

仇登高,温 凭,林 琪,等.投喂频率对工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼生长和血浆抗应激酶活力的影响[J].渔业研究,2018,40(6):441-448.

投喂频率对工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼生长和血浆抗应激酶活力的影响

仇登高^{1,2}, 温 凭^{1,2}, 林 琪^{1,2}, 朱志煌^{1,2}, 吴水清^{1,2},
刘银华³, 陈新明⁴, 邱峰岩⁴

(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. 福建省淡水水产研究所, 福建 福州 350002;

4. 厦门小嶝水产科技有限公司, 福建 厦门 361104)

摘要: 在水温 (29.96 ± 0.40) $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 选用人工配合饲料饲养初始体质量为 (297.79 ± 59.94) g 的珍珠龙胆石斑鱼, 经过 60 d 的养殖试验, 研究了不同投喂频率 1 次/d、2 次/d、1 次/2d 对工厂化循环水养殖系统中珍珠龙胆石斑鱼生长和血浆抗应激酶活力的影响。结果表明: 投喂频率为 1 次/2d 的成活率 (99.39 ± 0.01)%, 均显著高于投喂频率为 1 次/d 的 (96.75 ± 0.66)% 和 2 次/d 的 (97.08 ± 0.66)% ($P < 0.05$); 各试验组间的特定生长率 ($\text{SGR} = 1.05 \sim 1.19\%$ /d)、肥满度 ($\text{CF} = 1.63 \sim 1.77$)、相对增质量 ($\text{RWG} = 187.65\% \sim 205.04\%$)、日增质量 ($\text{DWG} = 4.33 \sim 5.00$ g/d)、体质量变异系数 ($\text{SV} = 14.50 \sim 18.30$)、日摄食率 ($\text{FI} = 1.07 \sim 1.24\%$ /d)、饲料转化效率 ($\text{FCE} = 81.77\% \sim 87.38\%$) 及饲料系数 ($\text{FCR} = 1.15 \sim 1.25$) 均无显著影响 ($P > 0.05$); 在血浆抗应激酶活力方面, 投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼血浆中的碱性磷酸酶 ($\text{AKP} = 8.07 \sim 8.26$ 金氏单位/100 mL)、过氧化氢酶 ($\text{CAT} = 1.92 \sim 2.52$ U/mL) 及超氧化物歧化酶 ($\text{SOD} = 23.39 \sim 24.34$ U/mL) 也均无显著影响 ($P > 0.05$)。在本试验条件下, 可以采用 1 次/2d 的投喂频率来提高工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼的成活率。

关键词: 珍珠龙胆石斑鱼; 投喂频率; 生长; 血浆抗应激酶活力; 工厂化循环水养殖

中图分类号: S967 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-5601(2018)06-0441-08

珍珠龙胆石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂), 又称珍珠斑、龙虎斑, 是将 雄性鞍带石斑鱼精子与雌性棕点石斑鱼卵子人工授精而培育得到的杂交新品种石斑鱼^[1-3]。珍珠

收稿日期: 2018-09-27

基金项目: 福建省省属公益类科研院所基本科研专项 (2016R1003-8, 2016R1003-13, 2017R1003-2); 福建省海洋与渔业结构调整专项 (珍珠龙胆石斑鱼高效循环水养殖技术优化与应用); 福建省海洋高新产业发展专项 [闽海洋高新 (2014) 21 号]; 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室开放课题基金 (2016fjseq05); 厦门南方海洋研究中心项目 (14GZP75NF39)。

作者简介: 仇登高 (1982-), 男, 湖南汨罗人, 助理研究员, 博士, 主要从事现代渔业工程装备与养殖生态学基础研究及产业推广服务工作. E-mail: qdg0112@163.com

通讯作者: 林 琪 (1970-), 男, 研究员, 博士研究方向: 海洋生物养殖与育种研究. E-mail: xmqlin@sina.com

龙胆石斑鱼的肉质细腻、味道鲜美、胶原蛋白含量丰富，加之其抗逆性较强和生长速度快等优势，深受广大消费者和养殖户的青睐，是一种值得推广养殖的石斑鱼品种^[4]。近年来，工厂化循环水养殖作为现代渔业的一种新型养殖模式，因其具有环境友好、资源节约、设施设备先进和产品质量可追溯等特点，被公认为是现代海水养殖产业的重要发展方向^[5]。福建、广东、海南、山东、天津等沿海地区采取循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼，从中获得的经济、社会和生态效益均十分显著。

随着珍珠龙胆石斑鱼循环水养殖产业的快速推进，对饲料的科学性投喂水平也日益提高，笔者在生产中发现，投喂频次过多或过少，不仅会导致珍珠龙胆石斑规格大小参差不齐，还会影响生物滤池的处理效率，进而影响养殖产量。因此，开展循环水养殖系统下不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼生长及抗应激酶活力的研究十分必要。目前，国内外关于鱼类投喂频率方面的研究已有一些报道，如纪文秀等^[6]研究了投喂频率对网箱养殖点带石斑鱼（*E. malabaricus*）生长、食物利用及饲料氮、磷排放的影响；王成桂等^[7]比较了不同投喂频率对龙虎斑（*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. fuscoguttatus* ♀）幼鱼生长和饵料利用的影响；García - Mesa 等^[8]分析了不同投喂频率对大西洋白姑鱼（*Argyrosomus regius*）生产性能和生理指标影响的变化规律；Tian 等^[9]探讨了团头鲂（*Megalobrama amblycephala*）幼鱼的最佳投喂频率。然而，有关循环水养殖模式下投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼生长和血浆抗应激酶活力影响的研究未见报道。鉴于此，本文以

珍珠龙胆石斑鱼为研究对象，探讨了不同投喂频率对工厂化循环水系统中珍珠龙胆石斑鱼生长和血浆抗应激酶活力的影响，筛选出工厂化循环水系统养殖珍珠龙胆石斑鱼的最佳投喂频率，为工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼的饲料投喂管理提供理论依据和生产指导。

1 材料和方法

1.1 试验材料

珍珠龙胆石斑鱼由福建省水产研究所小嶝岛实验基地提供，选择初始体质量（ 297.79 ± 59.94 ）g、全长（ 25.36 ± 1.82 ）cm、体长（ 22.45 ± 1.78 ）cm 的珍珠龙胆石斑鱼作为实验鱼。

试验选择健马牌石斑鱼颗粒饲料，质量指标：灰分 $\leq 16.0\%$ ，水分 $\leq 12.0\%$ ，粗蛋白质 $\geq 48.0\%$ ，赖氨酸 $\geq 2.1\%$ ，脂肪 $\geq 7.0\%$ ，纤维 $\leq 6.0\%$ 。

养殖系统：采用 1 套工厂化循环水养殖生产系统，系统由 17 个养殖池、固液分离装置、物理过滤池、蛋白质分离器、生物滤池、紫外线消毒装置等单元组成（图 1）。试验选用 17 个池中的 6 个池，每个池为八边形切角的砖混结构，尺寸为 5 500 mm × 5 500 mm，切角 1 000 mm × 1 000 mm，坡度为 1.5%，池高 1 350 mm，有效水深为 1 200 mm，单个养殖池面积为 28.25 m²。每个鱼池有效养殖水体为 33.9 m³，进水通过 2 根直径 75 mm 的带孔 PVC 管道沿鱼池壁侧向射流，同时池底中心设置一个飞碟状的污物捕获器、鱼池外安装一个漩涡分离器，形成固液分离装置，以便排出汇集在养殖池中心处的残饵和粪便。

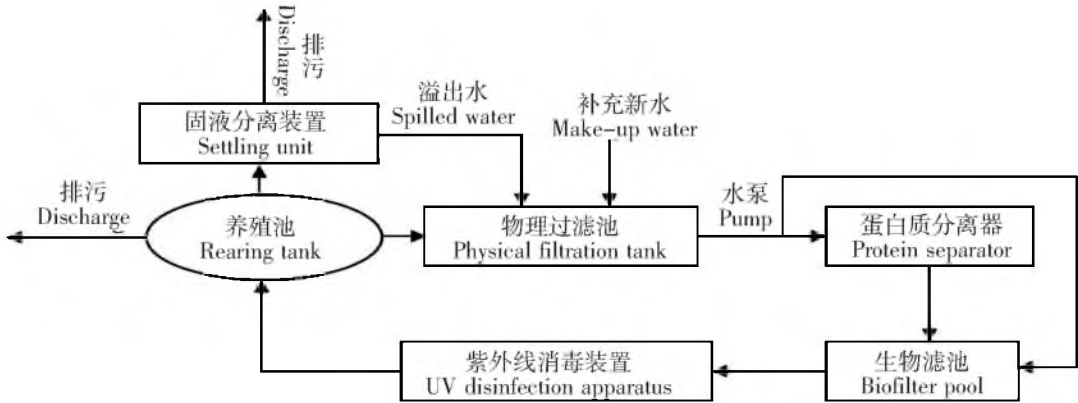


图 1 珍珠龙胆石斑鱼工厂化循环水养殖系统流程示意图

Fig.1 The flowing chart of pilot industrial recirculating aquaculture systems (RAS) for the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E.lanceolatus* ♂)

1.2 试验设计与管理

试验为期60 d,采用单因素试验设计,设置3个投喂频率梯度:1次/2d (07:30-09:00,记为 A_1),1次/d (07:30-09:00,记为 A_2),2次/d (07:30-09:00和15:30-17:00,记为 A_3),每个梯度设置2个重复,每个重复处理各放养珍珠龙胆石斑鱼988尾,合计5928尾。试验期间,根据试验设计设定的投喂时间投喂颗粒饲料,投饲量以珍珠龙胆石斑鱼吃食不活跃时即可停止投喂饲料。每次饲喂时,采用较慢的投喂速度,以确保饲料不会掉在鱼池底部,结束后称量未摄食的饲料量,并计算每日实际摄食量。每日巡查珍珠龙胆石斑鱼的活动情况,记录死鱼数量。试验期间,溶解氧5.4~6.5 mg/L,水温29.4~31.2℃,盐度27~32,pH 7.4~8.0,总氨氮(TAN) < 0.49 mg/L,亚硝态氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$) < 0.16 mg/L。

1.3 样品采集

试验结束时,实验鱼饥饿36 h,每个重复处理组随机取30尾测量鱼体质量、全长和体长,统计实验鱼存活数量以及摄食量,计算各试验组生长和摄食指标。同时,每个处理组随机取3尾空腹鱼进行尾椎静脉抽取血液,血液样品先分别注入置于碎冰中的含肝素钠抗凝的5 mL离心管内,接着以6 000 rpm离心10 min,然后取血浆放置于-70℃下保存,待测过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)和碱性磷酸酶(AKP)活力。

1.4 血浆抗应激酶活力的测定

血浆抗应激酶包括过氧化氢酶、超氧化物歧化酶和碱性磷酸酶活性,均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。

1.5 测定指标计算公式

成活率(Survival rate, SR): $SR(\%) = 100 \times N_f / N_i$

肥满度(Condition factor, CF): $CF = BW / BL^3$

日增质量(Daily weight gain, DWG): $DWG(\text{g/d}) = (BW_2 - BW_1) / (T_2 - T_1)$

相对增质量(Relative weight gain, RWG): $RWG(\%) = 100 \times BW_2 / BW_1$

体质量变异系数(Coefficient of size varia-

tion, SV): $SV = 100 \times SD / X$

特定生长率(Specific growth rate, SGR): $SGR(\%/d) = 100 \times (\ln BW_2 - \ln BW_1) / (T_2 - T_1)$

日摄食率(Food intake, FI): $FI(\%/d) = 100 \times F / [0.5 \times (BW_2 + BW_1) \times (T_2 - T_1)]$

饲料转化效率(Food conversion efficiency, FCE): $FCE(\%) = 100 \times (BW_2 - BW_1) / F$

饲料系数(Food conversion ratio, FCR): $FCR = F / (BW_2 - BW_1)$

式中, N_i 、 N_f 分别为初始鱼尾数和最终鱼尾数; BW 为每尾鱼的体质量(g); BL 为每尾鱼体长(cm); BW_1 、 BW_2 分别为试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; SD 为标准差; X 为处理组鱼的平均体质量(g); F 为总摄食量(g)。

1.6 数据处理

试验数据采用EXCEL 2010进行常规数值计算后,使用SPSS 18.0统计软件进行单因素方差(One-way ANOVA)分析,组间差异采用LSD法进行多重比较。试验数值以平均值±标准差(Mean ± SD)表示,显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果分析

2.1 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼成活率的影响

由表1可知,在本试验设置的投喂频率下珍珠龙胆石斑鱼的成活率均在96%以上, A_1 组(1次/2d)显著高于 A_2 组(1次/d)和 A_3 组(2次/d)($P < 0.05$), A_2 组、 A_3 组间差异不显著($P > 0.05$),平均成活率由高至低顺序为 A_1 (1次/2d) > A_3 (2次/d) > A_2 (1次/d)。

2.2 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼生长的影响

在不同投喂频率梯度下,试验结束时工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼生长性能的统计分析结果见表1。在循环水养殖模式下,平均特定生长率、相对增质量、日增质量和肥满度由高至低的顺序均为 A_3 (2次/d) > A_2 (1次/d) > A_1 (1次/2d),平均体质量变异系数由低至高依次为 A_1 (1次/2d)、 A_2 (1次/d)、 A_3 (2次/d)。然而,试验设定的投喂频率 A_1 组(1次/2d)、

A₂组（1 次/d）、A₃组（2 次/d）对珍珠龙胆石斑鱼特定生长率、相对增质量、日增质量、肥满度和体质量变异系数的影响均无显著性差异（ $P>0.05$ ）。

表 1 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼生长的影响
Tab. 1 Effects of different feeding frequency on the growth of *Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂

指标 Indicator	投喂频率 Feeding frequency		
	A ₁	A ₂	A ₃
成活率/% SR	99.39 ± 0.01 ^a	96.75 ± 0.66 ^b	97.08 ± 0.66 ^b
特定生长率/(%/d) SGR	1.05 ± 0.16 ^a	1.07 ± 0.03 ^a	1.19 ± 0.23 ^a
相对增质量/% RWG	187.65 ± 18.02 ^a	189.52 ± 3.22 ^a	205.04 ± 27.84 ^a
日增质量/(g/d) DWG	4.33 ± 0.22 ^a	4.42 ± 0.62 ^a	5.00 ± 0.03 ^a
肥满度 CF	1.63 ± 0.04 ^a	1.70 ± 0.01 ^a	1.77 ± 0.13 ^a
体质量变异系数 SV	14.50 ± 1.55 ^a	17.45 ± 0.79 ^a	18.30 ± 7.45 ^a

注:A₁、A₂、A₃分别表示 1 次/2d、1 次/d、2 次/d 三个不同投喂频率梯度;表中数据以平均值 ± 标准差表示;同一行数据上标字母相同者表示差异不显著($P>0.05$),不相同者表示差异显著($P<0.05$)。下表同此。

Notes: A₁, A₂, A₃ was once every two days, one time per day, and two times per day of three varied feeding frequency gradients, respectively. The datas in the table were presented as means ± standard deviation. Values with the same superscripts in the same line indicated insignificant difference ($P>0.05$), values with different superscripts indicated significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.3 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼摄食的影响

试验结束时,珍珠龙胆石斑鱼摄食指标的计算结果如表 2 所示,从表 2 可以看出,平均日摄食率、饲料转化效率由高至低依次为 A₃ 组

(2 次/d)、A₁ (1 次/2d)、A₂ (1 次/d), 平均饲料系数由小至大顺序为 A₁ (1 次/2d) = A₃ 组 (2 次/d) < A₂ (1 次/d), 但是投喂频率对循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼日摄食率、饲料转化效率和饲料系数均没有显著性影响 ($P>0.05$)。

表 2 投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼摄食指标的影响
Tab. 2 Effects of feeding frequency on the feeding indicator of *Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂

指标 Indicator	投喂频率 Feeding frequency		
	A ₁	A ₂	A ₃
日摄食率/% FI	1.11 ± 0.16 ^a	1.07 ± 0.07 ^a	1.24 ± 0.09 ^a
饲料转化效率/% FCE	86.96 ± 5.59 ^a	81.77 ± 16.16 ^a	87.38 ± 3.85 ^a
饲料系数 FCR	1.15 ± 0.07 ^a	1.25 ± 0.25 ^a	1.15 ± 0.05 ^a

2.4 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼血浆抗应激酶活力的影响

经过 60 d 的生长试验,不同投喂频率下循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼的碱性磷酸酶、过氧化

氢酶和超氧化物歧化酶活力变化见表 3。不同投喂频率试验组间的珍珠龙胆石斑鱼碱性磷酸酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活力均无显著性差异 ($P>0.05$)。

表 3 投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼血浆中抗应激酶活力的影响
Tab. 3 Effects of feeding frequency on the plasma anti – stress enzymes activities of
Eplnephelus fuscoguttatus ♀ × *E. lanceolatus* ♂

指标 Indicator	投喂频率 Feeding frequency		
	A ₁	A ₂	A ₃
碱性磷酸酶/(金氏单位/100mL) AKP	8. 19 ± 0. 45 ^a	8. 07 ± 1. 47 ^a	8. 26 ± 0. 09 ^a
过氧化氢酶/(U/mL) CAT	2. 52 ± 0. 61 ^a	1. 99 ± 0. 74 ^a	1. 92 ± 0. 18 ^a
超氧化物歧化酶/(U/mL) SOD	23. 76 ± 0. 43 ^a	23. 39 ± 2. 08 ^a	24. 34 ± 2. 40 ^a

3 讨论

3.1 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼生长性能的影响

纪文秀等对体质量 (137. 0 ± 1. 0) g 点带石斑鱼投喂频率研究结果表明, 各试验组成活率都在 90% 以上, 不同处理组间成活率差异不显著^[6]。冒树泉等报道了不同梯度投喂频率对许氏平鲷 (*Sebastes schlegeli*) 幼鱼生长性能的影响试验, 指出各处理组许氏平鲷幼鱼成活率均为 100%^[10]。王伟等开展了投喂频率对花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 幼鱼生长性能影响的研究, 结果显示投喂频率对花鲈幼鱼存活率没有显著性影响, 平均存活率均在 93. 33% 以上^[11]。仇登高等研究了投喂频率对初始平均体质量为 858. 73 g 鞍带石斑鱼生长的影响, 结果表明: 不同投喂频率试验组对鞍带石斑鱼存活率无显著性影响, 各组存活率均在 99. 40% ~ 99. 80% 之间波动^[12]。在本试验条件下, 各投喂频率组珍珠龙胆石斑鱼的成活率均在 96% 以上, 1 次/2d 组投喂频率显著高于 1 次/d 组和 2 次/d 组 ($P < 0. 05$), 平均成活率从高到低顺序为 1 次/2d 组 > 2 次/d 组 > 1 次/d 组。这与对点带石斑鱼^[6]、许氏平鲷^[10]、非洲鲶鱼 (*Clarias gariepinus*)^[13] 的研究结果有相似之处, 也有一些不同, 说明在工厂化循环水养殖系统中, 可以通过采用 1 次/2d 的投喂频率来提高珍珠龙胆石斑鱼养殖成活率。在本试验的工厂化循环水养殖模式下, 投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼特定生长率、相对增质量、日增质量、肥满度和体质量变异系数等生长指标影响差异不显著 ($P > 0. 05$)。本试验结论与 Biswas 等对麦鲢 (*Cirrhinus mrigala*)、南亚野鲮 (*Labeo rohita*) 的研究结果^[14] 相似, 但与纪

文秀等对网箱养殖点带石斑鱼^[6]、董桂芳等对初始平均体质量约 4. 5g 斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)^[15]、吴耀华等对体质量为 (84. 5 ± 12. 9) g 龙虎斑^[16] 的研究结果不一致, 造成这种差异的原因可能与不同养殖模式、养殖品种和规格大小等因素有关。

不同投喂频率对硬骨鱼类饲料利用指标 (如摄食率、饲料转化效率和饲料系数) 的影响有所不同。骆季安等研究了饲喂频率对体质量 (26. 86 ± 1. 69) g 日本黄姑鱼 (*Nibea japonica*) 生长的影响, 结果显示 2 次/d 组摄食率极显著大于 1 次/d 组, 显著大于 3 次/d 组、4 次/d 组, 3 次/d 组、4 次/d 组均显著大于 1 次/d 组; 2 次/d 组、3 次/d 组、4 次/d 组食物转化率均极显著大于 1 次/d 组, 而 2 次/d 组、3 次/d 组和 4 次/d 组之间没有显著差异^[17]。刘伟等探讨了投喂频率对初始体质量为 (16. 13 ± 0. 13) g 吉富罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 生长的影响, 认为 1 次/d 组、2 次/d 组和 3 次/d 组的投喂频率均显著影响吉富罗非鱼饲料效率和摄食率^[18]。朱晓芳等研究了投喂频率对自制小型循环水系统养殖体质量为 (35. 50 ± 4. 58) g 珍珠龙胆石斑鱼影响的养殖试验, 结果表明: 在 0 ~ 15 d、16 ~ 30 d、31 ~ 45 d 各养殖阶段内, 随着投喂频率的提高, 饲料转化效率呈现先显著上升、接着显著下降的趋势^[19]。在本试验中, 不同投喂频率处理组对工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼日摄食率、饲料转化效率和饲料系数均没有产生显著的影响 ($P > 0. 05$), 类似的结果在麦鲢和南亚野鲮研究^[14] 中也有发现, 但是本试验结论与在花鲈^[11]、日本黄姑鱼^[17]、吉富罗非鱼^[18] 上的研究结果不一致, 这可能与生长的水环境、实验鱼种类、养殖阶段等条件不同有关。

3.2 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼血浆抗氧化酶活力的影响

碱性磷酸酶 (AKP) 是生物机体代谢过程中重要的调控金属酶, 能作为反映鱼类应激、胁迫的指示因子^[20-21]。过氧化氢酶 (CAT) 是催化机体内过氧化氢 (H_2O_2) 分解成水 (H_2O) 和氧气 (O_2) 的重要酶, 以保持机体内环境的稳定^[22]。超氧化物歧化酶 (SOD) 为金属酶家族, 是硬骨鱼类体内重要的抗氧化性酶, 可将机体内过多的自由基转化成水分子, 从而保护机体免受氧化伤害^[23]。陈文霞等研究了投喂频率对凡纳滨对虾免疫酶活力的影响, 结果表明投喂频率 5 次/d、6 次/d 处理组碱性磷酸酶 (AKP)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活力较 2 次/d 组、3 次/d 组和 4 次/d 组高^[24]。窦艳君等开展了不同投喂频率对室内工厂化车间养殖点带石斑鱼血浆抗氧化指标的影响研究, 结果显示: 第 28 d 时, 1 次/d、2 次/d、3 次/d 投喂频率处理组对血浆总超氧化物歧化酶 (T-SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 活力没有显著影响; 第 56 d 时, 1 次/d 组血浆 T-SOD 显著高于 3 次/d 组, 最高值达到 87.38 U/mL, 而投喂频率对血浆 CAT 活力无显著影响; 第 84 d 时, 2 次/d 组的血浆 T-SOD、CAT 均显著高于 1 次/d 组、3 次/d 组^[25]。在本试验条件下, 不同投喂频率对工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼的碱性磷酸酶 (AKP)、过氧化氢酶 (CAT) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 活力均没有产生显著性差异变化 ($P > 0.05$)。本试验结论与在流水养殖鞍带石斑鱼^[12]上的研究结果相似, 表明不同投喂频率对工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼不会产生应激胁迫作用, 但是此试验结果与在凡纳滨对虾^[24]、点带石斑鱼^[25]上研究结论存在一些差异, 这可能是由不同的养殖模式、实验对象和养殖时间等因素引起的。

4 结论

在本试验条件下, 不同投喂频率 (1 次/d、2 次/d、1 次/2d) 对工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼的特定生长率、肥满度、相对增质量、日增质量、体质量变异系数、日摄食率、饲料转化效率、饲料系数以及碱性磷酸酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶影响均无显著性差异 ($P >$

0.05), 但是投喂频率 1 次/2d 组的成活率显著高于 1 次/d 组和 2 次/d 组 ($P < 0.05$), 说明在饱食饲喂大规模珍珠龙胆石斑鱼的过程中, 可采用 1 次/2d 的投喂频率来提高工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼的成活率。

参考文献:

- [1] 周翰林, 张勇, 齐鑫, 等. 两种杂交石斑鱼子一代杂种优势的微卫星标记分析 [J]. 水产学报, 2012, 36 (2): 161-169.
- [2] 王燕, 张勇, 张海发, 等. 两种杂交石斑鱼及其亲本的形态差异分析 [J]. 水产学报, 2014, 38 (6): 778-785.
- [3] 于欢欢, 李炎璐, 陈超, 等. 棕点石斑鱼 (♀) × 鞍带石斑鱼 (♂) 杂交 F1 仔、稚、幼鱼的摄食与生长特性分析 [J]. 中国水产科学, 2015, 22 (5): 968-977.
- [4] 梁华芳, 黄东科, 吴耀华, 等. 温度和盐度对龙虎斑耗氧率和排氮率的影响 [J]. 渔业科学进展, 2014, 35 (2): 30-34.
- [5] 刘鹰. 海水工厂化循环水养殖技术研究进展 [J]. 中国农业科技导报, 2011, 13 (5): 50-53.
- [6] 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.
- [7] 王成桂, 梁华芳, 黄东科, 等. 投喂频率对龙虎斑幼鱼生长和饵料利用的影响 [J]. 渔业现代化, 2014, 41 (5): 21-25.
- [8] García-Mesa S, Suárez M D, Rodríguez-Rúa A, et al. Productive and physiological implications of different feeding frequencies in meagre *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) [J]. Aquacultural Engineering, 2014, 60: 6-13.
- [9] Tian H Y, Zhang D D, Li X F, et al. Optimum feeding frequency of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* [J]. Aquaculture, 2015, 437: 60-66.
- [10] 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.
- [11] 王伟, 张凯强, 温海深, 等. 投喂频率对花鲈幼鱼胃排空、生长性能和体组分的影响 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2018, 48 (6): 55-62.

- [12] 仇登高, 郑乐云, 黄种持, 等. 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 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2018, 40 (7): 51–57.
- [13] Marimuthu, Ang Chi Cheen K, 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.
- [14] 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 (1/2/3/4): 211–218.
- [15] 董桂芳, 胡振雄, 黄峰, 等. 投喂频率对斑点叉尾鮰幼鱼生长、饲料利用和鱼体组成的影响 [J]. 渔业现代化, 2012, 39 (2): 48–53.
- [16] 吴耀华, 王成桂, 梁华芳, 等. 不同投喂模式对龙虎斑生长的影响 [J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35 (6): 21–25.
- [17] 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.
- [18] 刘伟, 文华, 蒋明, 等. 饲料蛋白质水平与投喂频率对吉富罗非鱼幼鱼生长及部分生理生化指标的影响 [J]. 水产学报, 2016, 40 (5): 751–762.
- [19] 朱晓芳, 曹潇, 巩建华, 等. 投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长及系统水质指标的影响 [J]. 海洋科学, 2017, 41 (8): 32–39.
- [20] Huang Z H, Ma A J, Wang X A. The immune response of turbot, *Scophthalmus maximus* (L.), skin to high water temperature [J]. Journal of Fish Diseases, 2011, 34 (8): 619–627.
- [21] 冯建军, 姚志刚, 张子平, 等. 大黄鱼碱性磷酸酶基因的克隆及表达特征分析 [J]. 水产学报, 2014, 38 (9): 1243–1254.
- [22] 亢玉静, 郎明远, 赵文. 水生生物体内抗氧化酶及其影响因素研究进展 [J]. 微生物学杂志, 2013, 33 (3): 75–80.
- [23] Den Hartog G J M, Haenen G R M M, Vegt E. Superoxide dismutase: the balance between prevention and induction of oxidative damage [J]. Chemico – Biological Interactions, 2003, 145 (1): 33–39.
- [24] 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 (9): 49–53.
- [25] 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.

The effect of feeding frequency on the growth and plasma anti – stress enzyme activities of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) in industrial recirculating aquaculture systems

QIU Denggao^{1,2}, WEN Ping^{1,2}, LIN Qi^{1,2}, ZHU Zhihuang^{1,2},
WU Shuiqing^{1,2}, LIU Yinhua³, CHEN Xinming⁴, QIU Fengyan⁴

(1. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China;

2. Key Laboratory of Cultivation and High – value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Xiamen 361013, China;

3. Freshwater Fisheries Research Institute of Fujian, Fuzhou 350002, China;

4. Xiamen Xiaodeng Aquatic Science and Technology Co. Ltd. , Xiamen 361104, China)

Abstract: The experiment was conducted for 60 days in order to determine the effects of different feeding frequencies (1 time per day, 2 times per day, and once every 2 days) on the growth and plasma anti – stress enzyme activities of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) with initial weight of (297.79 ± 59.94) g at water temperature of (29.96 ± 0.40) °C, reared with artificial formulated in industrial recirculating aquaculture systems. The results showed that the survival rate of the fish fed once every 2 days (99.39 ± 0.01)% was significantly higher than those of the fish fed once per day (96.75 ± 0.66)% and twice a day (97.08 ± 0.66)% ($P < 0.05$). There were not significant effects on the specific growth rate ($SGR = 1.05 \sim 1.19\%/d$), condition factor ($CF = 1.63 \sim 1.77$), relative weight gain ($RWG = 187.65\% \sim 205.04\%$), daily weight gain ($DWG = 4.33 \sim 5.00$ g/d), coefficient of size variation ($SV = 14.50 \sim 18.30$), food intake ($FI = 1.07 \sim 1.24$ %/d), food conversion efficiency ($FCE = 81.77\% \sim 87.38\%$) and food conversion ratio ($FCR = 1.15 \sim 1.25$) among the three groups ($P > 0.05$). The plasma anti – stress enzyme activities (i. e. AKP = 8.07 ~ 8.26 King/100mL, CAT = 1.92 ~ 2.52 U/mL and SOD = 23.39 ~ 24.34 U/mL) of the fish was not significantly different in all treatments ($P > 0.05$). Under the experimental conditions, the feeding frequency of once every two days could be used to improve the survival rate of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) in industrial recirculating aquaculture systems. .

Key words: *E. pinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂ ; feeding frequency; growth; plasma anti – stress enzyme activities; industrial recirculating aquaculture systems