

文章编号: 1674-5566(2012)02-0218-07

半封闭循环水养殖系统中高体革鲷养殖密度研究

罗国芝, 刘刚, 谭洪新

(上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 在半循环水养殖系统中研究了养殖密度对体重为 50~100 g 的高体革鲷苗种的影响。试验设置 3 个密度组: 低密度组 100 尾/m³ (5 kg/m³)、中密度组 260 尾/m³ (13 kg/m³) 和高密度组 360 尾/m³ (18 kg/m³)。研究表明: 各密度组中试验鱼的生长表现出了明显的差异, 生长效率、特定生长率和日增重随着养殖密度的升高而明显降低; 大小变动系数和饵料系数随着养殖密度的升高而明显增加。对试验鱼的生理指标分析表明, 试验初期, 密度对试验鱼血清中的皮质醇、补体 C3、谷草转氨酶 (ALT) 和谷丙转氨酶 (AST) 有显著影响; 试验结束时, 3 个密度组试验鱼血清中的皮质醇、谷草转氨酶和谷丙转氨酶没有明显差异。综合对检测指标的结果分析, 认为本试验条件下, 体重 50~100 g 的高体革鲷幼鱼的比较适宜的养殖密度是 260 尾/m³。

研究亮点: (1) 高体革鲷是近年来逐渐引起关注的优良淡水养殖品种, 比较适合高密度集约化养殖, 但关于其适宜养殖密度的研究尚未见报道。研究高体革鲷幼鱼的适宜养殖密度, 希望为生产提供理论基础。(2) 不仅分析了常规的生长指标和生理指标, 将部分生产指标一并纳入分析, 作为评价养殖密度适宜性的标准。

关键词: 高体革鲷; 幼鱼; 养殖密度; 环境胁迫; 循环水养殖

中图分类号: S 965.3

文献标志码: A

高密度养殖是养殖者提高经济效益的重要举措。能够在既定的条件下以最合适的养殖密度进行养殖是养殖者获得最大经济效益的保证。养殖密度作为一个重要的环境因子, 对水生动物的生理、生长和品质会有一定的影响, 过高的养殖密度可造成鱼的血浆中皮质醇浓度升高^[1]、生长缓慢^[2]和生长离散增加^[3]等。养殖密度的选择决定于养殖者的技术水平、鱼类的生长环境和鱼的种类特点以及生长阶段等因素。目前, 国内外开展了大量的关于适宜养殖密度的研究, 集中于密度对鱼类的胁迫效应^[4-10]。在生产系统开展鱼类的养殖密度胁迫研究难度较大, 如试验期间的水质条件不易控制, 鱼类易受到其他因素影响而产生应激反应等; 即使是相同的品种, 不同的生长阶段研究结果也不相同^[11]。

高体革鲷 (*Scortum barcoo*) 又称澳洲高体革鲷 (jade perch), 隶属于鲈形目 (Perciformes) 鲷

科 (Theraponidae) 革鲷属 (*Scortum*), 具有生长速度快、抗病性强、出肉率高和营养价值高等特点, 是澳大利亚久负盛名的淡水鱼, 在澳大利亚、日本、韩国、香港、东南亚以及欧盟等地非常受欢迎。青岛现代农业开发中心于 2001 年首次从澳大利亚引进高体革鲷, 并对其生物学特性和养殖技术进行了初步研究^[12], 此后国内开展的关于高体革鲷的研究主要集中于苗种培育^[12]、成鱼养殖^[13-15]及营养饲料需求^[16-17]等方面。目前国内多以池塘养殖^[13]、网箱养殖^[14]和循环水养殖^[12]为主, 但关于高体革鲷养殖密度的研究国内外尚未见报道。本研究以体重 50~100 g 的高体革鲷鱼种为试验对象, 在半封闭的循环水养殖系统中进行了为期 45 d 的养殖试验, 选择生长、生产及生理指标作为适宜密度的评价指标体系, 旨在为高体革鲷养殖的生理生态学研究提供科学依据。

收稿日期: 2011-09-16 修回日期: 2011-12-01

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(201003024); 上海市教育委员会科研创新项目(11YZ150)

作者简介: 罗国芝(1974—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为水产养殖水处理和循环水养殖系统与工程。E-mail: gzhluo@shou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 试验鱼及暂养

在 2008 年 6 月 15 日,从广东佛山市南海区西交显恒水产农业有限公司买进规格为 0.3 ~ 0.4 g 的鱼苗。在中国水产科学研究院渔业水体净化技术和系统研究重点开放实验室进行试验。驯养期间水温维持在 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$,溶解氧为 $(5 \pm 1)\text{mg/L}$,pH 为 7.5 ± 0.1 ,总氨氮(TAN) $< 4.6\text{mg/L}$,亚硝酸盐($\text{NO}_2\text{-N}$) $< 1.5\text{mg/L}$ 。暂养 3 个月 后,体重达 50 g 左右,开始进行分组。试验在 6 个体积为 500 L 水体、配有浸没式生物过滤器的循环水玻璃缸中进行。

1.2 试验设计

根据暂养期间鱼的摄食和水质的变化,试验设计 3 个密度组,分别为低密度组 5kg/m^3 、中密度组 13kg/m^3 和高密度组 18kg/m^3 ,每个密度设一平行组。分组后观察鱼的摄食状况,待鱼摄食正常后,开始试验。试验从 2008 年 10 月 16 日 - 12 月 1 日。在试验第 15 d(2008 年 11 月 1 日, P1)和第 45 天(2008 年 12 月 1 日, P2)分别抽取血样,第 45 天时取样测试试验鱼的体长和体重。

1.3 试验条件

试验期间保持各水质指标范围与暂养时相同。每天上午 10:00 和下午 15:00 取水样检测主要水质指标并保持各个养殖池中水质指标水平的基本一致。水质超过预定指标就换水,并记录换水量。试验中后期不定期使用纯氧满足中高密度组养殖槽中氧气需求。按鱼体重的 2% ~ 3% 投喂配合饲料,每天 9:00、15:00 和 19:00 进行投喂,记录投饵量。所用饲料为苏州通威特种饲料有限公司生产的鱼用配合饲料,饲料组成:粗蛋白 45.0%,脂肪 8.0%,水分 3%,钙 1.8%,磷 1.5%,赖氨酸 $\geq 2.9\%$,蛋氨酸 $\geq 1.4\%$ 。试验期间采取自然光照。

1.4 测定指标

1.4.1 取样

分别于 2008 年 11 月 1 日和 12 月 1 日在每个缸中取 8 尾鱼,进行试验鱼体重、体长和血清的采集。取样前停食 1 d。取样时迅速用网捞起鱼,投放到溶解有 250 mg/L 的间氨基苯甲酸乙酯甲烷磺酸盐(3-Aminobenzoic acid ethylester methanesulfonate, MS - 222)的小容器中,整个过

程在 1 min 之内完成。然后用 1 mL 的注射器抽取血样,抽完后进行全长和体重的测量。血样于 4°C 下离心,然后放入冰箱的冷藏室 -20°C 保存,送上海达安医学检测中心,12 h 内检测。取样完成后减少水量,以保证单位水体的鱼的数量不变。

1.4.2 生长指数计算

根据测得的体长、体重以及记录的投饵量和换水量,进行下述参数计算:

$$D_{\text{DWG}} = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

$$T_{\text{TAW}} = (W_2 - W_1) \times n \quad (2)$$

$$S_{\text{SGR}} = [(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)] \times 100 \quad (3)$$

$$F_{\text{FC}} = F / (W_2 - W_1) \quad (4)$$

式中: D_{DWG} 为个体日增重; T_{TAW} 为总增重; S_{SGR} 为特定生长率; F_{FC} 为饵料系数; W_1 、 W_2 为取样时间 t_1 和取样时间 t_2 时的平均体重(g); n 为鱼尾数; F 为总投饵量(g)。

1.4.3 皮质醇检测

血清皮质醇(ng/mL)的测定采用酶联免疫法^[18](ELISA analyzer, BIO - TEK ELX - 800),试剂盒名称:鱼补体 COR 定量酶联免疫检测试剂盒(QRCT - 3013331321131 EIA \ UTL),购自上海史瑞可生物技术有限公司。

1.4.4 C3 检测

鱼补体 C3 采用酶联免疫吸附法 ELISA 检测(单位 g/L, QRCT - 301330010021 EIA \ UTL),购自上海史瑞可生物技术有限公司。

1.4.5 谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)检测

谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)(单位:U/L)采用紫外速率法检测(HITACHI 7600 - 010 全自动生化分析仪);试剂盒名称:谷草转氨酶测定试剂盒(AST),谷丙转氨酶测定试剂盒(ALT),日本 WAKO 品牌,购自上海日和贸易有限公司。 4°C 下测试。

1.4.6 水质指标

pH,水温、溶解氧用 YSI - 556 测定;总氨氮和亚硝酸盐($\text{NO}_2\text{-N}$)的测定参照 APHA^[19]。

1.5 数据分析

用 Excel 软件进行数据统计分析。用单因素方差分析法(a one-way analyses, ANOVA)进行差异显著性检验。 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 生长指标

试验期间各密度处理组的存活率都是 100%, 但不同密度处理组之间的生长差异明显。低密度组的最终体重、日增重和特定生长率均高于中密度组和高密度组(表 1)。高密度组的饵料系数为 3.1, 明显高于中密度组(1.7)和低密度组(0.9)。

表 1 3 种密度组的高体革鲷生长参数

Tab. 1 Parameters of growth in jade perch of stocking density experiment replicates

项目	低密度组	中密度组	高密度组
初始密度/(kg/m ³)	5	13	18
最终密度/(kg/m ³)	9.7	23	27
初始体重/g	65.62 ± 1.97 ^a	68.82 ± 2.94 ^a	64.63 ± 3.49 ^a
最终体重/g	96.62 ± 2.99 ^a	88.62 ± 6.81 ^{ab}	75.54 ± 6.36 ^b
体重日增重/g	0.69	0.44	0.24
体重特定生长率	0.864	0.561	0.346
饵料系数	0.9	1.7	3.1
存活率/%	100	100	100

注:同一行中参数上方相同字母代表无显著性差异,不同则有显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 血清中皮质醇浓度

各密度组试验鱼血清中皮质醇浓度见图 1。11 月 1 日(P1)测试时,低密度组和高密度组的皮质醇含量差异显著($P = 0.026$),低密度组和中密度组之间($P = 0.055$)、中密度组和高密度组之间($P = 0.798$)差异不明显;12 月 1 日取样时,3 个密度组试验鱼的血清中的皮质醇的含量没有明显差异,而与 11 月 1 日相比,各密度组的皮质醇浓度均显著下降。

2.3 血清中补体 C3

各密度组试验鱼血清中补体 C3 浓度见图 2。11 月 1 日(P1)取样时,各密度组试验鱼血清中 C3 含量差异不明显。试验结束时(第 45 天,P2)时,中密度组与高密度组的试验鱼血清 C3 浓度没有显著差异,低密度组试验鱼血清 C3 浓度要明显高于中密度组和高密度组($P = 0.02$)。

2.4 血清中谷丙转氨酶和谷草转氨酶浓度

11 月 1 日取样时(P1),3 个密度组之间试验鱼的血清中 ALT 和 AST 的浓度有显著差异($P < 0.05$);在 12 月 1 日取样时(P2),高密度组的 ALT 和 AST 与低密度组和中密度组的 ALT 和

AST 的差异显著($P < 0.05$),而低密度组和中密度组间则无明显差异。中密度组的 AST 显著下降,高密度组的 ALT 和 AST 则显著上升(图 3)。

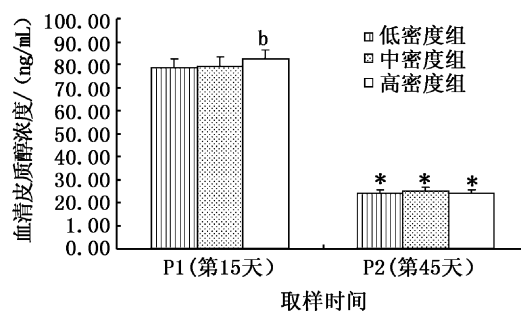


图 1 3 个密度组中高体革鲷血液中皮质醇浓度
Fig. 1 The serum cortisol level of jade perch in three density groups

不同的字母表示差异显著性; * P1vs P2; b 低密度组 vs 高密度组。

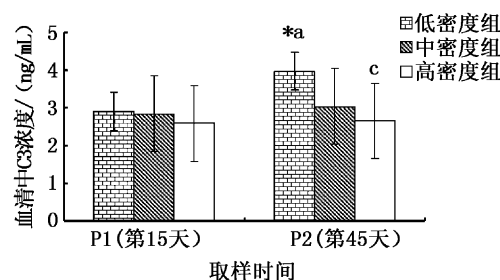


图 2 各密度组高体革鲷的血清 C3 浓度
Fig. 2 The serum C3 level of jade perch in three density groups

不同的字母标注表示差异显著性; * P1vs P2; a 低密度组 vs 中密度组; c 中密度组 vs 高密度组。

2.5 试验期间的水质指标

尽管试验期间尽力的维持各密度组的水体状况,但高密度组的水质仍要明显比低密度组和中密度组差。试验期间的水质状况见表 2。

2.6 各密度组生产成本估算

根据本试验养殖密度和鱼体增重情况可以估算中密度组的总增重为 5.1 kg, 高于低密度组的 3.1 kg 和高密度组的 3.93 kg。根据记录的试验期间所用的耗水量和各密度组的增重情况,可以估算出低、中、高密度组的试验鱼单位增重的耗水量分别为 49 L/kg、191 L/kg 和 693 L/kg。购买时每尾鱼苗的价格是 1.5 元,则试验期间,低、中、高密度组的鱼苗的成本价分别是 150 元、390 元和 540 元。如果按照饵料的购置价格

(3 000 元/t)估算,则 3 个密度组的饲料总成本是 8.4 元、27.3 元和 36.5 元。每立方养殖水的价格按照 2 元计算,则 3 个密度组的水成本支出分别为 3 元、7.4 元和 15.1 元。因为是大规格苗种所以每千克增重的价格要高于商品鱼,本试验中如果每千克试验鱼增重的价格按照 200 元估算,则 3 个密度组试验期间总产值分别为 310 元、

515 元和 393 元。试验期间生产性人力性投入主要是换水工作,因试验规模较小,可以忽略不计。试验过程中,3 个密度组的设备使用成本和电力成本相同,估算为 50 元。高密度组在养殖后期充了纯氧(30 元)。则 3 个密度组的可比较的最后收益分别为:374.7 元、555.3 元和 114.4 元。

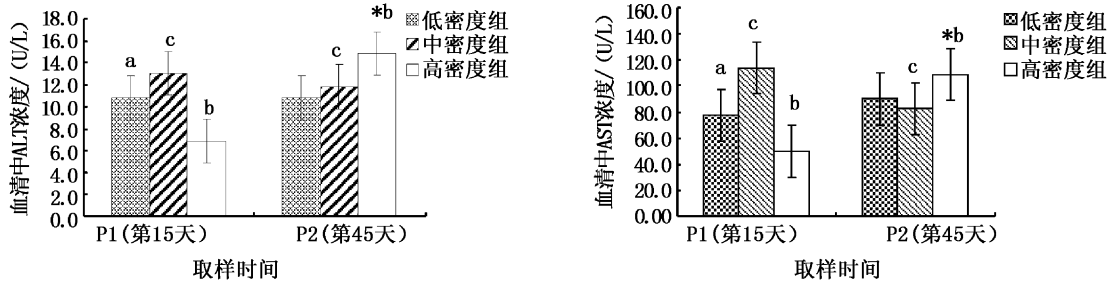


图3 各密度组高体革鲷的血清中 ALT 和 AST 浓度

Fig. 3 The serum ALT and AST level of jade perch in three density groups

不同的字母表示差异显著性: * P1vs P2; a 低密度组 vs 中密度组; b 低密度组 vs 高密度组; c 中密度组 vs 高密度组。

表2 试验期间水质状况

Tab. 2 The water quality of three density groups

水质指标	低密度组	中密度组	高密度组
T/°C	23.86 ± 1.27	23.79 ± 0.15	23.64 ± 0.15
DO/(mg/L)	5.56 ± 0.10	4.41 ± 0.14	4.31 ± 0.12
pH	7.55 ± 0.01	7.48 ± 0.01	7.58 ± 0.02
TAN/(mg/L)	0.71 ± 0.20	1.05 ± 0.32	2.08 ± 0.55
NO ₂ -N/(mg/L)	0.10 ± 0.02	0.57 ± 0.20	1.29 ± 0.11

3 讨论

集约化水产养殖因明显提高单位水体的鱼

载量而逐渐成为水产养殖业主要的生产模式^[20]。养殖户希望通过尽量高的密度来提高经济效益,但高密度对某些鱼类有明显的胁迫效应。所以,选择适宜的养殖密度是降低养殖风险、提高养殖效益的重要保证。因为密度研究比较困难,影响因素太多,直接影响最后结果的精确性,所以关于水产养殖适宜养殖密度的研究开展得不多。本研究选择了生长、生理和生产效果指标,评价养殖密度的适宜性。此外,选择循环水养殖系统作试验系统,是为了避免除密度以外其他因素对试验结果产生影响。

表3 试验期间3种养殖密度的成本估算

Tab. 3 The cost analysis of three densities during experimental period

指标	养殖密度	低密度组	中密度组	高密度组
总耗水量/L	1 512	3 780	7 560	
单位产量耗水量/(L/kg)	49	191	693	
单位产量的苗种成本/(元/kg)	48	76	137	
单位产量的投饵量/kg	0.9	1.7	3.1	
总增重/kg	3.10	5.15	3.93	
总产值/元	620	1 030	786	
总饲料成本/元	8.4	27.3	36.5	
总鱼苗成本/元	150	390	540	
总用水成本/元	3.0	7.4	15.1	

3.1 密度对养殖鱼类的胁迫方式

研究者对于养殖密度对养殖鱼类的影响机理的了解还不全面,推测认为养殖密度对鱼类的影响通过物理的、或者化学的、或者社会的胁迫对鱼类产生生理的影响。这种影响因为种类的不同而有不同的表现形式^[21]。一般认为养殖密度对鱼类的影响可能主要通过两种方式:(1)随着养殖密度的增加导致养殖水体的水质恶化,包括溶解氧浓度(DO)降低、二氧化碳(CO₂)、氨态氮(NH₃)含量上升等,对鱼类直接造成胁迫作用;(2)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,长期的慢性应激反应使动物的生理状况发生变化。在多数有关鱼类养殖密度的研究中,一般都认为将水体的理化因子控制在适宜范围内,所以有关密度对鱼类影响的研究结果,一般都认为是由于高密度所造成的拥挤效应(crowding stress)直接引起了生物体的生理应激,进而影响了其摄食、生长、发育和能量代谢等过程。但是养殖密度是一个非常复杂的操作因子,包含了很多其它的相互关联的因素,比如水质状况、生存空间和食物的可得性等^[18]。本研究中尽管尽力维持各密度组的养殖水体的水质指标的一致,但高密度组的水质仍然要比低密度组和中密度组的水质状况差。即使可能因为养殖水体的理化因子对养殖对象直接产生了胁迫,但是因为密度是各密度组间的唯一不同的操作因素,水质状况的恶化也是因为密度因素导致的,所以认为水质的恶化对试验鱼的胁迫也是密度的胁迫效应的一种表现形式。

水质的影响是能够用科技和工程学来解决的,而鱼的数量包含了鱼与鱼之间的相互关系,而鱼和鱼之间的直接接触造成的胁迫是没有办法解决的。FRECHETTE^[22]提出,养殖密度试验中更重要的是要保持单位水体中的鱼的数量,而不是单位养殖水体的鱼的重量。本试验过程中主要以单位养殖水体的鱼体的个数作为养殖密度的单位。

3.2 密度对试验鱼的生长指标的影响

KJARTANSSON等^[23]发现在从35~125 kg/m³的3种不同密度下的商品规格的大西洋鲑(*Salmo salar*)生长率几乎一致。但SURESH和LIN^[24]试验表明,低密度组中的银鳟的生长显著地快于高密度组。本试验中不同养殖密度试验

组中的试验鱼的生长参数表现出显著性差异(表1),其最终体重、 S_{SGR} 和 D_{DWG} 都随着养殖密度的增大而显著降低。但是低密度组与中密度组,中密度组与高密度组之间差异不显著,只有低密度组与高密度组之间差异显著($P < 0.05$)。本试验过程中,每单位水体的鱼的个数保持不变。随着养殖时间的延长,3种养殖密度组的水槽的重量负载都在一直增加。试验结束时的各密度组中的负载分别为9.7 kg/m³、23.04 kg/m³和27.19 kg/m³,对于大规格鱼种培育来说,密度还是比较高的。

3.3 密度对试验鱼的生理指标的影响

补体是抵抗微生物感染的重要成分,C3是补体系统的主要成分^[25]。从图3可以看出,试验鱼血清中C3呈现随养殖密度的增加而减小的趋势。王文博等^[26]指出高强度的拥挤胁迫对草鱼的血清杀菌活性造成了极大抑制,并推测胁迫可能也引起了补体活性或浓度的下降,或者是补体中某些蛋白组分的失活,从而阻断了补体的激活途径。本试验结果证实了拥挤胁迫引起了补体浓度的下降,与ROTLLANT等^[27]对真鲷(*Pagrus pagrus*)的结果一致。MONTERO^[28]也报道经过长时间的拥挤,金头鲷(*Sparus aurata* Teleostei)补体活性降低了。YIN等^[29]报道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。

在环境胁迫条件下,养殖动物的下丘脑-脑垂体-肾间组织(HPI)轴受到连续刺激,从而导致体内激素水平发生明显变化^[30]。皮质醇是HPI轴受到刺激后所分泌的主要激素之一^[18]。ROTLLANT等^[27]和TORT等^[25]得出地中海有鳍鱼类红鲷鱼(*Pagrus pagrus*)在20 kg/m³中养殖比在7 kg/m³中养殖的血清皮质醇水平要高,相似的研究有关于海鲷(*Sparus aurata*)在40 kg/m³中养殖15周,血清皮质醇水平要明显高于在10 kg/m³中养殖的血清皮质醇水平^[4]。有结果显示,长期在高密度养殖环境下的海鲷(*Sparus aurata*)幼鱼皮质醇水平也会有显著的升高^[28]。而在本试验中,养殖密度从100尾/m³到360尾/m³的45 d的养殖过程中,在养殖初期取样时(15 d)血清皮质醇和在试验末期取样的皮质醇浓度有下降的趋势,其中高密度的血清皮质醇与低密度相

比有轻微的升高,虽然没有显著性的差异。到试验的后期各密度组之间没有显著的差异,这与 MARCO 和 PRIORI^[7]对海鲷(*Sparus aurata*)得出的结论相似。然而,有的研究却表明,慢性胁迫对鲤鱼血清中皮质醇并未产生显著影响^[31]。本试验中,试验结束时,各密度组中试验鱼血清中的皮质醇含量均明显低于第一次取样时试验鱼血清中皮质醇浓度,而且各密度组试验鱼血清中皮质醇的浓度间的差异显著性降低,这可能是由于试验时间的延长,试验鱼对外界的环境发生了适应性的反应,从而导致血液中皮质醇的水平降低。在试验初期(P1),高密度组试验鱼血清中 ALT 和 AST 与其它两个密度组有显著性的差异,而在试验的末次取样中(P2),各个密度组之间没有显著性的差异,这说明高体革鲮对养殖密度产生的胁迫有一定的适应能力。

3.4 放养密度对养殖水体的影响

高密度养殖槽中的水质由于投饵量大,配置的生物过滤器不能很好的降低水体中的氨氮,并且氧气的供应也出现问题,氨氮升高的很快,氧气的消耗也很明显。试验过程中每天 2 次检测水质,发现有氨氮升高的现象马上换水,更新水质,以保证高体革鲮在一个较为合适的环境中生存。低密度组养殖水体的水质较易维持稳定。

从各密度组的生长指标情况看,低密度组和中密度组间差异不明显,而和高密度组间差异明显。对皮质醇、补体 C3、谷草转氨酶和谷丙转氨酶的检测和分析表明,低密度组和中密度组的生理状态也明显好于高密度组,低密度组和中密度组间差异则不明显。所以,本试验条件下,50 ~ 100 g 的高体革鲮苗种的比较适宜的养殖密度是 260 尾/m³。需要指出的是,决定养殖密度的因素有很多,养殖密度的确定是一个非常复杂的过程。我们在进行各密度组养殖成本估算时发现,养殖苗种的价格和养殖商品鱼的价格是影响成本估算的主要因素。所以,在循环水、高密度养殖中应选择高附加值的养殖品种。适宜养殖密度的确定是养殖者获得养殖效益的关键因素之一。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] YIN M C. The fish ecology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 43 - 44.
- [4] RAMSAY J M, FEIS G W. Whole-body cortisol is an indicator of crowding stress in adult zebrafish (*Danio rerio*) [J]. Aquaculture, 2006, 258: 565 - 574.
- [5] SAMMOUTH S, D'ORBCASTEL E R. The effect of density on sea bass (*Dicentrarchus labrax*) performance in a tank-based recirculating system [J]. Aquaculture Engineering, 2009, 40: 72 - 78.
- [6] 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.
- [7] MARCO P D, PRIORI A. Physiological responses of european sea bass (*Dicentrarchus labrax*) to different stocking densities and acute stress challenge [J]. Aquaculture, 2008, 275: 319 - 328.
- [8] MOLNAR T, HANCZ C. The effect of initial stocking density on growth and survival of pike-perch fingerlings reared under intensive conditions [J]. Aquaculture International, 2004, 12: 181 - 189.
- [9] 张磊, 樊启学, 赵志刚, 等. 慢性拥挤胁迫对鲤鱼生长及血液生化指标的影响 [J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(6): 465 - 469.
- [10] NORTH B P, TURNBULL J F. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2006, 255: 466 - 479.
- [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] 王兰明, 张婧一, 郑玉珍, 等. 欧洲宝石石鲈鱼种培育技术 [J]. 内陆水产, 2008, 33(6): 10 - 11.
- [13] 胡少锋, 李良生. 澳洲宝石石鲈池塘主养技术 [J]. 水产科技, 2008(2): 9 - 10.
- [14] 韩学明. 澳洲宝石石鲈网箱高产养殖试验 [J]. 科学养鱼, 2009(6): 33.
- [15] 刘艳红, 罗国芝, 孙佩英, 等. 在闭合循环水养殖系统中养殖高体革鲮的效果 [J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(2): 130 - 134.
- [16] 王兰明, 宋理平, 朱永安, 等. 饲料蛋白水平对宝石鲈增重和体成分的影响 [J]. 淡水渔业, 2008, 38(4): 76 - 79.
- [17] 宋理平, 冒树泉, 王爱英, 等. 芽孢杆菌对宝石鲈生长和肠道菌群的影响 [J]. 饲料工业, 2008, 29(8): 23 - 24.
- [18] ELLIS T, NORTH B, SCOTT A P, et al. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout [J]. Journal of Fish Biology, 2002, 61: 493 - 531.
- [19] APHA. Standard methods for the examination of the water and waste water [C] // 22nd. American Public Health

- Association, Washington, DC, 1998: 135 - 147.
- [20] SCHRAM E, VAN DER HEUL J W, KAMSTRA A, et al. Stocking density-dependent growth of dover sole (*Solea solea*) [J]. *Aquaculture*, 2006, 252:339 - 347.
- [21] MOMMSEN T P, VIJAYAN M M, MOON T W. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1999, 9:211 - 268.
- [22] FRECHETTE M. A comment on the methodology of stocking experiments [J]. *Aquaculture*, 2005, 250:291 - 299.
- [23] 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.
- [24] SURESH A V, LIN C K. Effect of stocking density on water quality and production of red tilapia in a recirculated water system [J]. *Aquaculture Engineering*, 1992, 11:11 - 22.
- [25] TORT L, BALASCH J C, MACKENZIE S. Fish health challenge after stress. Indicators of immunocompetence [J]. *Contributions to Science*, 2004, 2(4):443 - 454.
- [26] 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.
- [27] ROTLLANT J, PAVLIDIS M, KENTOURI M. Non-specific immune responses in the red porgy (*Pagrus pagrus*) after crowding stress [J]. *Aquaculture*, 1997, 156:279 - 290.
- [28] MONTERO D, MARRERO M, IZQUIERDO M S. Effect of vitamin E and C dietary supplementation on some immune parameters of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles subjected to crowding [J]. *Aquaculture*, 1999, 171:269 - 278.
- [29] YIN Z, LAM T J, SIN Y M. The effects of crowding stress on the non specific immune response in fancy carp (*Cyprinus carpio L.*) [J]. *Fish and Shellfish Immunology*, 1995, 5: 519 - 529.
- [30] BARTON B, IWAMA G K. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids [J]. *Annual Review of Fish Diseases*, 1991, 1:3 - 26.
- [31] RUANE N M, KOMEN H. Measuring cortisol in the water as all indicator of stress caused by increased loading density in common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Aquaculture*, 2003, 218:685 - 693.

The stocking density of *Scortum barcoo* juveniles in the semi-recirculating aquaculture system

LUO Guo-zhi, LIU Gang, TAN Hong-xin

(College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The influence of density on the welfare of juvenile jade perch during the 50 - 100 g growth stage was investigated in this paper. The experiment was conducted in tanks equipped with a biological filter, and two tanks for each density were used. The three densities studied were low density (LD, 100 fish/m³, 5 kg/m³), medium density (MD, 260 fish/m³, 13 kg/m³), and high density (HD, 360 fish/m³, 18 kg/m³). The experiment lasted 45 d. The welfare of the fish was studied by recording growth and physiological parameters during the whole period. Within the size and density range tested, fish welfare was impacted negatively by increasing density. The serum cortisol, alanine aminotransferase (ALT) activity, and aspartate aminotransferase (AST) activity levels differed significantly ($P < 0.05$) among the three densities in 15 d, but at the end of the experiment (45 d) the significance disappeared. The effect of density on the serum C3 level was delayed, and a significant difference was not detected until the experiment ended. The body weight showed a significant difference among the three densities. The average body weight of the LD group was 96.62 ± 2.99 g, and that of the HD group was (75.54 ± 6.36) g. The results showed that although the perch in this study were able to withstand the negative effects of high stocking density, it still influenced the fish's growth.

Key words: jade perch; juvenile; stocking density; stress; semi-recirculating aquaculture