

大西洋鲑在封闭循环水养殖模式下的生长和性腺发育研究

徐世宏^{1,2,3}, 王彦丰^{1,2,3}, 刘清华^{1,2,3}, 刘 鹰⁴, 王顺奎⁵, 徐滢轩⁶, 李 军^{1,2,3}

(1. 中国科学院 海洋研究所 实验海洋生物学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋生物学与生物技术功能实验室, 山东 青岛 266237; 3. 中国科学院 海洋大科学研究中心, 山东 青岛 266071; 4. 大连海洋大学, 辽宁 大连 116023; 5. 山东东方海洋科技股份有限公司, 山东 烟台 264003; 6. 中国海洋大学 剑桥国际中心, 山东 青岛 266000)

摘要: 本研究探讨了在封闭循环水养殖模式下大西洋鲑(*Salmo salar*)的生长发育模式, 对封闭循环水系统养殖的大西洋鲑重要生长数量性状进行生物学测量, 并跟踪性腺发育状况。本研究自 2012 年 1 月通过封闭循环水系统进行大西洋鲑养殖, 经过周年养殖, 体质量平均达到 1194.42 g, 体长平均达到 417.00 mm, 体高平均达到 100.58 mm, 体宽平均达到 53.52 mm, 少数个体在养殖 10 个月后性腺发育较快, 性腺质量达到 9.76 g, 性腺指数达到 1.31%。本研究的研究结果为建立大西洋鲑标准化循环水养殖系统积累资料。

关键词: 大西洋鲑(*Salmo salar*); 封闭循环水; 生长; 性腺发育; 组织学切片

中图分类号: S965.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2019)11-0097-06

DOI: 10.11759/hyxx 20190708001

鱼类全封闭循环水养殖系统是以各级渔业水处理组合系统为核心, 通过机械、物理、化学及生物处理方法将原水及养殖回水进行处理循环使用。养殖用水先经过机械过滤, 再经提水到蛋白分离器进行蛋白分离, 然后溢流到生物滤床, 最后经紫外线、臭氧消毒等关键技术有机组合而形成的一种全封闭水处理系统^[1]。大西洋鲑(*Salmo salar*)是隶属于鲑科(Salmonidae)、鲑属(*Salmo*)的世界性养殖鱼类, 含有丰富的不饱和脂肪酸, 氨基酸种类齐全、丰富, 营养价值高, 深受国内外消费者的青睐。大西洋鲑是广盐性鱼类, 分为陆封型和洄游型 2 种^[2-5]。陆封型终生在淡水中生长, 洄游型在盐度为 10~33 的水域均可生长。洄游型的大西洋鲑性成熟后洄游到淡水江河中产卵繁殖^[6-7], 与终生在淡水中生长的陆封型大西洋鲑有着本质的区别^[8]。大西洋鲑能够在 0~23℃ 下存活, 适宜生长温度为 10~17℃。在苗种培育期间(淡水阶段)为 24 h 不间断投喂, 在循环水模式下(海水阶段)一般采取的投喂策略为 3~6 次/日, 投喂率为 0.6%~3.0%。

封闭循环水养殖通过综合集成建筑学、生物学、电子学、化学和工程学等领域的技术^[8], 利用微滤机进行机械过滤、利用弹性填料和环形填料进行生物过滤, 去除养殖水体中的残饵、粪便, 再经臭氧及紫外线消毒, 降解 NH₃-N、NO₂-N 等有害物质, 通过曝气及喷淋墙等去除 CO₂, 再将液态氧输送到氧气锥等增氧后输

回养殖池, 实现养殖用水的可重复循环利用, 大大节约水资源, 使养殖水环境持续保持适宜溶氧含量和稳定的水质环境, 显著提高单位水体养殖生产力^[9-12]。

本研究对封闭循环水系统养殖的大西洋鲑重要生长数量性状进行生物学测量并跟踪性腺发育状况, 优化和完善了封闭循环水养殖工艺, 进一步加强了系统可靠性及稳定性, 建立了大西洋鲑适宜的生长条件, 探讨在封闭循环水养殖模式下大西洋鲑的生长发育模式, 实现了国内大西洋鲑商品鱼的大规模工业化循环水系统养殖。

1 材料和方法

1.1 实验材料

试验用大西洋鲑取自山东东方海洋科技股份有限公司, 平均体长 181.77 mm, 平均体质量 76.40 g,

收稿日期: 2019-07-08; 修回日期: 2019-09-18

基金项目: 大西洋鲑鱼种高效扩繁技术工艺与示范(2017CXGC0101K); 山东省重大科技创新工程专项(2018SDKJ0502-2); 大西洋鲑循环清洁生产系统研发与产业化项目(Y12316101H)

[Foundation: Shandong Province Key Research and Invention Program, No.2017CXGC0101K; Shandong Province Key Research and Invention Program, No. 2018SDKJ0502-2; Atlantic Salmon Recycling Cleaner Production System Development and Industrialization Project, No.Y12316101H]

作者简介: 徐世宏(1969-), 男, 山东潍坊人, 高级工程师, 主要从事水产养殖研究, E-mail: shihongx@qdio.ac.cn; 李军, 通信作者, 研究员, E-mail: junli@qdio.ac.cn, 电话: 0532-82898718

平均体宽 19.10 mm, 平均体高 34.07 mm。

1.2 实验方法

采用 1 整套养殖系统作为养殖容器, 养殖水体 300 m³, 5 个养殖池, 每个养殖池 6 000 尾, 逐月从实验系统定期随机取样 30 尾, 测定体长、体质量、体高、体宽、性腺重及性腺指数。

2 大西洋鲑生长发育

为探讨在封闭循环水养殖模式下大西洋鲑的生长和性腺发育情况, 采用周年跟踪测量生产系统养殖情况, 进行生物学测量及解剖。

2.1 大西洋鲑生长曲线

逐月定期取样, 测定体长、体质量, 建立大西洋鲑生长曲线(图 1)。自 2012 年 1 月 3 日开始进入循环水系统进行养殖, 初始平均体质量 76.40 g, 体长 181.77 mm, 体高 34.07 mm, 体宽 19.10 mm, 经过 340 d 养殖, 平均体质量达到 1 194.42 g, 体长达到 417.00 mm, 体高达到 100.58 mm, 体宽达到 53.52 mm。其中自 5.2~6.12 日, 日增质量 1.25 g, 8.2~9.2 日, 日增质量 1.63 g, 分鱼后 9.2~10.2 日, 日增质量 5.40 g, 出现了异速生长, 生长速度超过了 3 倍。体长、体宽及体高没有出现异速生长现象。

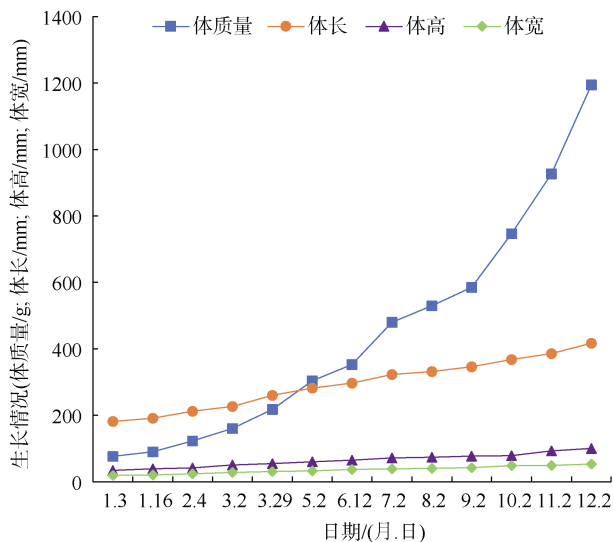


图 1 体质量、体长、体高和体宽周年变化曲线

Fig. 1 Annual curves of body mass, body length, body height, and body width

2.2 大西洋鲑性腺发育情况观察

大西洋鲑性腺发育的月变化, 性腺重及性腺指

数指标(图 2)。从图中可以看出, 入海后前 3 个月性腺发育非常缓慢, 第三个月性腺指数为 0.16%, 入海后 7~8 个月性腺发育加快, 第 8 个月性腺指数达到 0.59%, 在 10 月份(入海 9 个月)少数个体性腺指数达到 1.31%。通过组织学解剖及切片, 观察到性腺发育情况。

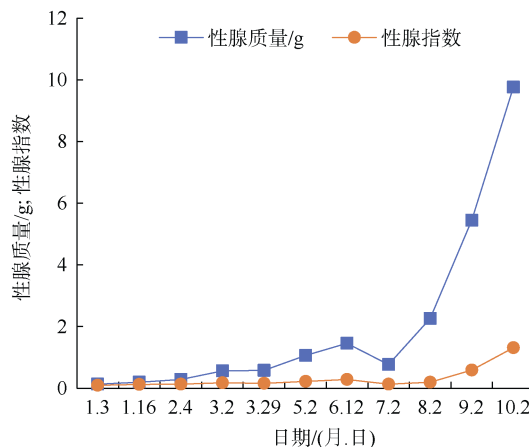


图 2 性腺质量和性腺指数变化曲线

Fig. 2 Curve of gonadal weight and index

大西洋鲑雄性个体入海 6 个月发育到Ⅱ期性腺, 自第 7 个月开始向Ⅲ期性腺过渡, 10 个月少数个体便发育到Ⅳ期, 体积较Ⅲ期大若干倍, 外部呈乳白色。组织学观察显示, 精小叶的空腔含有初级精母细胞、次级精母细胞和精子细胞, 内含有少量精子。野生条件下 4-5 龄性成熟, 由此表明人工循环水养殖条件下, 性腺发育速度过快(图 3)。

由图 4 可以看出, 大西洋鲑在入海后 6、7 个月(6 月、7 月)卵巢发育处于Ⅱ期, 8 个月部分个体卵巢发育向Ⅲ期过渡, 卵巢为淡黄色或淡红色, 外膜上分布血管, 肉眼可见到卵粒, 细胞类似椭圆形, 卵黄颗粒出现在细胞质内。养殖 12 个月少数个体卵巢发育到Ⅴ期, 卵粒直径达到 8 mm 左右, 但是卵粒粘连在一起, 没有游离现象。

3 大西洋鲑养殖存在问题及建议

3.1 性腺发育过快的问题

在鱼类养殖生产中, 应尽量避免性腺过早发育, 因性腺发育启动后, 相当数量的能量和营养会供给性腺发育, 如此造成生长减缓^[13], 同时, 大西洋鲑性腺成熟后肉色变差。在室内循环水养殖模式下, 出现性腺发育提前、速度过快的现象是必须高度关注的问题。

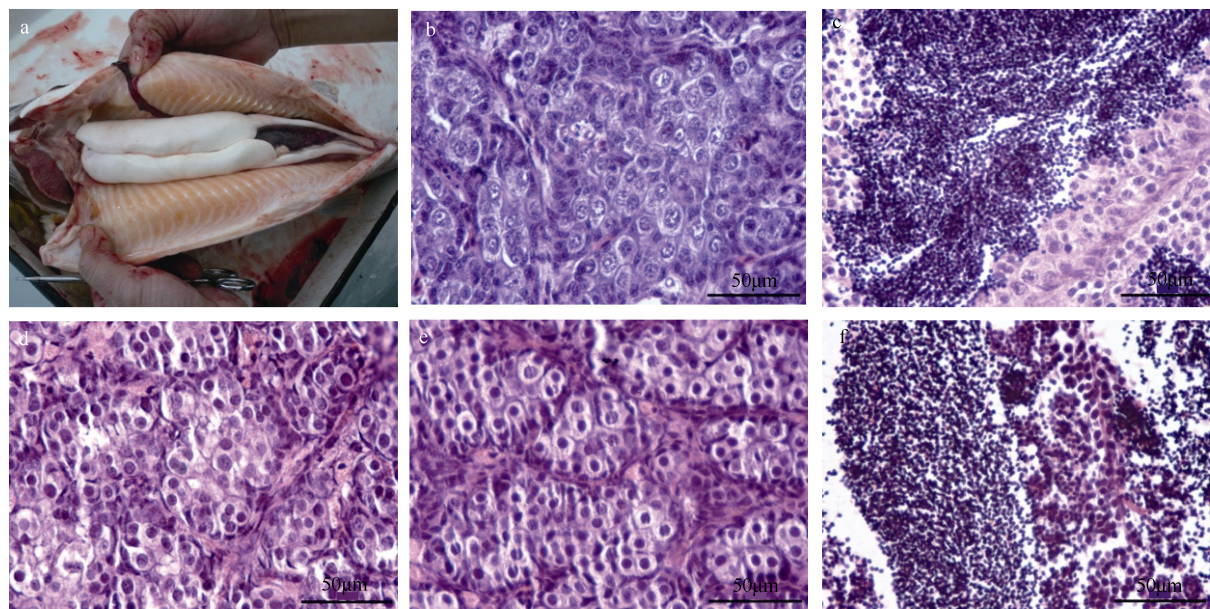


图3 大西洋鲑精巢发育过程

Fig. 3 Spermatogenesis of *Atlantic salmon*

a. 精巢解剖; b. 6月; c. 7月; d. 8月; e. 9月; f. 10月
a. testis; b. June; c. July; d. August; e. September; f. October

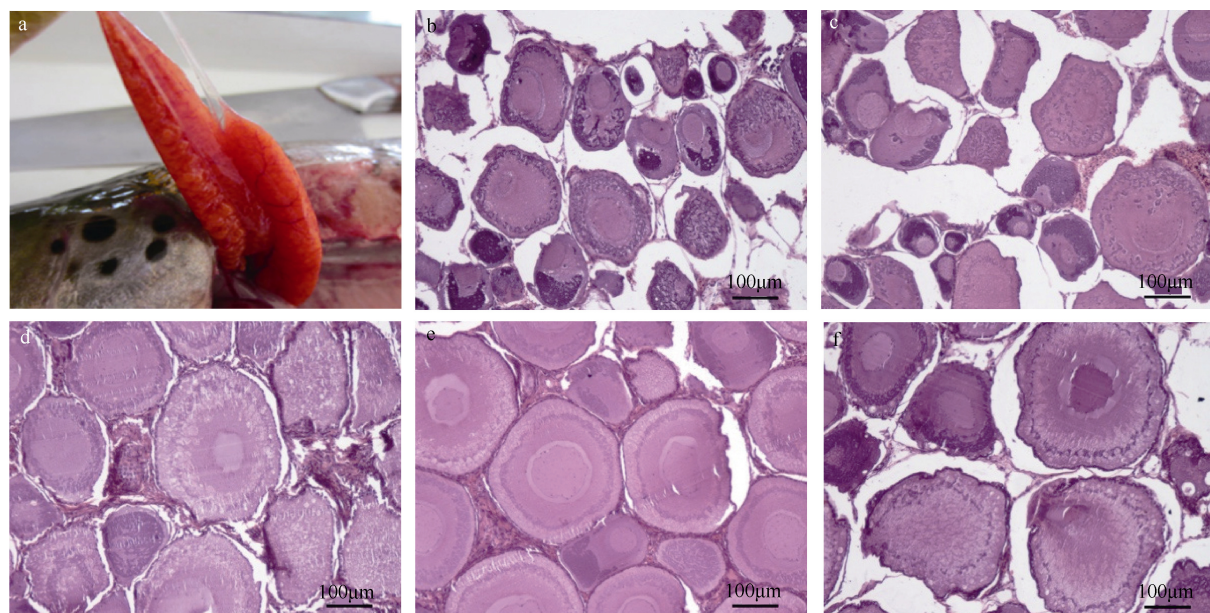


图4 大西洋鲑卵巢发育过程

Fig. 4 Oogenesis of *Atlantic salmon*

a. 卵巢解剖; b. 6月; c. 7月; d. 8月; e. 9月; f. 10月
a. Ovary; b. June; c. July; d. August; e. September; f. October

大西洋鲑幼鱼(100 g)在入海后 6、7 个月(一般在当年 6 月、7 月时)雌性卵巢发育处于Ⅱ期, 8 个月部分个体卵巢发育向Ⅲ期过渡。养殖 12 个月少数个体卵巢发育到Ⅳ-Ⅴ期。雄性个体入海 6 个月发育到Ⅱ期性腺, 自第 7 个月开始向Ⅲ期性腺过渡, 10 个月少

数个体便发育到Ⅳ期。与野生条件下 4~5 龄性成熟相比, 人工室内循环水养殖条件下, 性腺发育速度过快。究竟是光照周期、光照强度、温度或者是其他的问题, 还有待于进一步研究。如何控制性腺发育, 合适的光照强度、光周期和光色各是什么? 在大西

洋鲑鱼生长的哪个阶段通过光照调节性腺发育最为有效?期望通过对上述问题的研究,从理论上探究光照调节性腺发育的机制,并为工业化循环水养殖大西洋鲑鱼提供直接的生产指导。

3.2 养殖密度与日增重问题

养殖密度与大西洋鲑的代谢水平和循环系统的水处理能力密切相关,循环系统溶氧水平维持相对稳定状态,对于高密度养殖至关重要,溶氧过高或过低,以及剧烈变化,均会诱导大西洋鲑产生应激反应^[14]。在实际生产操作中,需要保持最优的养殖工艺,以提高摄食效率、生长率,减少不利行为以及病害的发生^[15]。高密度养殖容易导致水环境承载力加大,水质变差,摄食率降低,延缓生长、增加鱼的胁迫^[16],由图 1 可以看出,8.2~9.2 日,平均日增质量 1.63 g,分鱼降低密度后,9.2~10.2 日,平均日增质量 5.40 g,出现了异速生长,生长速度超过了 3 倍。

因此,室内循环水养殖模式下,适宜的养殖密度是至关重要的,建议第一次分鱼密度(500 g/尾)15 kg/m³,第二次分鱼密度(1 500 g/尾)20 kg/m³,第三次分鱼密度(3 000 g/尾)30 kg/m³。主要是单位水体的渔获量产生的最大效益和养殖系统的承载力如何正确匹配的问题。

3.3 分鱼方式

包括分鱼机分鱼、鱼泵分鱼、麻醉剂干法运鱼及麻醉剂带水分鱼等,采用机器分鱼仅能在 1 500 g 之前,效果较好,人工分鱼费时费力,采取何种分鱼方式进行分鱼也是目前面临的切实问题。

从分鱼效果看,大鱼采用人工麻醉后用泡沫箱带水运输的方式最好,但速度相对较慢,不带水运输时需掌握好麻醉程度和时间,不麻醉的方式最差,后期导致鱼体受伤、死亡较严重,并且影响鱼的摄食。分鱼机适合对小规格的鱼(小于 1 500 g)进行分级,鱼规格较大,会对鱼体造成严重的机械损伤,引起死亡。

3.4 养殖池及生物滤池理化因子控制问题

在养殖中发现,新池使用前一个月都呈现出氨氮过高的问题,最高达到 5 mg/L 以上,严重超过了鱼正常生长的要求范围。这可能与生物滤池在使用前没有接种活性制剂,生物膜没能良好生成^[17]脱氮功能太弱有关。在养殖过程中,来源于鱼类残饵粪便等有机物的非分解状态的氮素,包括所产生的氨氮

和亚硝酸盐,如果过量那就是鱼类的致毒物质^[18],即使有充分的溶解氧,也可以影响血红蛋白对氧的结合,在氨氮和亚硝酸盐的影响下,很难被鱼吸收利用而引发与缺氧状态相同的厌食症状,长期过高则将抑制鱼类的生长,甚至大量死亡^[19]。建议新系统在使用前 30 d 进行生物滤池挂膜,以便减少氨氮及亚硝酸盐的升高对养殖鱼类的影响^[20]。

3.5 大西洋鲑养殖的适宜条件

进口优质的、经过免疫的受精卵,培养体质健壮、无病的苗种,加强苗种期的培育管理,确保入海的幼鲑体质健壮、无病害发生,严格按照养殖规划适时进行分鱼,确立合适的养殖密度,确立适宜的光照强度、光照周期,避免性早熟,加强养殖管理及病害的防控。

参考文献:

- [1] 黄洋,王成桂. 封闭式循环系统在海水鱼类育苗中的初步研究[J]. 水产养殖, 2008, 29(6): 13-15.
Huang Yang, Wang Chenggui. A preliminary study on seawater fishes grow seedling, *Scophthalmus maximus* in closed circulating water[J]. Aquaculture, 2008, 29(6): 13-15.
- [2] Stephen D S. Salmon farming handbook[M]. London: Fishing News Books Led, 1988: 46-55, 78-88.
- [3] Shearer W M. The Atlantic salmon[M]. New York: Halsted Press, 1992: 40-41.
- [4] Reinertsen H, Dahle L A, Jørgensen L. Fish Farming Technology[M]. Rotterdam: Balkema, 1993: 297-300.
- [5] Crisp D T. Trout and Salmon: Ecology, conservation and rehabilitation[M]. Oxford: Blackwell Science Led, 2000: 1-61.
- [6] 夏重志,陈金平. 鲑鱼类养殖史料[J]. 水产学杂志, 1998, 11(1): 73-76.
Xia Chongzhi, Chen Jinping. The history of salmon farming[J]. Chinese Journal of Fisheries, 1998, 11(1): 73-76.
- [7] 户国,谷伟,白庆利,等. 主要养殖鲑科鱼类遗传育种的研究进展[J]. 水产学杂志, 2012, 25(3): 58-62.
Hu Guo, Gu Wei, Bai Qingli, et al. Advances in genetic breeding of *Salmon*. Chinese Journal of Fisheries, 2012, 25(3): 58-62.
- [8] 宋奔奔,吴凡,倪琦. 国外封闭循环水养殖系统工艺流程设计现状与展望[J]. 渔业现代化, 2012, 39(3): 13-18.
Song Benben, Wufan, Ni Qi. Review of recirculating aquaculture system process flow designing in developed countries[J]. Fishery Modernization, 2012, 39(3): 13-18.

- [9] 米成志, 邹积敏, 赵学伟. 洄游型大西洋鲑苗种培育技术[J]. 中国水产, 2004, 11: 45-46.
Mi Chengzhi, Zou Jimin, Zhao Xuewei. Breeding technology of migratory *Atlantic salmon* fry[J]. China Fisheries, 2004, 11: 45-46.
- [10] 宋奔奔. 四种填料的生物滤器对模拟海水养殖废水处理效率比较研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2009.
Song Benben. Comparative study of biofilters with four different substrates to simulated mariculture wastewater[D]. Beijing: Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, 2009.
- [11] 刘鹰. 海水工业化循环水养殖技术研究进展[N]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 50-53.
Liu Ying. Research progress on marine industrial recirculating aquaculture technology[N]. China Agricultural Science and Technology Guide, 2011, 13(5): 50-53.
- [12] Thorpe J L. Reproductive strategies in Atlantic salmon[J]. Aquacult Fish, Manage, 1994, 25: 77-87.
- [13] 陆九韶, 李永发, 夏重志. 人工养殖陆封型大西洋鲑的生物学特性[J]. 中国水产科学, 2004, 11(1): 78-81.
Lu Jiushao, Li Yongfa, Xia Chongzhi. Biological characters of landlocked Atlantic salmon *Salmo salar* in artificial culture[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(1): 78-81.
- [14] 杨爱斌. 浅谈水中溶解氧与养鱼的关系[J]. 黑龙江水产, 1997, 3: 31-33.
Yang Aibin. The relationship between dissolved oxygen in water and fish culture[J]. Heilongjiang Fisheries, 1997, 3: 31-33.
- [15] 都红圩, 刘鹰, 丛义周. 大西洋鲑工厂化循环水环境友好型养殖模式的构建与应用[C]//海洋资源科学利用论坛论文集. 烟台: 山东省海洋与渔业厅, 2014: 164-169.
Du Hongwei, Liu Ying, Cong Yizhou. The construction and application of environment-friendly RAS for Atlantic Salmon[C]//Scientific Utilization of Marine Resources. Yantai: Shandong Ocean and Fisheries Department, 2014: 164-169.
- [16] Wang Yanfeng, Liang Chi. Effects of stocking density on the growth and immunity of Atlantic salmon *Salmo salar* reared in recirculating aquaculture system (RAS)[J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2019, 37(1): 350-360.
- [17] 牛化欣, 常杰, 贾玉东, 等. 封闭式循环水养殖系统工程的构建与集成[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 237-238.
Niu Huaxin, Chang Jie, Jia Yudong, et al. Construction and integration of circulating aquaculture system[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(4): 237-238.
- [18] 王昭明. 鲑鳟鱼养殖技术(一)[J]. 科学养鱼, 2004, 8: 12-13.
Wang Zhaoming. The culture techniques of Salmon and trout[J]. Scientific Fish Farming, 2004, 8: 12-13.
- [19] 魏亚强. 浅议巢湖水质变化与渔业发展的相互影响机理[M]. 武汉: 中国高新技术企业, 2010, 11: 102-103.
Wei Yaqiang. The interaction mechanism between water quality change and fishery development in chaohu lake[M]. Wuhan: China High Technology Enterprises, 2010, 11: 102-103.
- [20] 刘鹰. 海水工业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.
Liu Ying. Research progress on marine industrial recirculating aquaculture technology[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2011, 13(5): 50-53.

Study on the growth and gonadal development of *Atlantic salmon* under recirculating aquaculture

XU Shi-hong^{1, 2, 3}, WANG Yan-feng^{1, 2, 3}, LIU Qing-hua^{1, 2, 3}, LIU Ying⁴,
WANG Shun-kui⁵, XU Ying-xuan⁶, LI Jun^{1, 2, 3}

(1. Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China; 3. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, 7 Nanhai Road, Qingdao 266071, China; 4. Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 5. Shandong Oriental Ocean Sci-tech Co., Ltd., Yantai 264003, China; 6. Cambridge International Center, Ocean University of China, Qingdao 266000, China)

Received: Jul., 8, 2019

Key words: *Atlantic salmon*; recirculating aquaculture; growth; gonadal development; histology

Abstract: During *Salmo salar* aquatic culture, the gonad development speed was quicker than wild, and lack of basic information. In this study, the biological measurements of important growth traits of Atlantic salmon cultured in recirculating water systems were tested, including an examination of its gonadal development, growth, and development patterns in a closed-loop aquaculture model. The salmones were cultured in a recirculating water system in January 2012, water temperature: 12-15°C, dissolved oxygen: 8 L/mg-12 L/mg, ammonia nitrogen <0.5 L/mg, density: 8 kg/m³-15 kg/m³, feeding rate: 1%-2%, feeding times: 3-6 times a day, daily addition of new water: 20%, cycle range: 15-18 times a day. After one year of culture, the average weight reached 1 194.42 grams (g), body length averaged 417 millimeters (mm), body height averaged 100.58 mm, and body width averaged 53.52 mm. After 10 months, for a few salmones, the gonads developed rapidly: gonad weight reached 9.76 g, and the gonad index reached 1.31%. These results provided useful information for the establishment of a standardized aquaculture system for Atlantic salmon.

(本文编辑: 谭雪静)