

投喂频率对流水养殖鞍带石斑鱼 生长、摄食及免疫酶活力的影响^①

仇登高^{1,2}, 郑乐云^{1,2}, 黄种持^{1,2}, 吴水清^{1,2},
朱志煌^{1,2}, 刘银华^{1,2}, 吴精灵^{1,2}, 邱峰岩³

1. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361013; 2. 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 福建 厦门 361013;
3. 厦门小嶼水产科技有限公司, 福建 厦门 361104

摘要: 在水温(28.59±1.74)℃下, 选用冰鲜杂鱼饲养平均体质量为 858.73 g 的鞍带石斑鱼, 经过 60 d 的生长实验, 研究了不同投喂频率(1 次/d、1 次/2 d、1 次/3 d)对流水养殖鞍带石斑鱼生长、摄食及免疫酶活力的影响。结果表明, 投喂频率对鞍带石斑鱼存活率的影响差异不具有统计学意义($p>0.05$), 实验期间各个实验组存活率在 99.40%~99.80% 之间; 各实验组间的肥满度($CF=2.22\sim2.35$)、体质量变异系数($SV=20.08\sim24.27$)、饲料系数($FCR=2.70\sim3.01$)和日增质量(7.50~12.51 g/d)均无显著影响($p>0.05$), 而投喂频率 1 次/d 组和 1 次/2 d 组的特定生长率(SGR)和相对增质量(RWG)均显著高于 1 次/3 d 组($p<0.05$), 投喂频率 1 次/d 组的日摄食率和 1 次/2 d 组的饲料转化效率均显著高于 1 次/3 d 组($p<0.05$); 在免疫酶活力方面, 投喂频率对鞍带石斑鱼血浆中的碱性磷酸酶(AKP=0.083 5~0.089 金氏单位/mL)、过氧化氢酶(CAT=7.96~8.19 U/mL)及超氧化物歧化酶(SOD=32.40~34.45 U/mL)均无显著影响($p>0.05$), 在本实验条件下, 流水模式养殖鞍带石斑鱼的适宜投喂频率为 1 次/d 或 1 次/2 d。

关键词: 鞍带石斑鱼; 投喂频率; 生长性能; 免疫酶活力; 流水养殖

中图分类号: Q959.483

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)07-0051-07

投喂频率(feeding frequency)是鱼类养殖生产管理中的重要组成环节。投喂频率的高低不仅会引起鱼类存活、生长速度、摄食和饲料转化效率的变化^[1-4], 而且会对鱼类体成分、免疫活性、消化酶活力和病害抵抗力产生影响^[5-7], 进而影响到鱼类的生长性能和生产效益^[8]。适宜的投喂频率可以增加饲料利用率, 促进鱼类快速生长, 提高养殖产量和经济效益^[1, 9]。不合理的投喂频率会导致养殖鱼类生长缓慢、个体规格分化大和较高的死亡率^[10-11]。因此, 开展鱼类投喂频率研究, 对优化饵料投喂日常管理和推动水产养殖产业的生态健康发展具有重要的指导意义。

鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)又称龙胆石斑鱼, 隶属于鲈形目(Perciformes)、鲷科(Serranidae)、石斑鱼属(*Epinephalus*)的暖水性海产经济鱼类。其自然群体主要分布于太平洋、印度洋和澳大利亚的海域, 在中国的海南、台湾和南海诸岛等地区都有分布^[12-13]。鞍带石斑鱼生长快、抗病力强、肉质

① 收稿日期: 2017-08-08

基金项目: 福建省科技厅省属公益类科研院所基本科研专项(2016R1003-8); 福建省海洋高薪产业发展专项[闽海洋高薪(2014)21号]; 2015 福建省海洋与渔业结构调整专项。

作者简介: 仇登高(1982-), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事现代渔业工程与养殖生态学基础研究。

通信作者: 黄种持, 研究员。

鲜美、营养丰富,具有较高的食用和观赏价值^[14],成为消费者和养殖户喜爱的石斑鱼品种.目前,鞍带石斑鱼的国内外研究主要集中于人工育苗技术^[12]、胚胎发育^[14]、形态分析^[15]和分子生物学^[16]等方面,而有关投喂频率对流水养殖模式下鞍带石斑鱼生长、摄食及免疫酶活力的影响研究尚未见报道.鉴于此,本文以鞍带石斑鱼为实验对象,研究了不同投喂频率对流水养殖鞍带石斑鱼生长、摄食及免疫酶活力影响的变化规律,确定最优的日投喂频率,为鞍带石斑鱼在水泥池流水养殖模式下规模化生产和科学饲料投喂管理提供理论参考.

1 材料与方法

1.1 实验材料

鞍带石斑鱼由厦门小嶼水产科技有限公司提供,选择初始体长 (31.19 ± 2.12) cm,全长 (34.89 ± 2.24) cm,体质量 (858.73 ± 191.45) g 的健壮鱼.

实验饵料选用冰鲜沙溜鱼,其粗蛋白超过 59.1%,粗脂肪超过 24.6%,粗灰分低于 2.5%,水分低于 67.3%.

养殖系统:采用 6 个流水模式的水泥养殖池,每个鱼池为八边形切角的砖混结构,尺寸为 5.5 m × 5.5 m,切角 1.0 m × 1.0 m,向心设计 1.5% 坡度,池深 1.35 m,单个鱼池有效养殖面积为 28.25 m².进水通过 45° PVC 弯头形成侧向射流,同时池底中心设置一个圆形集污坑,安装 PVC 排污装置,以便排出鱼池底部中心的残饵、粪便和鱼池表面油膜.

1.2 实验设计与管理

实验为期 60 d,采用单因素实验设计,设置 3 组投喂频率:1 次/d(15:00—16:30,记为 A₁),1 次/2 d(15:00—16:30,记为 A₂),1 次/3 d(15:00—16:30,记为 A₃).每组设 2 个重复,每个重复放养鞍带石斑鱼 250 尾,合计 1 500 尾.实验期间,按照投喂频率设定的时间频率饲喂冰鲜杂鱼,饲喂量以饱食为准.每次饲喂时,观察鞍带石斑鱼摄食不活跃即停止喂食.每次投饲 50 min 后,采用捞网收集残留的饵料鱼,称量未摄食的饵料量,并计算每日实际摄食量.每天观察鞍带石斑鱼的活动状况,记录死鱼数量.实验阶段,水温保持在(25.0~29.4) °C,盐度 27‰~30‰,pH=7.2~7.8,溶解氧为 5.1~6.1 mg/L,亚硝酸盐小于 0.05 mg/L,总氨氮(TAN)<0.20 mg/L.

1.3 样品采集

实验结束时,将鞍带石斑鱼饥饿 24 h,每个重复组中随机取 30 尾实验鱼测量体长、全长和体质量,统计存活量以及饵料鱼饲喂量、残饵量,计算鞍带石斑鱼生长和摄食指标.同时,每个实验组随机取出 3 尾空腹鱼进行尾静脉采集血液,血样先注入置于碎冰中的含肝素钠抗凝的离心管内,然后以 5 000 r/min 离心 10 min,取血浆置于-70 °C 下保存,待测碱性磷酸酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性.

1.4 免疫酶活力测定

待检测的免疫酶包括碱性磷酸酶(AKP)、过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)活性,均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定.

1.5 测定指标计算公式

成活率(survival rate, SR)

$$SR(\%) = 100 \times N_f / N_i$$

特定增长率(specific growth rate, SGR)

$$SGR(\%/d) = 100 \times (\ln BW_2 - \ln BW_1) / (T_2 - T_1)$$

肥满度(condition factor, CF)

$$CF = BW / BL^3$$

相对增质量(relative weight gain, RWG)

$$RWG(\%) = 100 \times BW_2 / BW_1$$

日增质量(daily weight gain, *DWG*)

$$DWG(g/d) = (BW_2 - BW_1)/(T_2 - T_1)$$

体质量变异系数(coefficient of size variation, *SV*)

$$SV = 100 \times SD/X$$

日摄食率(food intake, *FI*)

$$FI(\%/d) = 100 \times F/[0.5 \times (BW_2 + BW_1) \times (T_2 - T_1)]$$

饲料系数(food conversion ratio, *FCR*)

$$FCR = F/(BW_2 - BW_1)$$

饲料转化效率(food conversion efficiency, *FCE*)

$$FCE(\%) = 100 \times (BW_2 - BW_1)/F$$

上述公式中, N_i, N_f 分别为初始鱼尾数和最终鱼尾数; BW_1, BW_2 分别为每尾鱼实验初始体质量和最终体质量(g); T_1, T_2 分别为 BW_1, BW_2 时所对应时间; BW 为每尾鱼的体质量(g); BL 为每尾鱼体长(cm); SD 为标准差; F 为总摄食量(g); X 为处理组鱼的平均体质量(g).

1.6 数据处理

实验数据采用 SPSS 18.0 统计软件进行单因素方差(One-way ANOVA)分析, 若组间差异具有统计学意义, 再用 LSD 法进行多重比较, 差异性水平为 $p < 0.05$. 实验数值采用平均值±标准差(Mean±SD)表示.

2 结果分析

2.1 不同投喂频率对鞍带石斑鱼生长的影响

在不同投喂频率下, 经过 60 d 的流水养殖, 鞍带石斑鱼成活率、特定生长率、相对增质量、日增质量、肥满度和体质量变异系数分析结果见表 1. 从表 1 可以看出, 各个实验组存活率在 99.40%~99.80% 之间. 投喂频率对流水养殖鞍带石斑鱼成活率、日增质量、肥满度和体质量变异系数的影响差异均不具有统计学意义($p > 0.05$), 而 A_1 组、 A_2 组的特定生长率和相对增质量均显著高于 A_3 组($p < 0.05$), 平均特定生长率和相对增质量由高至低依次均为 $A_1 > A_2 > A_3$.

表 1 投喂频率对鞍带石斑鱼生长性能的影响

指 标	投 喂 频 率		
	A_1	A_2	A_3
成活率/%	99.80±0.28a	99.40±0.85a	99.80±0.28a
特定生长率/(%·d ⁻¹)	1.08±0.01a	0.97±0.10a	0.69±0.01b
相对增质量/%	190.92±0.92a	179.61±11.06a	151.40±0.99b
日增质量/(g·d ⁻¹)	12.51±0.20a	11.71±2.90a	7.50±0.86a
肥满度	2.35±0.05a	2.33±0.10a	2.22±0.01a
体质量变异系数	20.08±0.53a	24.27±4.16a	24.01±0.08a

注: A_1, A_2, A_3 分别表示 1 次/d、1 次/2 d、1 次/3 d 这 3 个不同投喂频率梯度; 表 1 中数据以平均值±标准差表示; 同一行数据上标字母相同者表示差异不具有统计学意义($p > 0.05$), 不相同者表示差异具有统计学意义($p < 0.05$).

2.2 不同投喂频率对鞍带石斑鱼摄食的影响

A_1 组日摄食率最高, 与 A_3 组差异具有统计学意义($p < 0.05$), 与 A_2 组差异不具有统计学意义($p > 0.05$), A_2 组、 A_3 组间差异不具有统计学意义($p > 0.05$), 平均日摄食率由高至低依次为 A_1, A_2, A_3 ; A_2 组饵料转化效率最高, 与 A_3 组差异具有统计学意义($p < 0.05$), 与 A_1 组差异不具有统计学意义($p > 0.05$), A_1 组、 A_3 组间差异不具有统计学意义($p > 0.05$), 平均饵料转化效率由高至低依次为 A_2, A_1, A_3 ; A_1 组、 A_2 组和 A_3 组之间的饵料系数差异不具有统计学意义($p > 0.05$)(表 2).

表 2 投喂频率对鞍带石斑鱼摄食指标的影响

指 标	投 喂 频 率		
	A ₁	A ₂	A ₃
日摄食率/(%·d ⁻¹)	2.87±0.05b	2.57±0.05ab	1.64±0.62a
饵料转化效率/%	35.20±0.16ab	36.99±0.62a	33.26±1.85b
饵料系数	2.84±0.01a	2.70±0.05a	3.01±0.17a

注：A₁, A₂, A₃ 分别表示 1 次/d、1 次/2 d、1 次/3 d 这 3 个不同投喂频率梯度；表 2 中数据以平均值±标准差表示；同一行数据上标字母相同者表示差异不具有统计学意义($p>0.05$)，不相同者表示差异具有统计学意义($p<0.05$)。

2.3 不同投喂频率对鞍带石斑鱼免疫酶活力的影响

实验结束时，在流水养殖模式下，不同投喂频率对鞍带石斑鱼的碱性磷酸酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活力影响的动态变化见表 3。数据分析结果表明，各处理组鞍带石斑鱼的平均碱性磷酸酶活力为 0.083 5~0.089 4 金氏单位/mL，过氧化氢酶活力为 7.96~8.19 U/mL，超氧化物歧化酶活力为 32.40~34.45 U/mL，各处理组之间上述免疫酶活力指标的差异不具有统计学意义($p>0.05$)。

表 3 投喂频率对鞍带石斑鱼血浆中免疫酶活力的影响

指 标	投 喂 频 率		
	A ₁	A ₂	A ₃
碱性磷酸酶(金氏单位/mL)	0.083 5±0.000 2a	0.089 4±0.007 9a	0.088 1±0.005 7a
过氧化氢酶/(U·mL ⁻¹)	7.96±2.94a	8.19±2.78a	8.19±0.83a
超氧化物歧化酶/(U·mL ⁻¹)	32.40±2.77a	34.45±1.65a	33.10±2.23a

注：A₁, A₂, A₃ 分别表示 1 次/d、1 次/2 d、1 次/3 d 这 3 个不同投喂频率梯度；表 3 中数据以平均值±标准差表示；同一行数据上标字母相同者表示差异不具有统计学意义($p>0.05$)，不相同者表示差异具有统计学意义($p<0.05$)。

3 讨 论

3.1 不同投喂频率对鞍带石斑鱼生长的影响

不同投喂频率梯度对鱼类生长性能有着不同程度的影响。Marimuthu 等^[17]对非洲鲶鱼(*Clarias gariepinus*)幼鱼的投喂频率实验结果表明：1 次/d、2 次/d 的成活率较高，分别达到(96.67%±5.77%)，(86.67%±5.77%)，但是各实验组成活率的差异性不具有统计学意义。在本实验条件下，各投喂频率组鞍带石斑鱼成活率均在 99.0%以上，各投喂频率组对鞍带石斑鱼成活率的影响不具有统计学意义($p>0.05$)。这与对非洲鲶鱼^[17]、神仙鱼^[18]的研究结论比较接近，说明投喂频率不影响鞍带石斑鱼的成活率。Kasiri 等^[18]研究表明，投喂频率对神仙鱼(*Pterophyllum scalare*)肥满度的影响不具有统计学意义，而 4 次/d、2 次/d 的体质量和特定生长率显著高于 1 次/d 和 1 次/2 d。纪文秀等^[19]发现，按 1 次/4 d 的频率投喂冰鲜杂鱼上升至 1 次/d 时，投喂频率对点带石斑鱼特定生长率和增质量的影响差异具有统计学意义，而饲喂频率从 1 次/d 提高至 4 次/d 时，对特定生长率和增质量影响不明显。董桂芳等^[20]投喂频率研究显示，斑点叉尾鲷分别投喂 2 次/d 组、3 次/d 组、4 次/d 组和 5 次/d 频率的体质量变异系数均显著小于 1 次/d 组。在本研究中，不同投喂频率下，鞍带石斑鱼日增质量、肥满度和体质量变异系数的差异不具有统计学意义($p>0.05$)，而 1 次/d 组、1 次/2 d 组的相对增质量和特定生长率均显著高于 1 次/3 d 组($p<0.05$)，相对增质量和特定生长率平均值由高至低顺序均为 1 次/1 d 组、1 次/2 d 组、1 次/3 d 组。本实验结论与上述的研究结果不一致，这可能是实验对象规格、养殖模式等因素所导致的。但与对点带石斑鱼^[19]、巨石斑鱼(*Epinephelus tauvina*)^[21]生长率的研究结果比较接近，表明较低的投喂频率不利于鞍带石斑鱼的生长，建议流水养殖模式下鞍带石斑鱼的适宜投喂频率为 1 次/d 或 1 次/2 d。

3.2 不同投喂频率对鞍带石斑鱼摄食的影响

纪文秀等^[19]在网箱养殖模式下研究了投喂频率对点带石斑鱼食物利用的影响，认为投喂频率从 4 d

饲喂1次上升到1 d饲喂1次时饲料系数和日摄食率显著增加,当从1 d投喂1次增加到1 d投喂4次时饲料系数和日摄食率差异不具有统计学意义.宋国等^[22]对条石鲷投喂频率的研究表明,1次/2 d、1次/d、2次/d、3次/d和4次/d投喂频率对条石鲷幼鱼饲料转化率的影响差异不具有统计学意义.Wu等^[23]对初始体质量为 (0.064 ± 0.004) g稀有鮑鲫投喂频率的研究结果表明,在适宜的水温条件下,2次/d投喂频率可以最大程度地提高饲料转化效率.骆季安等^[24]研究表明,日本黄姑鱼不同饲喂频率处理组的摄食率、食物转化率差异具有统计学意义,且多次饲喂的日本黄姑鱼摄食率和食物转化率显著高于单次饲喂.在本研究中,1次/d组的日平均摄食率 $(2.87\%/d)$ 最高,与1次/3 d组差异具有统计学意义 $(p < 0.05)$,与1次/2 d组差异不具有统计学意义 $(p > 0.05)$,1次/2 d组、1次/3 d组间差异不具有统计学意义 $(p > 0.05)$;1次/2 d组平均饵料转化效率 (36.99%) 最高,与1次/3 d组差异具有统计学意义 $(p < 0.05)$,与1次/d组差异不具有统计学意义 $(p > 0.05)$,1次/d组、1次/3 d组间差异不具有统计学意义 $(p > 0.05)$;1次/d组、1次/2 d组和1次/3 d组之间的饵料系数差异不具有统计学意义 $(p > 0.05)$.此结论与前人的研究结果不一致^[17, 19, 22-24],这可能与实验对象种类、规格大小、栖息环境和投喂饵料等方面存在差异有关.

3.3 不同投喂频率对鞍带石斑鱼免疫酶活力的影响

碱性磷酸酶(AKP)存在动物体内,直接催化水解磷酸单酯,转移磷酸基团,能在动物免疫反应中起着作用,为动物非特异性免疫重要指标^[25-26].超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)作为水产动物的抗氧化主要因子,超氧化物歧化酶能将损伤机体的超氧阴离子 (O_2^-) 自由基歧化为过氧化氢 (H_2O_2) ,接着储存在水产动物体内的过氧化物酶体中的过氧化氢酶(CAT)可催化过氧化氢生成氧气和水,可以说超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活力动态变化能反映水产机体在环境胁迫下的免疫力^[27-29].窦艳君等^[30]对点带石斑鱼投喂频率的研究指出,第28 d时投喂频率对点带石斑鱼过氧化氢酶(CAT)和总超氧化物歧化酶(T-SOD)影响差异均不具有统计学意义;第56 d时,不同投喂频率对过氧化氢酶(CAT)影响差异不具有统计学意义,1次/d组总超氧化物歧化酶活性显著大于3次/d组;第84 d时,2次/d组的血浆CAT、T-SOD显著大于其他各处理组.陈文霞等^[31]研究了投喂频率对凡纳滨对虾免疫酶活力的影响,认为投喂频率2次/d组、3次/d组、4次/d组与5次/d组、6次/d组间超氧化物歧化酶(SOD)和碱性磷酸酶(AKP)活力差异具有统计学意义.本研究结果显示,在流水养殖模式下,实验结束时各实验组鞍带石斑鱼的平均碱性磷酸酶浓度为 $0.0835 \sim 0.0894$ 金氏单位/mL,超氧化物歧化酶含量为 $32.40 \sim 34.45$ U/mL,过氧化氢酶含量为 $7.96 \sim 8.19$ U/mL,各实验组间上述免疫酶活力指标的差异不具有统计学意义 $(p > 0.05)$.此结果与上述研究报道既有相似之处,又有一些不同,说明在流水养殖鞍带石斑鱼过程中,要根据鞍带石斑鱼摄食活跃状况来调整日投喂频率.

参考文献:

- [1] GÜROY D, DEVECILER E, KUTGÜROY B, et al. Influence of Feeding Fre-Quency on Feed Intake, Growth Performance and Nutrient Utilization in Europeansea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Fed Pelleted or Extruded Diets [J]. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 2006, 30: 171-177.
- [2] WANG Y, KONG L Y, LI K, et al. Effects of Feeding Frequency and Ratio Level on Growth, Feed Utilization and Nitrogen Waste Output of Cuneate Drum (*Nibea miichthioides*) Reared in Net Pens [J]. Aquaculture, 2007, 271(1/4): 350-356.
- [3] ADEROLU A Z, SERIKI B M, APATIRA A L, et al. Effects of Feeding Frequency on Growth, Feed Efficiency and Economic Viability of Rearing African Catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) Fingerlings and Juveniles [J]. African Journal of Food Science, 2010, 4(5): 286-290.
- [4] VILLARROEL M, ALAVRI ÑO J M R, LÓPEZ-LUNA J. Effect of Feeding Frequency and One Day Fasting on Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Water Quality [J]. Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 2011, 63: 609-614.
- [5] LEE S M, HWANG U G, CHO S H. Effects of Feeding Frequency and Dietary Moisture Content on Growth, Body

- Composition and Gastric Evacuation of Juvenile Korean Rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Aquaculture, 2000, 187(3/4): 399–409.
- [6] 冒树泉, 邹明好, 王春生, 等. 许氏平鲉幼鱼适宜投喂频率的研究 [J]. 动物营养学报, 2014, 26(8): 2379–2385.
- [7] LI X F, TIAN H Y, ZHANG D D, et al. Feeding Frequency Affects Stress, Innate Immunity and Disease Resistance of Juvenile Blunt Snout Bream *Megalobrama amblycephala* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2014, 38(1): 80–87.
- [8] BISWAS G, JENA J K, SINGH S K, et al. Effect of Feeding Frequency on Growth, Survival and Feed Utilization in Mrigal, *Cirrhinus mrigala*, and Rohu, *Labeo rohita*, During Nursery Rearing [J]. Aquaculture, 2006, 254(1/4): 211–218.
- [9] 孙丽慧, 王际英, 丁立云, 等. 投喂频率对星斑川鲈幼鱼生长和体组成影响的初步研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(2): 190–195.
- [10] WANG N, HAYWARD R S, NOLTIE D B. Effect of Feeding Frequency on Food Consumption, Growth, Size Variation, and Feeding Pattern of Age-0 Hybrid Sunfish [J]. Aquaculture, 1998, 165(3/4): 261–267.
- [11] XIE F, AI Q, MAI K, et al. The Optimal Feeding Frequency of Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena crocea*, Richardson) Larvae [J]. Aquaculture, 2011, 311(1): 162–167.
- [12] 黎祖福, 陈省平, 庄余谋, 等. 鞍带石斑鱼人工繁育与鱼苗培育技术研究 [J]. 海洋水产研究, 2006, 27(3): 78–85.
- [13] 黄宗文, 骆 剑, 林彬, 等. 鞍带石斑鱼工厂化育苗研究 [J]. 海洋科学, 2010, 34(9): 23–29.
- [14] 张海发, 王云新, 刘付永忠, 等. 鞍带石斑鱼人工繁殖及胚胎发育研究 [J]. 广东海洋大学学报(自然科学), 2008, 28(4): 36–40.
- [15] HSEU J R, HWANG P P, TING Y Y. Morphometric Model and Laboratory Analysis of Intracohort Cannibalism in Giant Grouper *Epinephelus lanceolatus* Fry [J]. Fisheries Science, 2004, 70(3): 482–486.
- [16] ZENG H S, DING S X, WANG J, et al. Characterization of Eight Polymorphic Microsatellite Loci for the Giant Grouper (*Epinephelus lanceolatus* Bloch) [J]. Molecular Ecology Resources, 2008, 8(4): 805–807.
- [17] MARIMUTHU K, CHEEN A C, MURALIKRISHNAN S, et al. Effect of Different Feeding Frequency on the Growth and Survival of African Catfish (*Clarias gariepinus*) Fingerlings [J]. Advances in Environmental Biology, 2010, 4(2): 187–193.
- [18] KASIRI M, FARAH A, SUDAGAR M. Effects of Feeding Frequency on Growth Performance and Survival Rate of Angel Fish *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Cichlidae) [J]. Veterinary Research Forum, 2011, 2(2): 97–102.
- [19] 纪文秀, 王 岩, 厉珀余. 不同投喂频率对网箱养殖点带石斑鱼生长、食物利用及氮磷排放的影响 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(4): 432–438.
- [20] 董桂芳, 胡振雄, 黄 蜂, 等. 投喂频率对斑点叉尾鲷生长、饲料利用和鱼体组成的影响 [J]. 渔业现代化, 2012, 39(2): 48–53.
- [21] CHUA T E, TENG S K. Effects of Feeding Frequency on Growth of Young Estuary Grouper *Epinephelus tauvina* (Forsskal), Cultured in floating Net Cages [J]. Aquaculture, 1978, 14(1): 31–47.
- [22] 宋 国, 彭士明, 孙 鹏, 等. 饥饿与再投喂及投喂频率对条石鲷幼鱼生长和消化酶活力的影响 [J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1269–1277.
- [23] WU B L, LUO S, WANG J W, et al. Effects of Temperature and Feeding Frequency on Ingestion and Growth for Rare Minnow [J]. Physiology & Behavior, 2015, 140: 197–202.
- [24] 骆季安, 楼 宝, 史会来, 等. 饲喂频率对日本黄姑鱼生长及鱼体生化成分的影响 [J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2007, 26(1): 37–40.
- [25] 孙静秋, 许 燕, 张慧绮. 凡纳滨对虾体内 ACP、AKP 酶的细胞化学定位 [J]. 复旦学报(自然科学版), 2007, 46(6): 947–951.
- [26] 刘翠玲. 饲料中添加微生态制剂、抗菌肽及其复合制剂对鲤鱼生长、消化和非特异性免疫相关酶活性的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- [27] WINSTON G W. Oxidants and Antioxidants in Aquatic Animals [J]. Comparative Biochemistry Physiology Part C, 1991, 100(1/2): 173–176.

[28] DIGUISEPPI J, FRIDOVICH I, MCCORD J M. The Toxicology of Molecular Oxygen [J]. Critical Reviews in Toxicology, 1984, 12(4): 315—342.

[29] 饶玉才, 胡宝庆, 文春根. 嗜水气单胞菌感染对背角无齿蚌 5 种免疫相关酶活力的影响 [J]. 水生生物学报, 2009, 33(3): 406—412.

[30] 窦艳君, 邢克智, 王庆奎, 等. 投喂频率对点带石斑鱼生长和血浆抗氧化指标的影响 [J]. 渔业现代化, 2016, 43(2): 1—6.

[31] 陈文霞, 申玉春, 李再亮, 等. 投喂频率对凡纳滨对虾生长、消化酶和免疫酶活力以及氮收支的影响 [J]. 海洋科学, 2013, 37(7): 49—53.

The Effect of Feeding Frequency on Growth Performance,
Food Intake and Immune Enzyme Activities of
Epinephelus lanceolatus in Flowing Water Cultivation

QIU Deng-gao^{1,2}, ZHENG Le-yun^{1,2}, HUANG Zhong-chi^{1,2},
WU Shui-qing^{1,2}, ZHU Zhi-huang^{1,2}, LIU Yin-hua^{1,2},
WU Jing-ling^{1,2}, QIU Feng-yan³

1. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen Fujian 361013, China;
2. Key Laboratory of Cultivation and High-Value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Xiamen Fujian 361013, China;
3. Xiamen Xiaodeng Aquatic Science and Technology Co. Ltd., Xiamen Fujian 361104, China

Abstract: A 60-day experiment was conducted to determine the effects of different feeding frequencies (once per day, once every 2 days and once every 3 days) on the growth performance and immune enzyme activities of *Epinephelus lanceolatus* with an average weight of 858.73 g at water temperature (28.59 ± 1.74 °C), reared with raw fish feed in a flowing water system. The results showed that the survival rate of the fish was not significantly different among the three groups ($p > 0.05$), and the survival rate in all treatments was between 99.40% and 99.80% during the experiment. There were no significant effects on the condition factor (CF=2.22—2.35), coefficient of size variation (SV=20.08—24.27), food conversion ratio (FCR=2.70—3.01) and daily weight gain (7.50—12.51g/d) in all groups ($p > 0.05$). The specific growth rate (SGR) and relative weight gain (RWG) in the fish fed once per day and once every 2 days were both significantly higher than those of the fish fed once every 3 days ($p < 0.05$). Moreover, the food intake (FI) of the fish fed once per day was significant higher than that of once every 3 days ($p < 0.05$) and food conversion efficiency (FCE) in the fish fed once every 2 days was significantly higher than that of the fish fed once every 3 days ($p < 0.05$). The immune enzyme activity (i. e. AKP=8.083 5—0.089 4 King/mL, CAT=7.96—8.19 U/mL and SOD=32.40—34.45 U/mL) of the fish was also not significant different in the three treatments ($p > 0.05$). Under the conditions of this experiment, the optimal feeding frequency was found at feeding frequency of once per day or once every two days in flowing water cultivation.

Key words: *Epinephelus lanceolatus*; feeding frequency; growth performance; immune enzyme activity; flowing water cultivation

