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

朱晓芳[1], 曹　潇[2], 巩建华[2], 徐善良[1], 郭春阳[2]

(1. 宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211; 2. 应用海洋生物技术教育部重点实验室, 浙江 宁波 315211)

摘要: 通过自制小型循环水系统养殖实验, 研究不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼(♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus*)幼鱼(35.50 g±4.58 g)生长及系统水质指标的影响。实验设 1、2 和 4 次/d 3 个投喂频率实验组, 每组 3 个重复。水温控制在 25℃±2℃, 每 15 d 取样测鱼体质量, 每天取水样测定水质指标, 实验周期为 45 d。结果表明: 不同投喂频率条件下, 珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的增质量率、饲料转化率差异显著(P<0.05); 随着投喂频率的增加, 增质量率呈现显著升高趋势, 饲料转化率呈现先显著升高后又显著降低趋势; 特定生长率也呈上升趋势, 2 次/d 和 4 次/d 组显著高于 1 次/d 组(P<0.05), 2 次/d 和 4 次/d 组之间差异不显著(P>0.05); 随着养殖时间的延长, 增质量率、饵料转化率和特定生长率都呈现显著降低趋势(P<0.05)。在 0~15 d, 4 次/d 组增质量率最高, 其值为 46.30%, 分别是 1 次/d 和 2 次/d 组的 1.31 倍和 1.11 倍, 2 次/d 组的饲料转化率最高, 其值为 158.95%, 分别是 1 次/d 和 4 次/d 组的 1.30 倍和 1.13 倍, 氨氮、亚硝酸盐含量和 pH 变化差异不显著(P>0.05)。同时氨氮随投喂频率增加而升高, 而 pH 随投喂频率增加而降低。综合认为, 在循环水养殖模式下, 珍珠龙胆石斑鱼幼鱼适宜投喂频率为 2 次/d。

关键词: 珍珠龙胆石斑鱼(♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus*); 投喂频率; 生长; 水质

中图分类号: S913　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3096(2017)08-0032-08

DOI: 10.11759//hykx 20161118001

投喂频率是鱼类养殖管理中的重要环节, 是影响鱼类摄食和生长的重要因子之一[1]; 适宜的投喂频率可以提高鱼类的生长速率和饲料转化率[2-10]、降低水质污染[11]和个体生长差异[12], 从而提高经济效益和生态效益[8]; 养殖鱼类的适宜投喂频率因鱼类自身种属、规格大小和饲料类型而异[13-15]; 残饵和养殖动物排泄物是循环水系统氨氮的主要来源, 氨氮具有很强的神经性毒性, 其氨氮主要通过生物滤器的硝化作用去除, 先转化为亚硝酸盐, 最后转化为不具有毒性的硝态氮[16-18]。珍珠龙胆石斑鱼(♀*Epinephelus fuscoguttatus* ×♂*Epinephelus lanceolatus*)是近年来中国通过杂交产生的一种新品种, 石斑鱼是石斑鱼属(*Epinephelus*)鱼类的统称, 在分类学上隶属于脊索动物门(Chordata), 脊椎动物亚门(Vertebrata), 硬骨鱼纲(Osteichyes), 鲈形目(Perciformes)、鲈亚目(Percoideei)、鮨科(Serranidae)、石斑鱼亚科(Epinephelinae)[19]; 近年来, 关于珍珠龙胆石斑鱼营养方面已进行了很多研究[20-24], 但关于珍珠龙胆石斑鱼幼鱼投喂频率的研究还未见报道。作者研究了不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能及水质指标的影响, 以便获得珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长速度快、饲料转化率高和水质条件良好时的投喂频率, 为其工厂化封闭循环水养殖提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　实验材料与装置

珍珠龙胆石斑鱼幼鱼: 由象山鱼得水水产有限公司提供, 挑选体质健康、规格均匀的幼鱼用于实验, 体质量 35.50 g±4.58 g。

实验用水: 养殖用水为天然海水, 经自然沉淀及 300 网目网袋过滤。

过滤器: 水处理过滤器为创星牌鱼缸过滤器,

收稿日期: 2016-11-18; 修回日期: 2017-05-19

基金项目: 国家海洋局 2013 年海洋经济创新区域示范项目(F01521145300); 浙江省科技计划项目(2017C32015)

[Foundation: State Oceanic Administration Regional Symposium on Marine Economic Innovation in 2013, No.F01521145300; Zhejiang Province Science and Technology Project, No. 2017C32015]

作者简介: 朱晓芳(1991-), 女, 硕士研究生, 从事鱼类繁殖生物学, E-mail: 2366405841@qq.com; 徐善良, 通信作者, 教授, E-mail: xushanliang@nbu.edu.cn

功率 32 W。

生物填料: 所用生物填料为聚丙烯鲍尔环填料。

养鱼桶: 养鱼桶容积为 600 L, 底部直径 950 mm, 顶部直径 1 000 mm, 高 750 mm。

实验饲料: 山东青岛七好牌石斑鱼配合饲料: 粗蛋白含量 50.00%, 粗脂肪含量 10.00%, 水分 8.12%, 灰分 14.21%。

循环水养鱼系统实验装置自行设计组装如图 1, 养鱼桶经出水管与生物过滤器相连, 经过生物过滤器处理后, 由进水管流入养鱼桶。

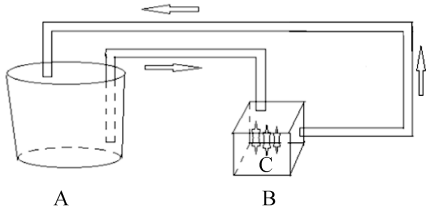

图 1 实验装置示意图

Fig.1 The schematic diagram of experimental device

A、B、C 分别表示养鱼桶、生物过滤处理装置、生物填料, 箭头表示管道水流方向

A, B and C respectively represent fish buckets, biofiltration and biological fillings, and the arrows indicate the direction of the flow of the pipe

1.2 实验设计及饲养管理

每桶加入实验用水 300 L, 随机选取暂养一周后实验鱼 30 尾放入实验桶。共设置 3 个实验组, 每个实验组设置 3 个重复。第一组每天投喂 1 次(8: 00), 第二组每天投喂 2 次(8: 00 和 14: 00), 第三组每天投喂 4 次(8: 00、11: 00、14: 00、17: 00), 每次饱食投喂; 每桶布置一个充气石, 温度 25℃±2℃, 盐度 20~28, 流量为 24 L/h; 每天早上第一次投喂前分别取水样测定氨氮、亚硝酸盐和 pH; 分别在 0、15、30、45 d 称量鱼体质量(精确到 0.01 g)。

每天用虹吸管吸底, 记录水温, 实际摄食量; 根据系统蒸发量不定期补充海水, 实验周期 45 d。

1.3 水质测定及计算公式

氨氮、亚硝酸盐和 pH 水质指标均用杭州陆恒生物公司水质监测分析仪测定。

增质量率=100%×($W_t - W_0$)/ W_0;

饲料转化率=100%×($W_t - W_0$)/ I;

特定生长率=100%×($\ln W_t - \ln W_0$)/t。

其中, W_t 和 W_0 分别为终末和初始均质量(g), I 为累计摄食量(g), t 为实验时间(d)。

1.4 数据处理与统计分析

实验所得数据均采用 SPSS Statistics17.0 软件进行单因素方差(ONEANOVA)分析处理, 以 $P<0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果

2.1 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼增质量率、饲料转化率和特定生长率的影响

不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼增质量率、饲料转化率和特定生长率的影响见表 1。

表 1 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长的影响

Tab.1 The effects of different different feeding frequency on growth in juvenile of pearl gentian grouper

养殖时间(d)	投喂频率(次/d)		
	1	2	4
0	初始体质量(g)		
	32.73±2.42	33.17±2.17	33.33±3.06
45	终末体质量(g)		
	61.00 ± 3.78^{a}	71.33 ± 2.67^{c}	81.00 ± 1.73^{b}
	投饵量(g)		
0~15	320.50	302.00	354.06
16~30	299.22	216.00	323.78
31~45	300.30	285.13	444.80
	增质量率(%)		
0~15	$35.41\pm0.34^{b}_{ii}$	$41.71\pm0.16^{a}_{i}$	$46.30\pm0.08^{c}_{iii}$
16~30	$20.32\pm0.56^{a}_{i}$	$28.95\pm0.23^{c}_{iii}$	$35.95\pm0.15^{b}_{ii}$
31~45	$14.38\pm0.58^{c}_{iii}$	$17.58\pm0.22^{b}_{ii}$	$22.11\pm0.13^{a}_{i}$
	饲料转化率(%)		
0~15	$122.62\pm3.23^{c}_{iii}$	$158.94\pm2.47^{a}_{ii}$	$141.22\pm2.01^{b}_{i}$
16~30	$101.93\pm3.83^{a}_{ii}$	$134.26\pm2.59^{b}_{i}$	$126.63\pm1.87^{c}_{iii}$
31~45	$86.58\pm2.67^{b}_{i}$	$112.23\pm2.01^{c}_{iii}$	$98.92\pm1.56^{a}_{ii}$
	特定生长率(%)		
0~15	$2.02\pm0.04^{a}_{ii}$	$2.33\pm0.01^{c}_{i}$	$2.54\pm0.05^{c}_{iii}$
16~30	$1.23\pm0.13^{c}_{i}$	$1.70\pm0.03^{b}_{ii}$	$2.05\pm0.07^{b}_{ii}$
31~45	$0.90\pm0.06^{b}_{iii}$	$1.08\pm0.01^{a}_{iii}$	$1.33\pm0.03^{a}_{i}$

注: 表中数据为平均值±标准误; 同行数值上标英文字母不同, 表明组间差异显著($P<0.05$); 同列数值下标罗马字母不同, 表明组内不同时段差异显著($P<0.05$)

从增质量率上比较: 随着养殖时间的延长, 各投喂频率下增质量率呈显著降低趋势($P<0.05$); 各养殖时间段内, 增质量率随着投喂频率的增加而显著升高($P<0.05$), 在第 0~15 天, 各投喂频率的增质

量率达到最大值，4 次/d 组最大，其值为 46.30%，分别是 1 次/d 组和 2 次/d 组的 1.31 倍和 1.11 倍。

从饲料转化率上看，随着养殖时间的延长，各投喂频率下饲料转化率呈显著降低趋势($P<0.05$)；各养殖时间段内，饲料转化率随着投喂频率的增加先显著升高后显著降低($P<0.05$)，在第 0~15 天，各投喂频率的饲料转化率达到最大值，2 次/d 组最大，其值为 158.94%，分别是 1 次/d 组和 4 次/d 组的 1.30 倍和 1.13 倍。

从特定生长率上比较：随着养殖时间的延长，各投喂频率下特定生长率呈显著降低趋势($P<0.05$)；各养殖时间段内，特定生长率随着投喂频率的增加先显著升高($P<0.05$)，后不显著增加($P>0.05$)，2 次/d 和 4 次/d 组显著高于 1 次/d 组，2 次/d 和 4 次/d 组之间差异不显著($P>0.05$)。

2.2 不同投喂频率对小型循环水系统水质指标的影响

2.2.1 不同投喂频率对小型循环水系统氨氮浓度的影响

小型循环水系统氨氮浓度变化情况如图2，不同投喂频率下，系统氨氮浓度随着投喂频率的增加而升高，随着养殖时间的延长，系统氨氮浓度系统氨氮浓度变化规律一致，呈先增加后降低趋势，均在 10 d 左右达到峰值，1、2 和 4 次/d 组最大值分别为 0.27、0.47 和 0.58 mg/L；8~15 d 组间差异较大，此后各组趋于稳定，差异不显著，3 组的氨氮浓度分别为 0.02、0.05 和 0.08 mg/L。

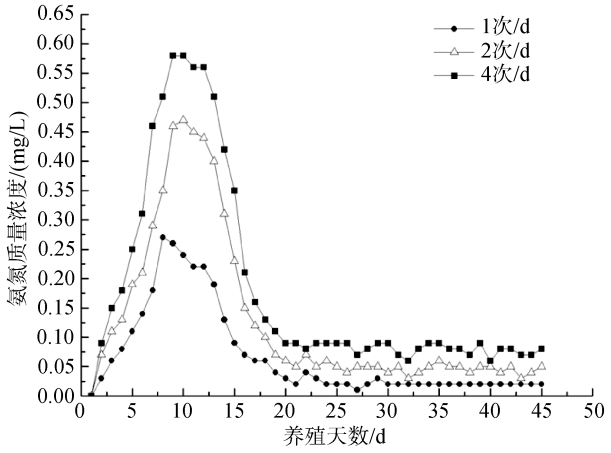

图 2 不同投喂频率下系统氨氮浓度变化情况

Fig.2 The diversification of ammonia nitrogen concentration for circulation system in different feeding frequency

2.2.2 不同投喂频率对小型循环水系统亚硝酸盐浓度的影响

小型循环水系统亚硝酸盐浓度变化情况如图 3，在不同投喂频率下，系统亚硝酸盐浓度总体上呈现先迅速升高后小幅波动的变化，峰值出现在 5 d 左右；亚硝酸盐浓度与投喂频率不存在明显的正相关，25 d 以后 1 次/d 投喂组明显低于其他两组；最终系统亚硝酸盐浓度趋于稳定，1、2 和 4 次/d 组分别为 0.08、0.10 和 0.12 mg/L。

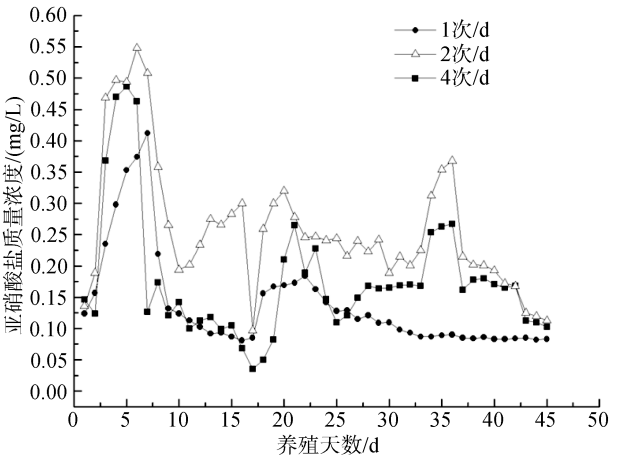

图 3 不同投喂频率下系统亚硝酸盐浓度变化情况

Fig.3 The diversification of nitrite concentration for circulation system in different feeding frequency

2.2.3 不同投喂频率对小型循环水系统 pH 的影响

小型循环水系统 pH 变化情况如图 4，不同投喂频率下，投喂频率对系统 pH 的影响与氨氮相反，系

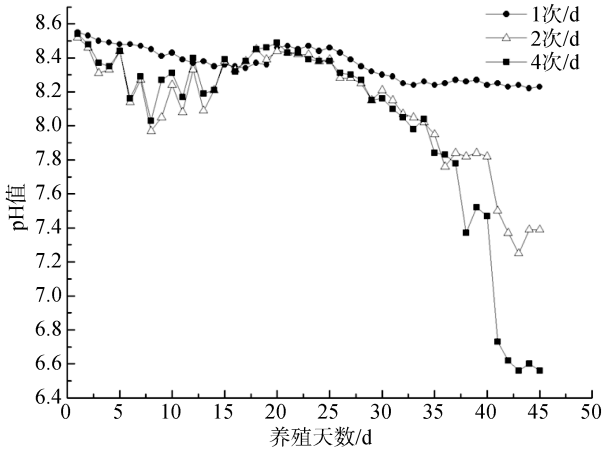

图 4 不同投喂频率下系统 pH 值变化情况

Fig.4 The diversification of pH for circulation system in different feeding frequency

统 pH 随投喂频率的增加而降低，25 d 后愈加显著；随着养殖时间的延长，3 个实验组的 pH 持续降低 1、2 和 4 次/d 组的 pH 在第 45 天分别降低到 8.20、7.21 和 6.56。

3 讨论

3.1 不同投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长的影响

不同鱼类的适宜投喂频率差异较大，同种鱼类不同规格的适宜投喂频率也有很大差异，斑点叉尾鮰 2 次/d 较 24 次/d 投喂频率下生长快[25]，异育银鲫(*Allogynogenetic crucian*)在 24 次/d 投喂频率下生长最快，且饲料系数最低[26]，Biswas 等[15]指出个体小的石斑鱼需要较高的投喂频率，个体较大的石斑鱼需要较低的投喂频率。通过养殖投喂频率实验，结合鱼类在养殖实验期间的饲料效益、生长性能和健康状况，综合全面评价出适宜投喂频率，在养殖生产中具有重要意义。有研究表明[27]，在一定范围内适当增加投喂频率，能够使鱼的摄食量增加，从而起到提高生长速度的效果。在本研究中，投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的增质量率、饲料转化率均有显著影响，增质量率随着投喂频率的增加而显著升高，与以上结论相一致；随着养殖时间的延长，1、2 和 4 次/d 3 个投喂频率下增质量率呈显著降低趋势($P<0.05$)，这是由于随着养殖时间的延长，石斑鱼规格不断增大，增质量占自身质量的比例越来越小的缘故。

对虹鳟(*Epinephelus tauvina*)、鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)的研究指出，饲料转化率随投喂频率的增加而下降[28-29]。在本研究中，2 和 4 次/d 的结果与上述一致，当投喂频率过高时，鱼类摄食活动等行为频繁，鱼体能量消耗过多，导致用于生长的能量贮存减少，从而导致饲料转化率降低[30]，还有可能是由于过高的投喂频率条件下，两次投喂的时间间隔缩短，导致摄入的饲料快速的通过消化道，使得饲料没有得到及时充分的吸收利用，从而使饲料转化率降低[31]；而从 1 次/d 到 2 次/d 的结果则与上述结论相反，这可能是由于 1 次/d 投喂频率下，石斑鱼摄入的总饲料量大部分用于基础代谢和活动代谢，而仅有小部分用于生长，2 次/d 投喂频率下，其大部分用于生长，而仅有小部分用于基础代谢和活动代谢。随着养殖时间的延长，各投喂频率下饲料转化率呈显著降低趋势，这是由于随着珍珠龙胆幼鱼日龄的增加，肠胃内某些消化酶的活性降低，进而导致其对饲料的吸收利用率降低[32]。

在本研究中，2 次/d 和 4 次/d 组特定生长率显著高于 1 次/d 组，王武等[5]研究了瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)幼鱼的特定生长率也随投喂频率增加而显著升高。2 次/d 和 4 次/d 组之间无显著差异，这是由于鱼类摄食活动等行为频繁，鱼体能量消耗过多，从而特定生长率差异不明显[30]；随着养殖时间的延长，各投喂频率下特定生长率呈显著降低趋势，这与饲料转化率结果一致[32]。

3.2 不同投喂频率对小型循环水系统水质指标的影响

鱼类排泄物与摄食物相关，而养殖水体中氨氮浓度与排泄物和残饵密切相关[33]，在本研究中，系统氨氮浓度随着投喂频率的增加而升高，这是由于高投喂频率下，摄食量增加，鱼体排泄物以及水体中残饵也增多，导致系统氨氮浓度升高；有研究表明[34]，一定范围投喂频率下水体氨氮差异不显著($P>0.05$)，本研究结果与以上结论相一致；随着养殖时间的延长，系统氨氮浓度呈先增加后降低趋势，这可能是由于系统的聚丙烯鲍尔环生物填料需要一段适应的时间，所以开始一周多的时间里氨氮含量保持上升趋势，在第 10 天前后 3 个投喂频率组均达到最大值，生物包对氨氮未响应，处理效果不佳，氨氮含量持续上升，但经过一个多星期的培养调整后，生物包成熟，对氨氮的去除能力大大提高，氨氮的去除量大于生成量，氨氮逐渐下降，最后趋于稳定，3 组含量降至 0.02~0.08 mg/L。此时，生物包对氨氮的处理和系统产生的氨氮达到一个动态平衡状态[35]。

养殖水体中过高的氨氮，一部分在亚硝化细菌的作用下生成亚硝酸盐，也有一部分在硝化细菌的作用下生成硝酸盐[35]。据报道，养殖水体中过高的亚硝酸盐会使鱼体血液里的二价铁变为三价铁，而三价铁血红蛋白没有运输氧的能力，会造成鱼体组织缺氧，甚至导致死亡[36]。在本研究中，亚硝酸盐浓度与投喂频率不存在明显的正相关，系统亚硝酸盐浓度变化存在小幅波动。1 次/d 组的系统亚硝酸盐浓度低于 2 和 4 次/d 组，这与各组的氨氮水平相关，较低的氨氮水平经亚硝化菌分解后产生的亚硝酸盐也相对较低。后期随着生物包成熟，系统亚硝化和硝化系统趋于稳定，亚硝酸盐浓度趋于回落。而在第 18 天和第 33 天出现的小幅度升高而后降低的现象，是由于在第 17 天和第 32 天对系统进行简单的清洗缘故。

养殖水环境中稳定适宜的 pH 对鱼体生存和生长至关重要，而养殖水体中 pH 会随着养殖时间的延长持续降低，特别是在封闭式循环水系统中[37]；造成循环水水体 pH 持续降低的原因主要有以下 3 点：(1)生物池处理系统的硝化作用过程本身是一个耗碱产酸的过程；(2)鱼体自身呼吸作用产生大量的二氧化碳；(3)水体中残饵和粪便中未被消化利用的有机物的氧化分解产生的二氧化碳[38]；本研究结果显示，与氨氮相反，系统 pH 随投喂频率的增加而降低，由于高投喂频率下，每天的总摄食量大，残饵、粪便更多，其氧化分解产生的二氧化碳也就较多，从而导致 pH 下降更快；高投喂频率下，也会导致鱼体活动增多，呼吸作用增强，产生的二氧化碳较多。针对循环水系统 pH 持续降低问题，往往通过挂石灰袋或采用脱二氧化碳的装置加以解决，从而达到调节水体 pH 的目的。

4 小结

本研究结果显示，投喂频率由 1 次/d 增加至 4 次/d 时，增质量率显著提高，而饲料转化率 2 次/d 组显著高于 1 次/d 和 4 次/d 组；同时氨氮随投喂频率增加而升高，而 pH 随投喂频率增加而降低。综合珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的增质量、饲料利用和水质指标，研究认为，珍珠龙胆石斑鱼幼鱼循环水养殖中适宜投喂频率为 2 次/d。

参考文献:

[1] Wang Y, Kong L J, Li K, et al. Effects of feeding frequency and ration 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.

[2] 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.
Ji Wenxiu, Wang Yan, Li Poyu. Effect of feeding frequency on growth, feed utilization and nitrogen and phosphorus waste output of malabar grouper, *Epinephelus malabaricus*, reared in net pens[J]. Journal of Zhejiang University(Agriculture and Life Sciences), 2011, 37(4): 432-438.

[3] 孙晓锋，冯健，陈江虹，等. 投喂频率对尼罗系吉富罗非鱼幼鱼胃排空、生长性能和体组成的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1677-1683.
Sun Xiaofeng, Feng Jian, Chen Jianghong, et al. Effects of feeding frequency on gastric evacuation, growth benefit and body composition of juvenile genetic improved farmed tilapia strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1677-1683.

[4] 林艳，缪凌鸿，戈贤平，等. 投喂频率对团头鲂幼鱼生长性能、肌肉品质和血浆生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(9): 2749-2756.
Lin Yan, Miao Linghong, Ge Xianping, et al. Effects of feeding frequency on growth performance, muscle quality and plasma biochemical induces of *Megalobrama amblycephala* juvenile[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(9): 2749-2756.

[5] 王武，周锡勋，马旭洲，等. 投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长及蛋白酶活力的影响[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(3): 224-229.
Wang Wu, Zhou Xixun, Ma Xuzhou, et al. Effect of feeding frequency on the growth and protease activities of *Pelteobagrus vachelli*[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2007, 16(3): 224-229.

[6] 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.
Dong Guifang, Hu Zhenxiong, Huang Feng, et al. Effect of feeding frequency on growth, feed utilization and whole body composition of juvenile channel catfish(*Ictalurus punctatus*)[J]. Fishery Modernization, 2012, 39(2): 48-53.

[7] 孙瑞健，徐玮，米海峰，等. 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼生长、体组成及脂肪沉积的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(3): 401-409.
Sun Ruijian, Xu Wei, Mi Haifeng, et al. Effects of dietary lipid level and feeding frequency on growth, body composition and lipid deposition in juvenile large yellow croaker(*Larimichthys crocea*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(3): 401-409.

[8] 孙丽慧，王际英，丁立云，等. 投喂频率对星斑川鲽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.
Sun Lihui, Wang Jiying, Ding Liyun, et al. Effects of feeding frequency on growth and body composition of juvenile *Platichthys stellatus*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(2): 190-195.

[9] 郭浩宇，张秀梅，高天翔. 人工隐蔽物及投喂频率对许氏平鲉幼鱼生长和行为的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 319-331.
Guo Haoyu, Zhang Xiumei, Gao Tianxiang. Effects of artificial shelters and feeding frequency on growth and behavior of juvenile *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(2): 319-331.

[10] 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.
Dou Yanjun, Xing Kezhi, Wang Qingkui, et al. Effects of feeding frequency on the growth and plasma antioxidant indices of *Epinephelus malabaricus*[J]. Fishery Modernization, 2016, 43(2): 1-6.

[11] Wang Y, Guo J, Li K, et al. Effects of dietary protain and energy levels on growth, feed utilization and body composition of cuneate drum, *Nibea miichthioides*[J]. Aquaculture, 2006, 252: 476-483.

[12] Kubitza F, Lovshin L L. Formulated diets, feeding strategies and cannibalism control during intensive culture of juvenile carnivorous fishes[J]. Rev Fish ScI, 1999, 7(1): 1-22.

[13] Salama A J. Effects of different feeding frequency on the growth, survival and feed conversion ratio of the Asian sea bass *Lates calcarifer* juveniles reared under hypersaline seawater of the Red Sea[J]. Aquaculture Research, 2008, 39: 561-567.

[14] Williams K C. A review of feeding practices and nutritional requirements of postlarval groupers[J]. Aquaculture, 2009, 292: 141-152.

[15] Biswas G, Thirunavukkaras A R U, Sundaray J K, et al. Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*)fry reared in net cages under brackishwater environment[J]. Aquaculture, 2010, 305: 26-31.

[16] 李波, 樊启学, 张磊, 等. 不同溶氧水平下氨氮和亚硝酸盐对黄颡鱼的急性毒性研究[J]. 淡水渔业, 2009, 39(3): 31-35.
Li Bo, Fan Qixue, Zhang Lei, et al. Acute toxic effects of ammonia and nitrite on yellow catfish(*Pelteobagrus fulvidraco*)at different dissolved oxygen levels[J]. Freshwater Fisheries, 2009, 39(3): 31-35.

[17] 朱松明. 循环水养殖系统中生物过滤器技术简介[J]. 渔业现代化, 2006, 17(2): 16-20.
Zhu Songming. Brief introduction of bioreactor technology in circulating water culture system[J]. Fishery Modernization, 2006, 17(2): 16-20.

[18] Chen S, Ling J, Blancheton J P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors[J]. Aquacultural Engineering, 2006, 34(3): 179-197.

[19] 马腾. 一种杂交石班鱼循环水养殖系统工艺优化与实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
Ma Teng. Optimization research of process of the ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatu* recirculating aquaculture system[D]. Qingdao: China Ocean University, 2014.

[20] 魏佳丽. 磷虾粉在星斑川鲽和珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中的应用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
Wei Jiali. Application effects of krill meal in feeds for juvenile starry flounder(*Platichthys stellatus*)and pearl gentian grouper (♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatu*)[D]. Shanghai: Shanghai ocean university, 2015.

[21] 冯煜. 珍珠龙胆与斜带石斑鱼稚鱼卵磷脂及鱼油利用比较研究[D]. 海南: 海南大学, 2013.
Feng Yu. A comparative study on utilization of lecithin and fish oil of pearl gentian (♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatu*) and *Epinephelus coioides* larvae[D]. Hainan: Hainan University, 2013.

[22] 王际英, 张德瑞, 马晶晶, 等. 珍珠龙胆石斑鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 海洋湖沼通报, 2015, 4: 61-69.
Wang Jiying, Zhang Derui, Ma Jingjing, et al. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatu* muscles[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2015, 4: 61-69.

[23] 魏佳丽, 王际英, 宋志东, 等. 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能、体组成及血清生化的影响[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(1): 100-110.
Wei Jiali, Wang Jiying, Song Zhidong, et al. Effects of the partial substitute for fish meal by hydrolyzed krill meal on growth performance, the body composition and the serum biochemical prameters of juvenile pearl gentian grouper[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(1): 100-110.

[24] 曹伏君, 陈思, 梁华芳, 等. 不同饲料对珍珠龙胆石斑幼鱼生长性能的影响[J]. 水产科技情报, 2016, 43(2): 66-71.
Cao Fujun, Chen Si, Liang Huafang, et al. Effects of different diets on the growth performance of juvenile pearl gentian grouper (♀*Epinephelus fuscoguttatus*× ♂*Epinephelus lanceolatus*)[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2016, 43(2): 66-71.

[25] Andrews J W, Page J W. The effects of frequency of feeding on culture of cafish[J]. Trans Am Fish Soc, 1975, 104: 317-321.

[26] 周志刚. 利用生物能量学模型建立异育银鲫投喂体系的研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2002.
Zhou Zhigang. Study on the feeding system of *Allogynogenetic crucian* carp by using bio-energy model[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2002.

[27] Sveier H, Lied E. The effect of feeding regine on growth, feed utilisation and weight dispersion in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in seawater[J]. Aquaculture, 1998, 165(3-4): 333-345.

[28] Chua T E, Teng S K.Effects of feeding frequency on the growth of young estuary grouper, *Epinephelus tauvina,* cultured in floating net-cages[J]. Aquaculture, 1978,

14(1): 31-47.

[29] Grayton B D, Beamish F W H. Effects of feeding frequency on food intake , growth and body composition of rainbow trout (*Sarlmo gaideri*)[J]. Aquaculture, 1977, 11(2): 159-172.

[30] 周歧存, 郑石轩, 高雷, 等. 投喂频率对南美白对虾(*Penaeus vannamei* Boone)生长、饲料利用及虾体组成影响的初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 2003, 2: 64-68.
Zhou Qicun, Zheng Shixuan, Gao Lei, et al. Preliminary studies on the effects of feeding frequency on growth, feed utilization and body composition of *Penaeus vannamei* Boone[J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2003, 2: 64-68.

[31] Liu F G, Liao C I. Effect of feeding regimen on the food consumption growth and body composition in hybrid striped bass *Morone saxitilis* M. Chrysops[J]. Fisheries Science, 1999, 64(4): 513-519.

[32] 李芹. 瓦氏黄颡鱼消化系统发育的研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
Li Qin. The development of digestive system in *Pelteobagrus vachelli*[D]. Chongqing: Southwest Agricultural University, 2005.

[33] 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.
Wang Hua, Li Yong, Chen Kang, et al. The feature and rule of change of growth and feed intake of *Cynoglossus semilaevis* and water quality in industrial culture with recirculation aquaculture system[J]. Journal of Hydroecology, 2009, 2(4): 52-59.

[34] Smith D M, Bureord M A, Tabretta S J, et al. The effect of feeding frequency on water quality and growth of the black tiger shrimp[J]. Aquaculture, 2002, 207(1-2): 125-136.

[35] 李玲, 楚国生. 封闭循环养殖系统氨氮和亚硝酸盐去除效果研究[J]. 吉林水利, 2010, 2: 34-38.
Li Ling, Chu Guosheng. Study on removal efficiency of Ammonia, Nitrogen and Nitrite in close-cycle aquaculture system[J]. Jilin Water Resources, 2010, 2: 34-38.

[36] 余瑞兰, 聂湘平, 魏泰莉, 等. 分子氨和亚硝酸盐对鱼类的危害及其对策[J]. 中国水产科学, 1999, 6(3): 74-78.
Yu Ruilan, Nie Xiangping, Wei Taili, et al. Harm of Ammonia and Nitrite to fish and its countermeasures[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(3): 74-78.

[37] 齐闯, 徐善良, 邵波, 等. 循环海水养鱼系统中 pH 值调节技术研究[J]. 生物学杂志, 2012, 2 9(4): 39-42.
Qi Chuang, Xu Shanliang, Shao Bo, et al. Study on pH adjustment technology in circulating seawater fish system[J]. Journal of Biology, 2012, 2 9(4): 39-42.

[38] 陈剑锋, 赖廷和, 童万平. 南美白对虾工厂化养殖水体 pH 值的变化特征[J]. 水产科学, 2006, 25(9): 456-458.
Chen Jianfeng, Lai Tinghe, Tong Wanping. Variation of pH value of industrialized aquaculture water of *Penaeus vannamei*[J]. Fisheries Science, 2006, 25(9): 456-458.

Effects of different feeding frequencies on the growth of juvenile ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* and on water quality index

ZHU Xiao-fang[1], CAO Xiao[2], GONG Jian-hua[2], XU Shan-liang[1], GUO Chun-yang[2]
(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. The Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology Ministry of Education, Ningbo 315211, China)

Received: Nov. 18, 2016
Key words: ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus*; feeding frequency; growth; water quality index

Abstract: Effects of different feeding frequencies on the growth of juvenile pearl gentian grouper (♀*Epinephelus fuscoguttatus*×♂*Epinephelus lanceolatus*) (35.5 g ± 4.58 g) and on water quality index were studied in a breeding experiment using a self-made small-scale circulating water system. Fishes were divided into three groups with three replicates in each group; groups were fed 1, 2 and 4 times per day. Body weight of the fishes was meas-

ured every 15 days, and water quality index was measured every day. The experimental period was 45 days and water temperature was 25°C ± 2°C. Results showed that weight gain and feeding conversion rates of juvenile fishes were significantly different under different feeding frequencies ($P < 0.05$). As feeding frequency increases, weight gain rate significantly increased ($P < 0.05$), and feed conversion rate showed a significant initial increase and then a decrease ($P < 0.05$). Specific growth rate showed increased, and the growth rate of the groups that were fed two and four times per day was significantly higher than that of the group that was fed once a day group, whereas there was no significant difference between the groups that were fed two and four times per day ($P > 0.05$). With the increased feeding time, weight gain, feeding conversion, and specific growth rates significantly decreased ($P < 0.05$). In the first 15 days, weight gain rate in the group that was fed four times per day was the highest with a value of 46.30%, which was 1.31 and 1.11 times higher than those of the groups that were fed once and two times per day, respectively. The feeding conversion rate was the highest in the group that was fed two times per day with a value of 158.95%, which was 1.30 and 1.13 times higher than those of the groups fed once and four times per day, respectively. There were no significant differences in the contents of ammonia and nitrite and the variation of pH value ($P > 0.05$). Meanwhile, nitrate content increased, whereas pH value decreased with increased feeding frequency. Results of the present study suggest that the optimal feeding frequency of pearl spotted grouper juvenile fish was two times per day under the recirculating aquaculture system.

(本文编辑: 谭雪静)