

文章编号: 1004-7271(2007)05-0437-06

在循环养殖系统中不同溶氧量 对虹鳟幼鱼代谢水平的影响

吴 垠, 张 洪, 赵慧慧, 李 韬

(大连水产学院农业部海洋水产增养殖学与生物技术重点开放实验室, 辽宁 大连 116023)

摘 要:在循环养殖系统中设置四种溶氧水平,分别为7.05、8.82、11.84和15.80 mg/L,其中8.82 mg/L为对照组,对虹鳟幼鱼(体长13.0~18.5 cm)的代谢水平及生长率进行了研究。结果表明,饲养30 d后7.05 mg/L的低溶氧使虹鳟幼鱼耗氧率和排氨率下降,11.84和15.80 mg/L溶氧下饲养的鱼耗氧率明显增加,15.80 mg/L使鱼的排氨率显著高于对照组。并且11.84和15.80 mg/L组虹鳟幼鱼在24 h内都具有高的代谢水平。随着溶氧量提高,虹鳟幼鱼的增重率、特定生长率和饲料转化率均随之升高,表现出生长指标的明显变化。

关键词:虹鳟;封闭式循环养殖系统;溶氧;代谢

中图分类号:S 965.122 文献标识码:A

Effects of different dissolved oxygen concentration on metabolic level of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the recirculating systems

WU Yin, ZHANG Hong, ZHAO Hui-hui, LI Tao

(Key Laboratory of Mariculture and Biotechnology, Agriculture Ministry,
PRC, Dalian Fishery Univ, Dalian 116023, China)

Abstract: The metabolic level and growth rate of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under four dissolved oxygen concentration (7.05 mg/L, 8.82 mg/L of 100% saturation, 11.84 mg/L and 15.80 mg/L, respectively) were investigated. The fish (mean initial body length 13.0–18.5 cm) was reared in closed recirculated water for 30 days. The results showed the rates of oxygen consumption and ammonia excretion reduced obviously in fish experiencing hypoxia condition (7.05 mg/L). At hyperoxic conditions (11.84 and 15.80 mg/L), the rates of oxygen consumption increased significantly, and the rates of ammonia excretion were much higher at hyperoxic (15.80 mg/L) conditions compared to 8.82 mg/L normoxic saturations. In addition, there were actual changes in growth indexes that the growth gain rate, special growth rate and food conversion efficiency showed a clear enhancing tendency, with the increase of dissolved oxygen.

Key words: rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*); closed recirculating system; dissolved oxygen concentration; metabolic level

收稿日期:2006-10-13

基金项目:辽宁省科技厅攻关项目(990368);农业部“948”资助项目(203112)

作者简介:吴 垠(1962-),女,江苏宜兴人,教授,主要从事水生生物学及水产养殖工艺学的研究。E-mail: wuyin@dlfu.edu.cn

封闭式工厂化养鱼系统是采用现代化的养殖设施,造就养殖品种适宜的生存环境,通过水处理技术,实现养殖用水的循环利用,以节约资源和能源^[1-2]。但这种养殖水的循环利用,使溶解氧含量不断减少,鱼类生活在这种逆境胁迫下直接导致生长速率、饵料利用率和抗病能力下降^[3-4],因此水中溶解氧含量是制约这种生态条件下养殖鱼类达到最大生长率和最佳养殖密度的关键因素之一。

虹鳟是世界性养殖的珍贵冷水性鱼类之一,其营养丰富,生长快,饲料利用率高。但虹鳟属喜氧鱼类,养殖负载量受水流量和溶氧量控制,本文采用封闭式循环系统养殖虹鳟,从调节溶氧水平出发,对溶解氧与虹鳟生长及能量代谢机制进行研究,以期为虹鳟在陆基封闭式工厂化养殖方面提供一些参考依据,也为封闭式循环养殖系统中鱼类的高密度精养模式提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验系统构成

试验在大连水产学院农业部水产增养殖学与生物技术重点实验室中进行。封闭式循环养殖系统由试验水槽(80 cm × 40 cm × 50 cm)、固液分离器、加热制冷机、气体发生器、生物反应槽、紫外消毒机等单元组成,工艺流程见图1。实验由4个独立的功能单元构成,每个单元由气体发生器提供一定比例的氧气和氮气,使水中溶氧浓度维持在1组(7.05 ± 0.47) mg/L(低氧组,为正常溶氧含量的80%),2组(对照组,充空气)(8.82 ± 0.58) mg/L,3组、4组为高氧组,溶氧分别为(11.84 ± 1.22) mg/L和(15.80 ± 1.50) mg/L,是正常溶氧含量的135%和180%。每个溶氧水平设2个平行组。

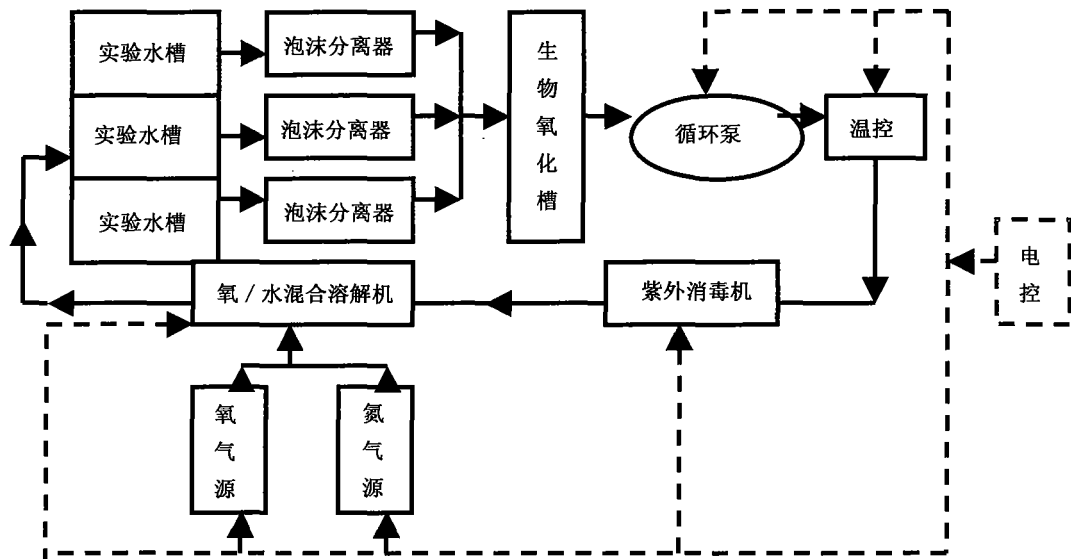


图1 封闭式循环养殖系统配置及工艺流程图

Fig.1 The scheme diagram and technologic flow chart for the system of closed circulating aquaculture

1.2 试验鱼来源与饲养

试验用鱼取自本溪市虹鳟鱼良种场,体重 35.27 ~ 38.43 g,体长 13.0 ~ 18.5 cm。试验鱼运回后先暂养于 4 m³ 养殖池中,待适应后挑选大小均匀,体质健壮个体随机分组饲养于实验水槽中,每箱 10 尾鱼,试验期间水温控制在 (13.8 ± 0.45) °C,盐度 0.2,pH (7.5 ± 0.1),氨氮 < 12.36 μg/L,亚硝酸盐含量 (2.24 ± 0.99) μmol/L。试验持续 30 d,每天在 7:30 和 16:30 投喂二次虹鳟鱼专用饲料,投喂量为鱼体重 3%,饲料营养组成为:水分 4.73%、蛋白质 47.10%、粗脂肪 3.60%、灰分 10.60%。

每天定时监测试验槽中的溶氧量,调整充气流量使溶氧维持在试验范围内,系统日换水量低于 5%。

1.3 测定指标

1.3.1 生长指标

饲养实验结束后,对各实验组鱼逐一进行称重、量体长,测定其增重率 $WG(\%)$ 、特定生长率(SGR)和饲料转化率(FCE)。计算公式如下:

$$WG(\%) = 100 \times [W_1(g) - W_0(g)] / W_0(g)$$

$$SGR(\%/d) = (\ln W_1 - \ln W_0) / T$$

$$FCE(\%) = (W_1 - W_0) \times 100 / F$$

W_1 、 W_0 分别为终末和初始鱼体平均湿重, T 为实验持续时间(30 d), F 为摄食量(干重)。

1.3.2 耗氧率和排氮率的测定

在试验进行至 10、20、30 d 进行虹鳟幼鱼耗氧率和排氮率的测定。取空腹 24 h 以上的各试验组鱼 3 尾,称湿重后放于流水式呼吸室(1 L)中,呼吸室水温(13.5 ± 0.5) °C,每个溶氧浓度设置 4 个重复,同时设 1 个空白对照组。测定耗氧量,每隔 2 h 取水样一次,测定入水口与出水口溶氧量及水流速度,连续测定 24 h,耗氧率计算公式如下: $RO_2 = (DO_x V_x - DO_0 V_0) / DW$,式中 RO_2 为耗氧率($mg/g \cdot h$); DO_x 为试验组出、入口水样中溶氧量的变化(mg/L); DO_0 为空白组出、入口水样中溶氧量的变化(mg/L); V_x 为试验组水流速度(L/h); V_0 为空白组水流速度(L/h); D_w 为鱼体湿重(g)。

排氮率与耗氧率同时进行,氨氮含量用奈氏试剂法测定,计算公式为:

$RNH_3 = (N_x V_x - N_0 V_0) / DW$,式中 RNH_3 为排氮率($\mu g/g \cdot h$); N_x 为试验组出入口水样中 NH_4-N 量变化值($\mu g/L$); V_x 为试验组水流速度(L/h); N_0 为空白组出、入口水样中 NH_4-N 量变化($\mu g/L$); V_0 为空白组水流速度(L/h)。

1.3.3 数据统计方法

采用 SPSS10.0 进行单因子方差分析及 Duncan 氏多重比较分析,以 $P < 0.05$ 作为差异显著性水平。

2 结果

2.1 生长效果

水中溶解氧在 7.05 ~ 15.80 mg/L 范围内,随着溶氧浓度提高,虹鳟幼鱼的增重率、特定生长率和饲料转化率均随之升高(表 1)。且增重率和特定生长率四组间差异显著($P < 0.05$),饲料转化率在高溶氧的两组间差异不显著($P > 0.05$),而低氧组(1 组)与对照组相比 FCE 值降低显著($P < 0.05$),降低幅度为 31.6%。

表 1 溶氧水平对虹鳟幼鱼生长的影响(均值 \pm 标准误)

Tab. 1 Effects of growth performance of juvenile rainbow trout at different dissolved oxygen levels

溶氧 (mg/L)	初重(g)	终重(g)	增重率($\%$)	特定生长率($\%/d$)	饲料转化率($\%$)
1 组 7.05 ± 0.47	36.06 ± 1.81	46.39 ± 1.74	28.6 ± 2.33^d	1.21 ± 0.08^d	38.3 ± 4.58^c
2 组 8.82 ± 0.58	36.61 ± 0.96	48.55 ± 1.59	32.6 ± 1.96^c	1.38 ± 0.07^c	56.0 ± 6.61^b
3 组 11.84 ± 1.22	35.78 ± 0.47	50.25 ± 2.69	40.4 ± 1.05^b	1.55 ± 0.05^b	63.4 ± 2.35^a
4 组 15.80 ± 1.50	36.36 ± 0.84	53.06 ± 2.36	45.9 ± 2.05^a	1.73 ± 0.08^a	68.8 ± 3.25^a

注:每一列上标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

2.2 耗氧率的变化

各组鱼的耗氧率值均呈现明显的日变化规律,其中高峰时间出现在上午 8:00 - 10:00 和晚上 18:00 - 20:00,为常规投饲时间后的 1 ~ 4 h 内,各组耗氧率均在 22:00 达到最低值,其次是下午 14:00 (图 2)。

图 3 为虹鳟幼鱼经不同溶氧水平饲养 10、20 和 30 d 时耗氧率变化结果。第 10 天,各试验组鱼的耗

氧率与对照组相比均无明显差异($P > 0.05$),第20天,15.80 mg/L 溶氧组鱼的耗氧率明显高于其它各组 ($P < 0.05$),饲养30 d时,随着溶氧水平升高各组虹鳟幼鱼耗氧率明显增加($P < 0.05$)。

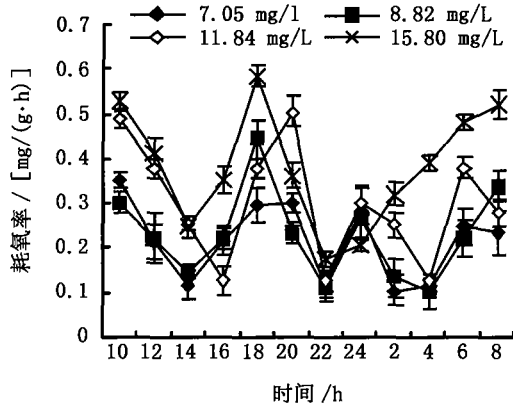


图2 四种溶氧水平饲养30 d 虹鳟幼鱼耗氧率的昼夜变化

Fig.2 The diurnal variation of oxygen consumption rate of juvenilerainbow trout cultured 30 d in different dissolved oxygen concentration

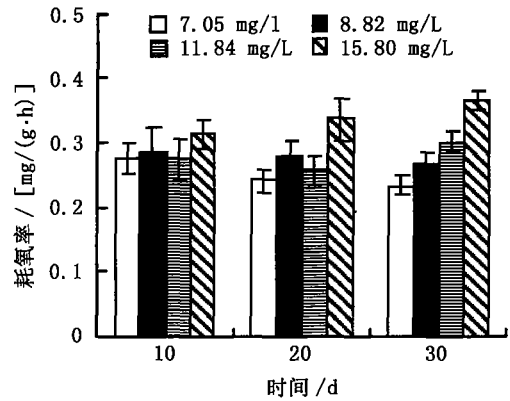


图3 四种溶氧水平下虹鳟幼鱼耗氧率值比较

Fig.3 Comparison of oxygen consumption in juvenile rainbow trout cultured in four dissolved oxygen concentrations

2.3 排氨率的变化

图4为虹鳟幼鱼经四种溶氧条件饲养30 d后排氨率的昼夜变化。结果可见,四组鱼排氨率昼夜变化规律明显,最低值均出现在凌晨2:00,以后逐渐升高,上午8:00-10:00形成1天中第一个排氨率高峰,第二个高峰值在16:00-20:00。四个溶氧水平比较,高氧组在24 h内的大多数时间均表现出高的氨氮排泄率。

虹鳟幼鱼10、20和30 d排氨率的变化情况显示(图5),在第10、20天时,高、低溶氧组鱼的排氨率与对照组相比未见明显差异($P > 0.05$),以后随着饲养时间延长,7.05 mg/L 溶氧使鱼的排氨率明显下降,30 d测定结果表明,除11.84 mg/L 组与对照组差异不显著外,其余各组随着溶氧水平升高,排氨率明显增加(组间差异显著, $P < 0.05$)。

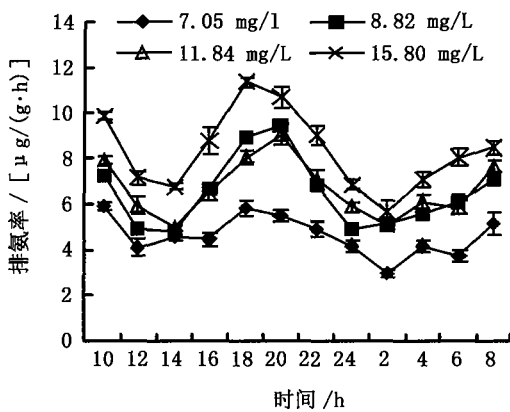


图4 四种溶氧水平饲养30 d 虹鳟幼鱼排氨率的昼夜变化

Fig.4 The diurnal variation of ammonia excretion rate of juvenile rainbow trout cultured 30 d in different dissolved oxygen concentration

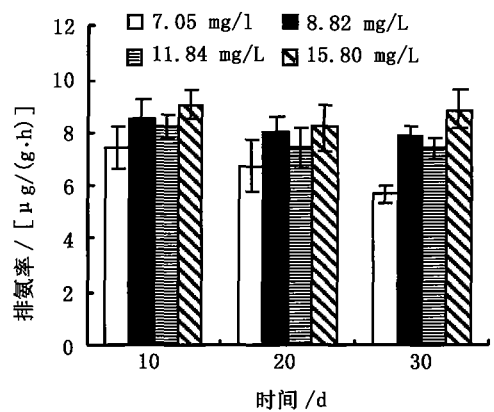


图5 四种溶氧水平下饲养虹鳟幼鱼排氨率值比较

Fig.5 Comparison of ammonia excretion rate in juvenile rainbow trout cultured in four dissolved oxygen concentrations

3 讨论

3.1 不同溶氧水平对虹鳟幼鱼生长的影响

在试验溶氧范围内,未有虹鳟幼鱼死亡发生,但出现生长指标的明显变化,表现为 7.05 mg/L 的溶氧含量使实验鱼在增重率、特殊生长率和饲料转化效率方面均明显低于对照组,而且可以观察到摄食力和活动能力减弱,这与 Buentello^[5]对斑点叉尾鲷、Papoutsoglou^[6]对罗非鱼的研究结果相一致,他们认为减少溶解氧含量能够限制鱼的摄食活动,或者改变动物体对食物的消化和吸收。Smith^[7]也认为不充足的溶解氧将影响鱼胃的消化和排空速度,由此可见水中溶解氧含量直接影响鱼体对营养物质的利用率,进而影响生长。

在本试验中,11.84 和 15.80 mg/L 的 2 个高氧组鱼经过 30 d 饲养在生长指标上较充空气的对照组有明显的增加。这表明在一定范围内溶氧利用率和生长率是呈正相关的,这些反映生长的指标随溶氧水平的升高而增加可以认为主要是对鱼体内某些生化反应过程及变化速率产生影响^[8],当水域溶氧丰富时,鱼类对氧的负荷增加,组织细胞内氧气充足,组织生理机能活跃,有氧代谢旺盛,生长率提高。

3.2 溶氧水平对虹鳟幼鱼耗氧率和排氨率的影响

已有研究证明许多种鱼类的代谢存在着内源性的昼夜节律性变化规律^[9-10]。本文对虹鳟幼鱼 24 h 的基础代谢研究也显示出具有明显的规律性,其中耗氧率和排氨率的高峰值通常在上午和下午的常规投饲时间后的 1~4 h 之内,表明这种昼夜节律性主要受光照周期、摄食特点和生活习性等影响。而且比较不同溶氧水平下虹鳟幼鱼 24 h 代谢规律可见,高氧组鱼在 1 天的大部分时间都具有高的耗氧率和氨氮排泄率,这与 Foss^[11]研究结果相似。

虹鳟幼鱼在四种溶氧水平下饲养 30 d 的结果表明,在饲养初期,低氧组和高氧组鱼的耗氧率、排氨率与对照组间没有明显差异。30 d 后 7.05 mg/L 的低溶氧使虹鳟幼鱼耗氧率和排氨率下降,2 组高氧下饲养的鱼随着溶氧水平升高耗氧率明显增加,而且 15.80 mg/L 高溶氧组鱼的排氨率显著高于对照组。说明虹鳟幼鱼的代谢率水平受水中溶氧含量的影响,高氧水中饲养的鱼有较高的耗氧率和氨氮排泄率。Foss^[11]研究花斑狼鱼 *Anarhichas minor* Olafsen 在高溶氧水中(14.5 mg/L)和正常氧(9.6 mg/L)中的每日耗氧量时发现,高氧组的耗氧率(100.5 mg/kg·h)明显高于正常组(79.9 mg/kg·h),本试验结果与此相似。但 Ruyet^[12]将大菱鲂幼鱼饲养在溶氧饱和度为 147% 和 227% 的水中 30 d,其耗氧率和氨氮排泄率与对照组鱼(饱和度为 100%)没有明显差别。这可以说明不同种鱼所生存的环境不同,基因所控制和表达的代谢类型不同,导致鱼种间对溶解氧的适应范围以及溶解氧变化时对代谢活动的影响是不同的。虹鳟属高耗氧性鱼类,喜逆水流游泳,代谢水平较高,在自然情况下当水中溶氧高于 8.5~9 mg/L 以上时食欲旺盛,生长速度快^[13]。从本试验结果可以说明,在工厂化养殖虹鳟鱼时,在一定程度上提高水中溶解氧含量对该种类的代谢率是有显著而积极的影响,并且这种影响需要一个较长的时间过程才能体现出来。

参考文献:

- [1] Devillera G, Aleaumeb C, Navac M A, et al. High-rate algal pond treatment for water reuse in an integrated marine fish recirculating system: effect on water quality and sea bass growth[J]. *Aquaculture*, 2004, 235:331-344.
- [2] 刘长发, 蔡志仁, 何洁, 等. 环境友好的水产养殖业—零污水排放循环水产养殖系统[J]. *大连水产学院学报*, 2002, 17(3):220-226.
- [3] Boleza K A, Burnett L E, Burnett K G. Hypercapnic hypoxia compromises bactericidal activity of fish anterior kidney cells against opportunistic environmental pathogens[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2001, 11:593-610.
- [4] Zhou B S, Wu R S, Randall D J, et al. Bioenergetics and RNA/DNA ratios in the common carp (*Cyprinus carpio*) under hypoxia[J]. *J Comp Physiol B*, 2001, 171:49-57.
- [5] Buentello J A, Gatlin D M, Neill W H. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 2000, 182:339-352.

- [6] Papousoglou S E, Tziha G. Blue Tilapia (*oreochromis aureus*) growth rate in relation to dissolved oxygen concentration under recirculated water conditions [J]. *Aqua Engin*, 1996, 15(3): 181 - 192.
- [7] Smith L S. Digestive functions in teleost fishes [M] // *Fish Nutrition*, 2nd edn. New York, USA: Academic Press, 1989: 332 - 421.
- [8] David H E. The physiology of fishes [M]. New York; Boca Raton London, 1998: 103.
- [9] 谢小军, 孙儒泳. 影响鱼类代谢的主要生态因素的研究进展 [J]. *西南师范大学学报*, 1989, 14(4): 141 - 149.
- [10] 唐贤明, 田景波, 潘鲁青, 等. 大菱鲆正常代谢水平及节律性的研究 [J]. *海洋水产研究*, 2003, 24(4): 7 - 12.
- [11] Foss A, Vollen T, piestad V. Growth and oxygen consumption in normal and O₂ supersaturated water, and interactive effects of O₂ saturation and ammonia on growth in spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen) [J]. *Aquaculture*, 2003, 224: 105 - 116.
- [12] Ruyet J P, Pichavant K, Vacher C, et al. Effects of O₂ supersaturation on metabolism and growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Aquaculture*, 2002, (205): 373 - 383.
- [13] 王昭明, 吴凡修, 沈希顺. 虹鳟鱼养殖 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.

欢迎订阅 2008 年《上海水产大学学报》

《上海水产大学学报》是上海水产大学主办的以水产科学为主的综合性学术刊物。主要反映自然科学各学科的科研成果, 促进学术与教学研究的交流与繁荣。主要刊载渔业资源、水产养殖和增殖、水产捕捞、水产品保鲜与综合利用、渔业水域环境保护、渔船、渔业机械与仪器、渔业经济与技术管理以及水产基础研究等方面的论文, 调查报告, 研究简报, 综述与评述, 简讯等, 并酌登学术动态和重要书刊的评价等。目前, 《上海水产大学学报》已同时被中文核心期刊要目总览定为中文核心期刊、中国科学院文献情报中心定为中国科技论文统计源期刊、中国科学技术信息研究所定为中国科技核心期刊。

本刊为双月刊, 大 16 开, 国内外公开发行人。每期定价 10 元。全年定价 60 元(含邮费)。国际标准刊号: ISSN 1004 - 7271, 国内统一刊号: CN 31 - 1613/S。国内邮发代号: 4 - 604, 国外发行代号: 4822Q。读者可在当地邮局订阅, 也可直接汇款至编辑部订阅。

编辑部地址: 上海市军工路 334 号, 上海水产大学 48 信箱

邮 编: 200090

联系电话: 021 - 65710892

传 真: 021 - 65710232

E-mail: xuebao@shfu.edu.cn

欢迎订阅 2008 年《水产学报》

《水产学报》是中国水产学会主办、上海水产大学承办的以水产科学技术为主的国家级学术刊物, 创刊于 1964 年。主要刊载渔业资源、水产养殖与增殖、水产捕捞、水产品保鲜与综合利用、渔业水域环境保护、渔船、渔业机械与仪器以及水产基础研究的论文, 简报和综述, 并酌登学术动态和重要书刊的评价等。

本刊为双月刊, 大 16 开, 国内外公开发行人。每期定价 25 元, 全年定价 150 元(含邮费)。国内统一刊号: CN31 - 1283/S; 国际标准刊号: ISSN 1000 - 0615。国内邮发代号: 4 - 297, 国外发行代号: Q - 387。读者可在当地邮局订阅, 也可直接汇款至编辑部订阅。

编辑部地址: 上海市军工路 334 号, 上海水产大学 48 信箱

邮 编: 200090

联系电话和传真: 021 - 65710232。

E-mail: jfc@shfu.edu.cn 或 scxuebao@online.sh.cn