酶,它对各种微生物病原体都具有重要的防御作用,是鱼虾等水产养殖动物一种非常重要的非特异性免疫指标<sup>[29-30]</sup>。超氧化物歧化酶是机体内的抗氧化酶,在清除超氧自由基,氧化自由基,防止生物分子损伤方面发挥重要作用<sup>[31]</sup>,过多的氧自由基能导致机体免疫力下降<sup>[32]</sup>。

YIN<sup>[33]</sup>报道了拥挤胁迫导致了溶菌酶和补体活性的下降,并提出处于慢性胁迫中的鲤鱼(*Cyprinus carpio* L)可能以一种较低的免疫水平来生存。王文博等<sup>[34]</sup>认为,中度和高强度的密度胁迫会使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,不过邱德全等<sup>[35]</sup>的研究结果显示,低浓度的氨态氮也能显著降低10~12 cm的凡纳滨对虾免疫酶水平。李永等<sup>[23]</sup>研究了氨氮胁迫对斑节对虾免疫指标的影响,在浓度为29.94 mg/L氨氮胁迫下,斑节对虾的超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活力先上升后下降。

本研究中,在斜带石斑鱼受到氨氮胁迫前期,LZM、AKP和SOD的免疫活性在下降前都有时间不等的上升规律。这可能是由于实验前期在低浓度的氨氮作用下,产生“毒物兴奋效应”<sup>[23]</sup>,即低浓度毒物胁迫下生物免疫力增高现象,通过维持机体的自身平衡来克服胁迫的保护效应。而当水质继续恶化后,斜带石斑鱼体内的氨氮继续积累,造成毒性效应,机体生理失调,导致LZM、AKP和SOD的活性进一步下降。

### 参考文献:

- [1] 麦贤杰,黄伟建,叶富良,等. 海水鱼类繁殖生物学和人工繁育[M]. 北京:海洋出版社,2005:166-167.
- [2] 余德光,杨宇晴,王海英,等. 盐度变化对斜带石斑鱼生理生化因子的影响[J]. 水产学报,2011,35(5):719-727.
- [3] SCHRAM E, van der HEUL J W, KAMSTRA A, et al. Stocking density-dependent growth of dover sole (*Solea solea*) [J]. Aquaculture, 2006, 252: 33-347.
- [4] SAMMOUTH S, D'ORBCASTEL E R. The effect of density on sea bass (*Dicentrarchus labrax*) performance in a tankbased recirculating system [J]. Aquaculture Engineering, 2009, 40: 72-78.
- [5] SAOUD I P, GHANAWI J. Effects of stocking density on the

- survival, growth, size variation and condition index of juvenile rabbit fish (*Siganus rivulatus*) [J]. *Aquaculture International*, 2009, 16: 109 - 116.
- [6] 王华,李勇,陈康,等. 工厂化养殖半滑舌鳎生长、摄食和水质的变化特征及规律 [J]. *水生态学杂志*, 2009, 2(4): 52 - 59.
- [7] PORRELL O, FERRARI G, LENZI M, et al. Ammonia variations in phyto-treatment ponds of land-based fish farm wastewater [J]. *Aquaculture*, 2003, 219: 485 - 494.
- [8] 朱建新,赵霞,曲克明,等. 封闭循环水系统中养殖密度对大菱鲆生长和免疫的影响 [J]. *渔业现代化*, 2011, 38(4): 1 - 5.
- [9] 张晓雁,李罗新,危起伟,等. 养殖密度对中华鲟行为、免疫力和养殖环境水质的影响 [J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(11): 1348 - 1354.
- [10] 逯尚尉,刘兆普,余燕. 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼生长、代谢的影响 [J]. *中国水产科学*, 2011, 18(2): 322 - 328.
- [11] HECHT T, PIENAAR A G. A review of cannibalism and its implications in fish Larviculture [J]. *World Aquaculture Society*, 1993, 24: 246 - 261.
- [12] 柳敏海,彭志兰,张凤萍,等. 养殖密度对条石鲷生长、摄食和行为的影响 [J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(4): 530 - 534.
- [13] 黄种持,陈度煌,林建斌,等. 配合饲料与小杂鱼对斜带石斑鱼生长性能影响 [J]. *饲料研究*, 2012(9): 1 - 4.
- [14] 张霞. 海水网箱养殖石斑鱼技术 [J]. *中国水产*, 2009(2): 40 - 41.
- [15] 陈飞. 赤点石斑鱼围塘养殖技术 [J]. *中国水产*, 2006(10): 49 - 50.
- [16] 黄锦雄,杨宇晴,张海发,等. 循环水养殖条件下鞍带石斑鱼生长特点研究 [J]. *渔业现代化*, 2012, 39(1): 51 - 54.
- [17] 辛乃宏,于学权,吕志敏,等. 石斑鱼和半滑舌鳎封闭循环水养殖系统的构建与运用 [J]. *渔业现代化*, 2009, 36(3): 21 - 25.
- [18] 罗国芝,刘刚,谭洪新. 半封闭循环水养殖系统中高体革鱼刺养殖密度研究 [J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(2): 218 - 224.
- [19] KJARTANSSON H, FIVELSTAD S, THOMASSEN J M. Effects of different stocking densities on physiological parameters and growth of adult atlantic salmon (*Salmosalar L.*) reared on circular tanks [J]. *Aquaculture*, 1988, 73: 261 - 274.
- [20] SODEBERG R W, MEADE J W. Effects of rearing density on growth, survival and fincondition of Atlantic salmon [J]. *Progressive Fish-Culturist*, 1987, 49: 280 - 283.
- [21] JOFGONSEN E H. Effects of stocking density on food intake, growth performance and oxygen consumption in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) [J]. *Aquaculture*, 1993, 110: 191 - 204.
- [22] 陈在新,王文一. 影响鱼类生长的水质因子机理与控制 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(1): 15 - 16.
- [23] 李永,杨其彬,苏天凤,等. 氨氮对斑节对虾的毒性及免疫指标的影响 [J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(3): 358 - 362.
- [24] SAMPAIO L A, WASIELESKY W, CAMPOSMIRANDA F K. Effect of salinity on acute toxicity of ammonia and nitrite to juvenile *Mugil platanus* [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2002, 68: 668 - 674.
- [25] COLT J, TCHOBANOGLOUS G. Chronic exposure of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, to ammonia: effect on growth and survival [J]. *Aquaculture*, 1978, 15(4): 353 - 372.
- [26] 郑乐云. 氨氮和亚硝酸盐对斜带石斑鱼鱼苗的急性毒性效应 [J]. *海洋科学*, 2012, 36(5): 81 - 86.
- [27] 姚雪梅,王红勇,刑少雷,等. 不同水温和水质理化因子对糙海参摄食、生长影响研究 [J]. *水产科学*, 2007, 26(5): 292 - 295.
- [28] RODRIGUEZ-MORENO P, TARAZONA J. Nitrite induced methemoglobin formation and recovery in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at high chloride concentrations [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1994, 53: 113 - 119.
- [29] 郑清梅,吴锐全,叶星. 水生动物溶菌酶的研究进展 [J]. *上海水产大学学报*, 2006, 15(4): 483 - 487.
- [30] LIN Y C, TAYAG C M, HUANG C L, et al. White shrimp *Litopenaeus vannamei* that had received the hot-water extract of *Spirulina platensis* showed earlier recovery in immunity and up-regulation of gene expressions after pH stress [J]. *Fish and Shellfish Immunology*, 2010, 29: 1092 - 1098.
- [31] HART S, WRATHMELL A B, HARRIS A B, et al. Gut immunology in fish: Arevies [J]. *Developmental and Comparative Immunology*, 1988, 12: 453 - 480.
- [32] 黄旭雄,周洪琪. 甲壳动物免疫机能的衡量指标及科学评价 [J]. *海洋科学*, 2007, 31(7): 90 - 96.
- [33] YIN M C. The fish ecology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 43 - 44.
- [34] 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.
- [35] 邱德全,周鲜娇,邱明生. 氨氮胁迫下凡纳滨对虾抗病力和副溶血弧菌噬菌体防病效果研究 [J]. *水生生物学报*, 2008, 32(4): 455 - 461.

## Effect of the breeding density and ammonia-nitrogen on growth and immunity of *Epinephelus coioides* in recirculating system

ZHENG Le-yun<sup>1</sup>, YANG Qiu-hua<sup>1</sup>, HUANG Zhong-chi<sup>1</sup>, WU Jing-ling<sup>1</sup>, CHEN Xin-ming<sup>2</sup>

(1. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361012, Fujian, China; 2. Xiamen Xiaodeng Aquatic Science and Technology Co. Ltd., Xiamen 361104, Fujian, China)

**Abstract:** In this paper, we studied effect of the breeding density and water quality on *Epinephelus coioides* in the growth, feed coefficient and immunity. Total 450 groupers whose average weight was 146.3 g/tail were divided into three experiment densities. The initial densities were 14.6, 21.7 and 29.5 kg/m<sup>3</sup>, respectively. The results showed that, the content of ammonia-nitrogen was influenced significantly ( $P < 0.05$ ) by the stocking density, and the feeding rate of *Epinephelus coioides* showed a significant negative correlation with the ammonia-N maintained time and concentration. Under the same experiment conditions, higher stocking densities have a negative effect on fish growth. The specific growth rate of the three treatments was 1.07, 0.60 and 0.47, respectively. With the augmentation of density, the weight of experiment groups showed a significant difference, in which the weight gain of each treatment was 118.5, 63.3 and 44.1 g, respectively. It was also found that the stocking density had insignificant impact on feed coefficient rate and survival rate. The immunity content of lysozyme (LZM), alkaline phosphatase (AKP) and superoxide dismutase (SOD) decreased with increased density, and showed a trend of increase at first and then decreased with the extension of culture period. The article revealed that one mechanisms of breeding density influenced *Epinephelus coioides* growth, maybe density caused water quality to change, which in turn affects the feeding rate of *Epinephelus coioides*, and resulting in the significant difference in growth performance of different density grouper.

**Key words:** *Epinephelus coioides*; water quality; growth; feeding; immune parameter