

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

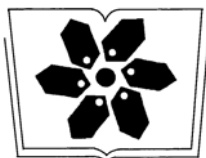
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第11期 Vol.33 No.11 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 11 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义 徐涵秋, 唐 菲 (3249)
- 两种自然保护区设计方法——数学建模和计算机模拟 王宜成 (3258)
- 家域研究进展 张晋东, Vanessa HULL, 欧阳志云 (3269)
- 浅水湖泊生态系统稳态转换的阈值判定方法 李玉照, 刘 永, 赵 磊, 等 (3280)
- 辐射传输模型多尺度反演植被理化参数研究进展 肖艳芳, 周德民, 赵文吉 (3291)
- 微囊藻毒素对陆生植物的污染途径及累积研究进展 靳红梅, 常志州 (3298)

个体与基础生态

- 年龄、性别及季节因素对千岛湖岛屿社鼠最大活动距离的影响 叶 彬, 沈良良, 鲍毅新, 等 (3311)
- 寄主大小及寄生顺序对蝇蛹佣小蜂寄生策略的影响 詹月平, 周 敏, 贺 张, 等 (3318)
- 两种苹果砧木根系水力结构及其 PV 曲线水分参数对干旱胁迫的响应
..... 张林森, 张海亭, 胡景江, 等 (3324)
- 三种根系分泌脂肪酸对花生生长和土壤酶活性的影响 刘 苹, 赵海军, 仲子文, 等 (3332)

种群、群落和生态系统

- 象山港春季网采浮游植物的分布特征及其影响因素 江志兵, 朱旭宇, 高 瑜, 等 (3340)
- 洞头海域网采浮游植物的月际变化 朱旭宇, 黄 伟, 曾江宁, 等 (3351)
- 狗牙根与牛鞭草在三峡库区消落带水淹结束后的抗氧化酶活力 李兆佳, 熊高明, 邓龙强, 等 (3362)
- 三亚岩相潮间带底栖海藻群落结构及其季节变化 陈自强, 寿 鹿, 廖一波, 等 (3370)
- 长期围封对不同放牧强度下草地植物和 AM 真菌群落恢复的影响 周文萍, 向 丹, 胡亚军, 等 (3383)
- 北京松山自然保护区森林群落物种多样性及其神经网络预测 苏日古嘎, 张金屯, 王永霞 (3394)
- 藏北高寒草地生态补偿机制与方案 刘兴元, 龙瑞军 (3404)
- 辽东山区次生林生态系统不同林型树干茎流的理化性质 徐天乐, 朱教君, 于立忠, 等 (3415)
- 施氮对亚热带樟树林土壤呼吸的影响 郑 威, 闫文德, 王光军, 等 (3425)
- 人工高效经营雷竹林 CO₂ 通量估算及季节变化特征 陈云飞, 江 洪, 周国模, 等 (3434)
- 新疆典型荒漠区单食性天花吉丁虫磷元素含量对环境的响应 王 晶, 吕昭智, 宋 菁 (3445)
- 双斑长跗萤叶甲越冬卵在玉米田的空间分布型 张 聪, 葛 星, 赵 磊, 等 (3452)
- 舟山群岛四个养殖獐种群遗传多样性和遗传结构 林杰君, 鲍毅新, 刘 军, 等 (3460)

景观、区域和全球生态

- 乡镇尺度金塔绿洲时空格局变化 巩 杰, 谢余初, 孙 朋, 等 (3470)
- 合并与不合并: 两个相似性聚类分析方法比较 刘新涛, 刘晓光, 申 琪, 等 (3480)

资源与产业生态

基于投入产出表的中国水足迹走势分析 王艳阳,王会肖,张 昕 (3488)

基于 MRICES 模型的气候融资模拟分析 朱潜挺,吴 静,王 铮 (3499)

黄东海陆架区沉积物中磷的形态分布及生物可利用性..... 张小勇,杨 茜,孙 耀,等 (3509)

鄱阳湖采砂南移扩大影响范围——多源遥感的证据 崔丽娟,翟彦放,邬国锋 (3520)

温度、盐度及其互作效应对吉富罗非鱼血清 IGF-I 与生长的影响 强 俊,杨 弘,王 辉,等 (3526)

城乡与社会生态

福建省城镇-交通系统的景观分隔效应 张天海,罗 涛,邱全毅,等 (3536)

研究简报

青藏高原高寒草原区工程迹地面积对其恢复植物群落特征的影响 毛 亮,周 杰,郭正刚 (3547)

黄土山地苹果树树体不同方位液流速率分析..... 孟秦倩,王 健,张青峰,等 (3555)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 清晨的天山马鹿群——家域是动物行为学和保护生物学的重要概念之一,它在动物对资源环境的适应与选择,种群密度及社会关系等生态学过程研究中有着重要的作用。马鹿属于北方森林草原型动物,在选择生境的各种要素中,隐蔽条件、水源和食物的丰富度是最重要的指标。野生天山马鹿是中国的特产亚种,主要分布在北天山深山海拔1500—3800m 地带的森林草原中,在高山至谷地之间不同高度的坡面上,马鹿按季节、昼夜变化的不同进行采食。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201203220389

强俊, 杨弘, 王辉, 徐跑, 何杰. 温度、盐度及其互作效应对吉富罗非鱼血清 IGF-I 与生长的影响. 生态学报, 2013, 33(11): 3526-3535.

Qiang J, Yang H, Wang H, Xu P, He J. Effect of water temperature, salinity and their interaction on serum IGF-I and growth of GIFT tilapia juvenile. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11): 3526-3535.

温度、盐度及其互作效应对吉富罗非鱼血清 IGF-I 与生长的影响

强 俊^{1,2}, 杨 弘^{1,2}, 王 辉³, 徐 跑^{1,2,*}, 何 杰¹

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 无锡 214081;

2. 南京农业大学无锡渔业学院, 无锡 214081; 3. 广东海洋大学水产学院, 湛江 524025)

摘要: 采用中心复合试验设计和响应曲面分析方法, 在实验室条件下, 探讨了温度(18—37 ℃)、盐度(0—18)及其互作效应对吉富罗非鱼幼鱼血清 IGF-I、生长和饲料效率的影响, 并且分析了血清 IGF-I 与生长、饲料效率的关系。整个试验持续 8 周。结果表明, 温度的一次与二次效应对血清 IGF-I、生长和饲料效率有显著影响, 盐度的一次与二次效应对血清 IGF-I 和生长有显著影响。高温与高盐环境会降低罗非鱼的生长与饲料效率。血清 IGF-I 随水温的上升呈先上升后下降的变化; 在等渗点附近, 罗非鱼血清 IGF-I 水平较低。血清 IGF-I 与生长和饲料效率具有相关性, 血清 IGF-I 水平较高时, 特定生长率和饲料效率均较高。温度和盐度的互作效应对血清 IGF-I、生长和饲料效率无显著影响($P>0.05$)。温度和盐度分别为 28.5 ℃和 8.4 时, 特定生长率和饲料效率同时达到最优值, 为 2.29%/d 和 0.82, 其可靠性为 0.937。低盐环境可以提高罗非鱼的生长与饲料利用, 血清 IGF-I 水平的升高有助于增强罗非鱼渗透调节能力。

关键词: 吉富罗非鱼; 温度; 盐度; 血清 IGF-I; 生长; 饲料效率

Effect of water temperature, salinity and their interaction on serum IGF-I and growth of GIFT tilapia juvenile

QIANG Jun^{1,2}, YANG Hong^{1,2}, WANG Hui³, XU Pao^{1,2,*}, HE Jie¹

1 Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, Jiangsu, China

2 Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China

3 Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China

Abstract: Tilapia, a major freshwater fish species cultured in southern China, takes up an important position in the development of China's aquaculture. Salinity differences have been proven to have clear effects on the growth and physiology in tilapia. Relationship exists between the salinity for optimum growth in fish and their iso-osmotic condition. When salinities shift away from the iso-osmotic point, a reduction in fish growth and feed utilization could be due to more energy consumption used for osmoregulation. Temperature is also a key factor affecting feeding and growth in tilapia. Serum insulin-like growth factor I (IGF-I) in fish has been associated with growth and osmoregulation. In the current experiment, based on central composite experimental design and response surface method, 13 experimental runs, each replicated three times, were investigated. The effect of temperature (18—37 ℃), salinity (0—18) and their interaction on serum IGF-I

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903046-02); 现代农业产业技术体系建设专项资金“罗非鱼产业技术体系”(CARS-49); “十二五”国家科技计划(2012BAD26B00); 江苏省普通高校研究生科研创新计划(CXLX11-0708); 中央公益性科研业务费专项资金(2011jbf09); 广东省海洋渔业科技推广专项(A201009C02, A2010002-010(b)); 广东省科技计划项目(2010B090500032)

收稿日期: 2012-03-22; 修订日期: 2012-10-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xup@ffrc.cn

level, specific growth rate (SGR) and feed efficiency (FE) of GIFT strain Nile tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*) were studied under laboratory conditions, and the interrelationship between IGF-I to SGR and FE was also investigated. The entire experiment lasted for 8 weeks. The results showed that the linear and quadratic effects of water temperature on serum IGF-I, SGR and FE were statistically significant ($P < 0.05$) and the linear and quadratic effects of salinity on serum IGF-I and SGR were also significant ($P < 0.05$). SGR and FE varied with increasing water temperature and salinity in a curvilinear manner. High temperature and high salinity could hinder the increase of SGR and FE. With the increased level of water temperature, serum IGF-I level increased at the beginning and then decreased when temperature was beyond 30°C ; serum IGF-I level was lower around the iso-osmotic point. Serum IGF-I level was positively correlated with fish growth and FE, with the R^2 being 0.496 and 0.698 ($P < 0.05$), respectively. The results showed the evidence of higher SGR and FE at high serum IGF-I levels in tilapia. The interactive effects of temperature \times salinity on serum IGF-I, SGR and FE were nonsignificant ($P > 0.05$). Water temperature was more important than salinity in affecting serum IGF-I, SGR and FE. The model equations of SGR, FE and serum IGF-I level using least squares method was obtained, with the R^2 as high as 0.949, 0.986, 0.984, respectively. These models could be used for practical projection. The optimal temperature/salinity combination was obtained utilizing statistical optimization approach: $28.5^{\circ}\text{C}/8.4$, at which the maximal SGR and FE reached $2.29\% \cdot \text{d}^{-1}$ and 0.82, respectively, with the desirability being 0.937. Growth performance of Nile tilapia seemed to be related to the amount of energy expended for osmoregulation. When temperature-salinity deviated from the optimal combination, Nile tilapia has to potentially spend more energy on osmoregulation. These results suggest that the optimum combination of temperature and salinity enhance tilapia growth performance, feeding efficiency and increase serum IGF-I levels.

Key Words: “GIFT” tilapia; temperature; salinity; serum IGF-I; growth; feed efficiency

当环境条件改变时,鱼体可以通过自身调节机制来维持机体平衡。温度和盐度波动对鱼类的生长与激素调控有重要影响^[1-2]。在等渗环境中,离子转运所消耗的能量最少,储存的能量可能主要用于鱼体生长^[3-4]。然而,也有些学者持相反观点。Imsland 等^[5]报道,在盐度为 15,离子调节所需能量较低时可能更有助于促进大菱鲈(*Scophthalmus maximus*)的生长。

神经内分泌因子对鱼类的生长和能量代谢起调控作用^[6]。生长激素(GH)、胰岛素样生长因子(IGF-I)和胰岛素作为 3 个重要的神经内分泌因子,在代谢与促进生长方面发挥着重要作用^[7]。GH 含量可以直接影响肝脏中 IGF-I 的分泌。同时,这些激素的产生与分泌受许多外源因子(如:饲料中的营养成分、温度、盐度、光照与季节变化等)直接或间接调控^[8-12]。增加温度可以提高大菱鲈^[10]和大马哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)^[6]血浆 IGF-I 的水平;而盐度对大菱鲈血浆 IGF-I 水平无明显影响^[10]。Mingarro 等^[13]也发现,在温度较为适宜的季节,金头鲷(*Sparus aurata*)血液 IGF-I 水平较高,鱼体生长速度也较快。同时,IGF-I 与鱼类的摄食率、能量代谢、发育、繁殖以及海水中的渗透压调节密切相关^[13]。2011 年全球罗非鱼产量达到 300 多万吨,中国罗非鱼产量占全球产量的一半。罗非鱼已成为中国南方地区主要养殖的淡水品种之一。关于盐度调节罗非鱼 IGF-I 方面的研究较少,仅见 Fiess 等^[1]的报道。Fiess 等^[1]发现,水温为 28°C ,在海水或 2 倍海水中,莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)血浆 IGF-I 水平高于淡水环境中的。然而,温度与盐度对 IGF-I 的交互效应以及生长、饲料效率和血清 IGF-I 之间的关系尚未发现。

本试验采用中心复合试验设计和响应曲面分析法,利用此设计与分析方法不仅可以减少试验次数,降低试验随机误差,而且可以有有效的拟合各因素与响应值之间的关系。本研究的主要目的:(1)研究温度、盐度及其交互效应对吉富罗非鱼血清 IGF-I 与生长的影响;(2)研究温度与盐度的二次效应对血清 IGF-I 与生长的影响,并建立相关曲面模型;(3)分析特定生长率(SGR)、饲料效率(FE)与血清 IGF-I 之间的关系。本研究旨在利用最优盐度与温度组合优化罗非鱼的苗种培育以及分析血清 IGF-I 在盐度驯化过程中的调控作用。

1 材料与方法

1.1 材料

试验鱼采自中国水产科学研究院淡水渔业研究中心宜兴基地自繁的第 16 代“吉富”品系尼罗罗非鱼幼鱼,选择无病无伤,活力强的个体作为试验用鱼。试验前在室内水泥池(水温 $(27\pm 0.3)^\circ\text{C}$, pH 值 7.4 ± 0.2 , 盐度为 0)中暂养 10 d,自然光周期。暂养期间使用循环水并且连续充气,每天 7:00、11:00 和 16:00 各投喂膨化饲料 1 次(粗蛋白质为 32.0%、脂肪 8.0%),投喂量为体重的 8%。

1.2 试验设计与分组

正式试验前先进行罗非鱼幼鱼的预试验,通过单因子试验确定幼鱼可以正常摄食与生长的温度和盐度范围。试验采用中心复合试验设计,本试验的响应值为特定生长率、饲料效率和血清 IGF-I,因子为温度(18—37 $^\circ\text{C}$)和盐度(0—18),分别以 T 和 S 表示,每个因子的试验水平编码分别为 $-a$ 、 -1 、 0 、 1 、 a (表 1),试验采用 2 因素 5 水平,共计 13 次试验,试验的次序随机,中心组合重复 5 次,每个试验组合重复 3 次。具体的温度和盐度组合见表 1。

表 1 温度与盐度的试验设计组合和结果

Table 1 Experimental design of temperature and salinity and results (Mean \pm SD)

组别 Group	编码值 Code value		实际值 Actual value		特定生长率/(%/d) Specific growth rate	饲料效率 Feed efficiency	血清 IGF-I/(ng/mL) Serum IGF-I
	T	S	T	S			
1	$-a$	0	18.0	9.0	0.59 ± 0.14	0.34 ± 0.09	14.37 ± 1.25
2	0	a	27.5	18.0	1.43 ± 0.28	0.65 ± 0.12	29.81 ± 1.58
3	1	-1	34.2	2.3	1.53 ± 0.33	0.63 ± 0.11	22.97 ± 1.33
4	a	0	37.0	9.0	0.98 ± 0.13	0.51 ± 0.08	22.13 ± 1.52
5	1	1	34.2	15.4	1.41 ± 0.32	0.57 ± 0.06	25.68 ± 1.61
6	0	0	27.5	9.0	2.31 ± 0.48	0.81 ± 0.12	21.48 ± 1.38
7	0	0	27.5	9.0	2.16 ± 0.52	0.78 ± 0.09	22.03 ± 2.11
8	-1	-1	20.8	2.6	1.16 ± 0.36	0.43 ± 0.06	18.43 ± 1.78
9	0	0	27.5	0.0	1.65 ± 0.42	0.67 ± 0.08	25.72 ± 2.26
10	0	0	27.5	9.0	2.38 ± 0.51	0.84 ± 0.11	23.24 ± 1.58
11	0	0	27.5	9.0	2.27 ± 0.47	0.79 ± 0.10	20.75 ± 1.79
12	-1	1	20.8	15.4	0.87 ± 0.16	0.47 ± 0.06	24.49 ± 1.24
13	0	0	27.5	9.0	2.23 ± 0.32	0.86 ± 0.14	21.37 ± 2.01

1.3 试验鱼的驯化

试验鱼先进行温度驯化,驯化在 450L 的塑料桶中进行,用电子恒温棒(量程为 20—38 $^\circ\text{C}$)和冰袋控温,温差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。温度驯化采用渐进方式,每天温度升降幅不超过 2 $^\circ\text{C}$ 。驯化至相应的试验温度后开始进行相应的盐度驯化,用海水晶进行盐度调节,盐度测定使用日本 ATAGO S-10E 盐度计。盐度调节也采用渐进方式,每天盐度升幅不超过 2。驯化至相应的设置后,在此设置下饲养 7d。

1.4 试验方法

试验在 39 个 450 L 的塑料桶中进行,每个塑料桶添加曝气 3 d 后的自来水 400 L。调节至相应的温度与盐度组合,试验开始前对幼鱼的体重和体长进行测量。试验用鱼体重为 (27.64 ± 2.79) g,体长为 (9.43 ± 0.46) cm,每个试验组合共放置 60 尾鱼,每个平行组各 20 尾鱼。各组初始体重和体长没有显著差异(ANOVA, $P>0.05$)。正常投喂 1.1 中的膨化饲料,每次定量投喂(保证桶底无饲料残留),日投喂量为体重的 4%—8%,试验周期共计 56 d。试验期间连续充气,采用虹吸法清除桶底粪便,日换水量 1/3,保持换水前后温差不超过 ± 0.5 ,溶氧保持在 5 mg/L 以上, pH 值 7.6 ± 0.2 ,氨氮和亚硝酸盐分别不高于 0.01 mg/L,自然光周期。

1.5 响应指标测定

试验结束前 24 h 停饲,次日对每个试验组合的全部试验用鱼进行体重测量。

$$\text{特定生长率}(\%/d)(SGR)=[(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)] \times 100$$

$$\text{饲料效率}(FE)=(W_2 - W_1) / F$$

式中, W_1 、 W_2 为起始时间 t_1 、终末时间 t_2 时的体重(g)、 F 为总投饵量(g)。试验结束后,每个养殖桶随机选取 5 尾鱼,用 200 mg/L 的 MS-222 作快速深度麻醉,尾静脉采血。血样于 4 ℃ 冰箱中静置 2 h,在 4 ℃,3500 g 离心 10 min 制备血清,上清液移置 -80 ℃ 冰箱中保存备用。血清 IGF-I 的测定采用放射免疫分析方法,试剂盒购自上海朗顿生物科技有限公司。

1.6 数据处理

数据测定结果用平均值±标准差 (Mean±SD) 表示。通过最小二乘法拟合因子与响应值之间的二次多项回归方程为:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1T + b_2S + b_3T \times S + b_4T^2 + b_5S^2$$

式中, \hat{Y} 为响应预测,在此响应为特定生长率、饲料效率和血清 IGF-I; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$, 分别为回归常数、温度与盐度的一次效应、温度与盐度间交互效应、温度与盐度的二次效应。

采用 STATISTICA 8.0 软件进行试验设计与结果处理,对温度、盐度与响应值进行的二次多项回归拟合。显著水平为 0.05,极显著水平为 0.01。

2 结果

2.1 温度、盐度及其交互效应对吉富罗非鱼幼鱼血清 IGF-I 的影响

温度 (T) 与盐度 (S) 对罗非鱼幼鱼血清 IGF-I 的测定结果见表 1,对数据采用最小二乘法进行回归拟合,回归方程系数显著性检验结果列于表 2。模型 $P=0.0002 < 0.01$,表明所建立的回归模型极显著;失拟项 $P=0.2701 > 0.05$,表明拟合的模型有效。 T 和 S 的一次与二次效应对血清 IGF-I 有极显著影响 ($P < 0.01$) (表 2), $T \times S$ 对血清 IGF-I 无显著影响 ($P > 0.05$)。回归系数显示, T 效应较 S 明显。 T 和 S 与血清 IGF-I 之间的实际二次回归方程(1):

$$\text{血清 IGF-I} = -18.268 + 2.680T - 0.516S - 0.018T \times S - 0.040T^2 - 0.072S^2$$

该方程的决定系数 $R^2=0.949$,说明该模型能解释 94.9% 响应值的变化,仅有总变异的 5.1% 不能用此模型解释,该模型拟合程度良好。

表 2 回归方程系数显著性检验

Table 2 Test of significance for regression coefficient

变异来源 Source of variation	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	置信下限 95% CI Low	置信上限 95% CI High	P
Intercept	21.784	0.494	20.616	22.951	
T	2.063	0.390	1.140	2.986	0.0011
S	1.846	0.387	0.930	2.762	0.0020
$T \times S$	-0.772	0.544	-2.057	0.514	0.1986
T^2	-1.813	0.418	-2.802	-0.825	0.0034
S^2	2.932	0.415	1.950	3.914	0.0002

$R^2 = 0.949$ Adj $R^2 = 0.912$ (Adj R^2 为校正系数) Pred $R^2 = 0.749$ (Pred R^2 为预测系数)

系数为编码水平下的估计

温度、盐度及其交互作用与血清 IGF-I 的响应曲面及其等高线图见图 1。通过该组动态图可评价试验因素对幼鱼生长的两两交互作用。本试验条件下,盐度为 9,温度为 18—30 ℃ 时,随着温度升高,血清 IGF-I 水平呈上升趋势。温度对血清 IGF-I 水平有极显著影响 ($P < 0.01$),温度高于 30 ℃ 时,血清 IGF-I 水平明显下降;温度为 27.5 ℃,盐度为 0—7.5 时,血清 IGF-I 水平逐渐下降,盐度高于 7.5 时,血清 IGF-I 水平显著上升。

水温为 18—37 ℃ 时,血清 IGF-I 水平在盐度为 0—18 范围内均呈先下降后上升的变化趋势。

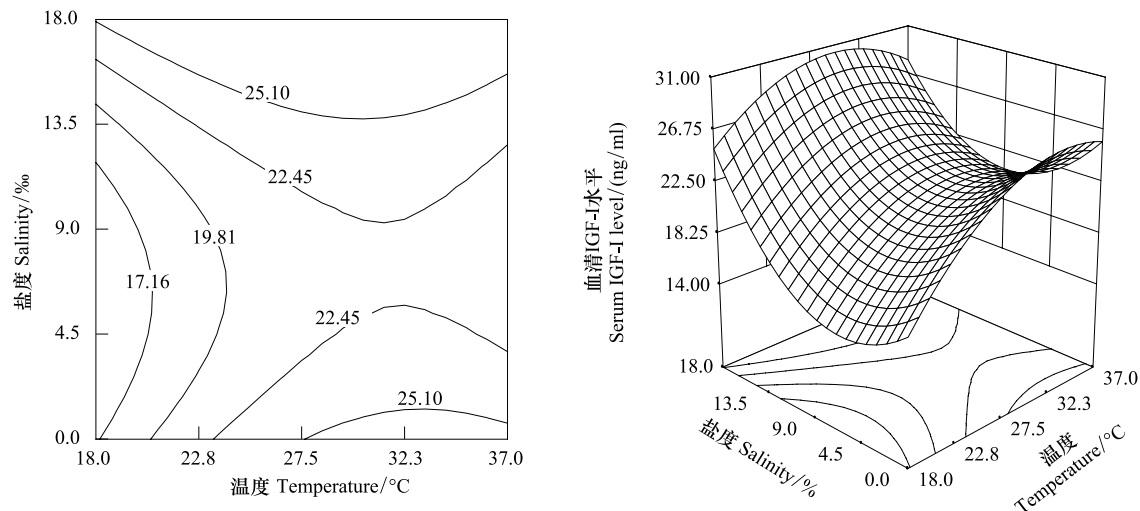


图 1 温度、盐度及其交互作用对吉富罗非鱼幼鱼血清 IGF-I 水平影响的响应面和等高线

Fig. 1 Response surface plot and its contour plot of the effect of temperature and salinity and their mutual interactions on serum IGF-I levels of GIFT tilapia juvenile

2.2 温度、盐度及其互作效应对吉富罗非鱼幼鱼特定生长率(SGR)的影响

温度(T)与盐度(S)对罗非鱼幼鱼特定生长率(SGR)的测定结果见表 1,对数据采用最小二乘法进行回归拟合,回归方程系数显著性检验结果列于表 3。模型 $P < 0.01$,表明所建立的回归模型极显著;失拟项 $P = 0.4844 > 0.05$,表明拟合的模型有效。 T 的一次、二次效应与 S 的二次效应对 SGR 有极显著影响($P < 0.01$)(表 3), S 的一次效应对 SGR 有显著影响($P < 0.05$); $T \times S$ 对 SGR 无显著影响($P > 0.05$)。回归系数显示, T 效应较 S 明显。 T 和 S 与 SGR 之间的实际二次回归方程(2):

$$SGR = -10.902 + 0.898T + 0.114S + 0.001T \times S - 0.016T^2 - 0.008S^2$$

该方程的决定系数 $R^2 = 0.986$,说明该模型能解释 98.6% 响应值的变化,仅有总变异的 1.4% 不能用此模型解释,该模型拟合程度良好。

表 3 回归方程系数显著性检验

Table 3 Test of significance for regression coefficient

变异来源 Source of variation	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	置信下限 95% CI Low	置信上限 95% CI High	P
Intercept	2.269	0.043	2.168	2.370	
T	0.186	0.034	0.106	0.266	0.0009
S	-0.094	0.034	-0.173	-0.014	0.0269
$T \times S$	0.035	0.047	-0.077	0.146	0.4844
T^2	-0.720	0.036	-0.805	-0.634	< 0.0001
S^2	-0.341	0.036	-0.426	-0.256	< 0.0001

$R^2 = 0.986$ Adj $R^2 = 0.975$ (Adj R^2 为校正系数) Pred $R^2 = 0.931$ (Pred R^2 为预测系数)

系数为编码水平下的估计

温度、盐度及其交互作用的响应曲面图及其等高线图见图 2。本试验条件下,随着温度升高,SGR 呈先上升后下降的变化趋势。盐度为 9 时,幼鱼在水温为 28.4 ℃ 环境下生长较快。当盐度为 0—18 时,SGR 随盐度上升呈先上升后下降的变化。水温为 27.5 ℃,盐度为 9 时,幼鱼的 SGR 显著高于淡水与盐度 18 环境中的。水温为 18 ℃—37 ℃ 时,SGR 在盐度为 0—18 范围内均呈先上升后下降的变化趋势,温度与盐度之间无互作效应。

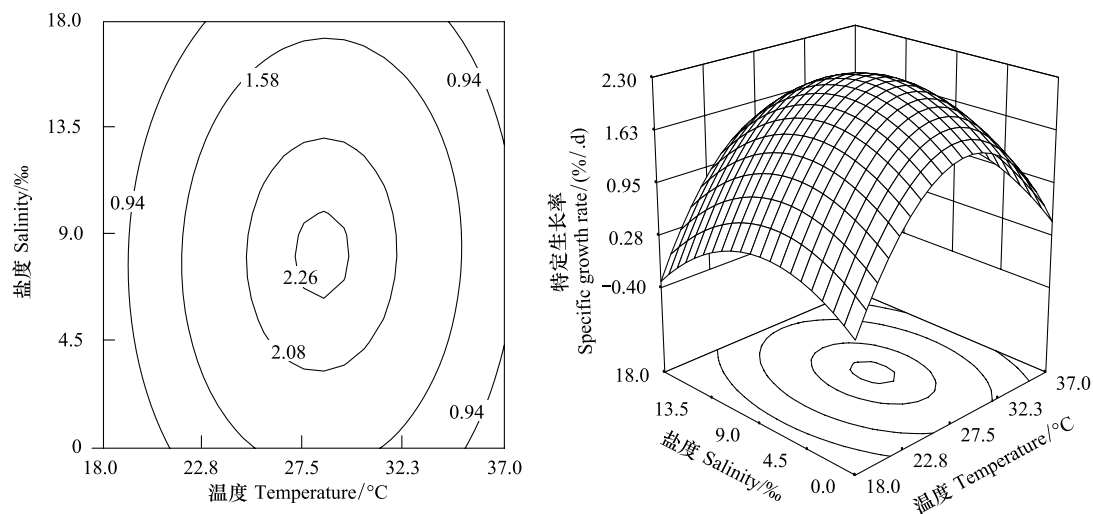


图2 温度、盐度及其交互作用对吉富罗非鱼幼鱼特定生长率影响的响应面和等高线

Fig. 2 Response surface plot and its contour plot of the effect of temperature and salinity and their mutual interactions on specific growth rate of GIFT tilapia juvenile

2.3 温度、盐度及其互作效应对吉富罗非鱼幼鱼饲料效率(FE)的影响

温度(T)与盐度(S)对罗非鱼幼鱼饲料效率(FE)的测定结果见表1,对数据采用最小二乘法进行回归拟合,回归方程系数显著性检验结果列于表4。模型 $P < 0.01$,表明所建立的回归模型极显著;失拟项 $P = 0.8297 > 0.05$,表明拟合的模型有效。 T 的一次、二次效应与 S 的二次效应对FE有极显著影响($P < 0.01$) (表4), S 的一次效应对FE无显著影响($P > 0.05$)。回归系数显示, T 效应较 S 明显。 T 和 S 与FE之间的实际二次回归方程(3):

$$FE = -3.110 + 0.259T + 0.052S - 0.0015T \times S - 0.004T^2 - 0.002S^2$$

该方程的决定系数 $R^2 = 0.984$,说明该模型能解释98.4%响应值的变化,仅有总变异的1.6%,不能用此模型解释,该模型拟合程度良好。

温度、盐度及其交互作用与FE的响应曲面及其等高线图见图3。本试验条件下,盐度为9,温度为18—29℃时,随着温度升高,FE呈上升趋势。温度对FE有极显著影响($P < 0.01$),温度高于29℃时,FE明显下降;温度为27.5℃,盐度为0—9时,FE逐渐升高,盐度高于9时,FE开始下降;盐度为0—18时,FE在0.73—0.82之间,盐度对FE无显著影响($P > 0.05$)。温度与盐度分别为28.7℃和8.6时,FE较高,为0.82,其可靠性为0.927。水温为18—37℃时,FE在盐度为0—18范围内均呈先上升后下降的变化趋势,温度与盐度之间无互作效应。

表4 回归方程系数显著性检验

Table 4 Test of significance for regression coefficient

变异来源 Source of variation	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	置信下限 95% CI Low	置信上限 95% CI High	P
Intercept	0.816	0.013	0.786	0.846	
T	0.068	0.010	0.045	0.092	0.0002
S	-0.007	0.010	-0.030	0.017	0.5182
$T \times S$	-0.026	0.014	-0.059	0.006	0.0996
T^2	-0.199	0.011	-0.224	-0.174	< 0.0001
S^2	-0.082	0.011	-0.107	-0.057	0.0001

$R^2 = 0.984$ Adj $R^2 = 0.973$ (Adj R^2 为校正系数) Pred $R^2 = 0.959$ (Pred R^2 为预测系数)

系数为编码水平下的估计

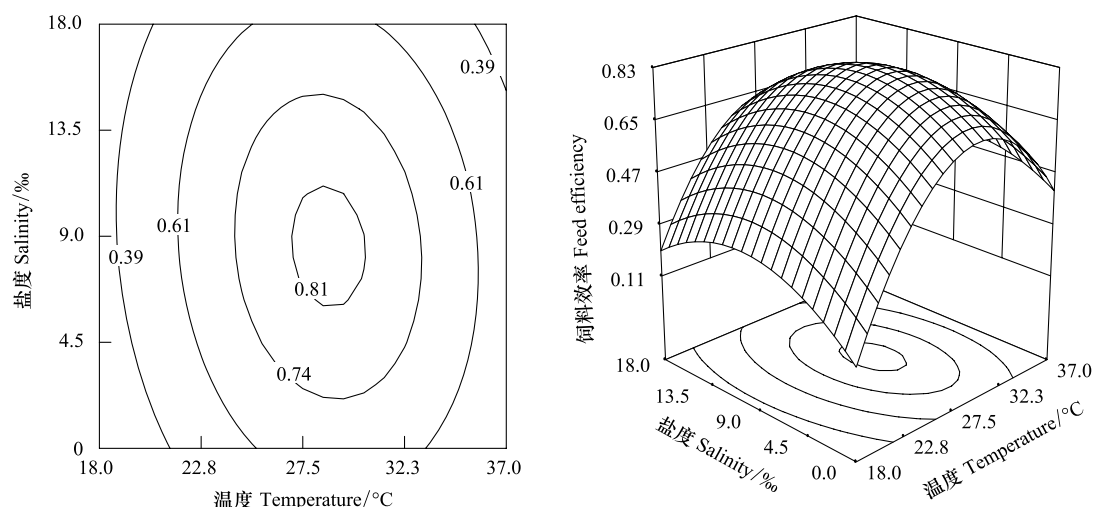


图3 温度、盐度及其交互作用对吉富罗非鱼幼鱼饲料效率影响的响应面和等高线

Fig. 3 Response surface plot and its contour plot of the effect of temperature and salinity and their mutual interactions on feed efficiency of GIFT tilapia juvenile

2.4 血清 IGF-I 与特定生长率的关系

本试验条件下,罗非鱼幼鱼血清 IGF-I 与特定生长率之间的模型为血清 IGF-I = $-8.657\text{SGR}^2 + 28.276\text{SGR} + 2.392$ ($P < 0.05$), $R^2 = 0.496$ 。血清 IGF-I 水平与特定生长率具有相关性。

2.5 血清 IGF-I 与饲料效率的关系

本试验条件下,罗非鱼幼鱼血清 IGF-I 与饲料效率之间的模型为血清 IGF-I = $-119.47\text{FE}^2 + 154.59\text{FE} - 24.334$ ($P < 0.05$), $R^2 = 0.698$ 。血清 IGF-I 水平与饲料效率具有相关性。

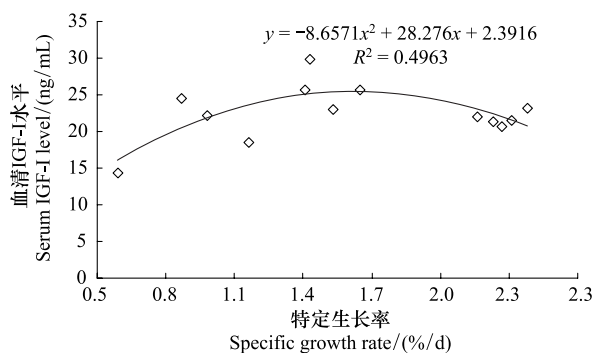


图4 吉富罗非鱼幼鱼血清 IGF-I 与特定生长率的关系

Fig. 4 Relationship between serum IGF-I and SGR of GIFT tilapia juvenile

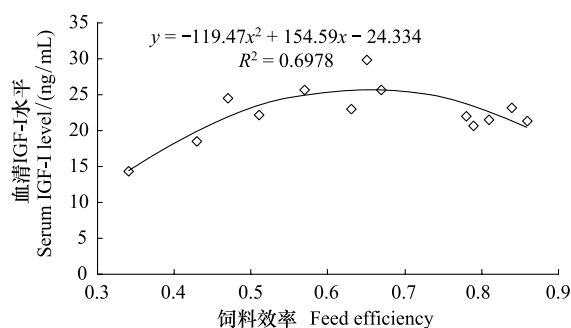


图5 吉富罗非鱼幼鱼血清 IGF-I 与饲料效率的关系

Fig. 5 Relationship between serum IGF-I and FE of GIFT tilapia juvenile

3 讨论

3.1 吉富罗非鱼血清 IGF-I 在不同水温下的变化及其与生长和饲料效率的关系

吉富罗非鱼血清 IGF-I 与饲养水温密切相关。在其它鱼类上也见到相关报道^[10,14],较高温度有助于提高鱼体自身的代谢水平,从而增加血浆中循环 IGF-I^[10]。同时,血清 IGF-I 与特定生长率相关,相关系数为 0.496, $P < 0.05$ 。在莫桑比克罗非鱼^[15]、大菱鲈^[10]和银鲑鱼(*Oncorhynchus kisutch*)^[16]的研究中也发现类似报道。Uchida 等^[15]报道,血浆 IGF-I 水平可用作莫桑比克罗非鱼生长速度的考察指标,IGF-I 水平与特定生长率呈正相关,相关系数 $r = 0.74$ ($P < 0.01$);Imsland 等^[10]研究发现,大菱鲈的特定生长率与 IGF-I 水平呈正相关,相关系数 $r = 0.53$ ($P < 0.01$);Pierce 等^[16]研究发现,银鲑鱼的特定生长率与 IGF-I 水平呈正相关,相关

系数 $r^2=0.623$ ($P < 0.0001$)。血清 IGF-I 可以直接调控鱼类生长。然而,本试验中的 IGF-I 与特定生长率的曲线关系,可能是因为血清 IGF-I 参与鱼体的能量代谢有关。罗非鱼的饲料效率与血清 IGF-I 水平同样也有相关性,相关系数为 0.698, $P < 0.05$ 。这在以往的银鲑鱼^[16]的研究中也发现类似结论,而在大菱鲆^[10]的研究中未发现此相关性。IGF-I 作为一种促细胞分裂素,通过与 IGF-I 受体(IGF-IR)的结合,能促进鸟氨酸脱氢酶的活性及细胞内 DNA、RNA 和蛋白质的生物合成,最终引起细胞的增殖与分化,有助于蛋白质的合成和结缔组织及骨髓的产生,从而促进生长^[17]。通过以上分析可以发现,水温可能通过影响血清 IGF-I 水平来改变生长速度与饲料利用。

3.2 盐度对吉富罗非鱼血清 IGF-I 的影响

盐度对吉富罗非鱼血清 IGF-I 有显著影响。在盐度为 0—18 时,血清 IGF-I 水平呈先下降后上升的变化趋势。而饲料效率与特定生长率在盐度较低时(7—9)较高,低盐环境下可以促进罗非鱼的生长与饲料效率。这与血清 IGF-I 水平在盐度为 0—18 条件下的变化趋势相反,盐度低于 7 或高于 9 时可以刺激血清 IGF-I 水平上升。Fiess 等^[1]在莫桑比克罗非鱼的研究中也发现类似结论。Shepherd 等^[18]研究发现,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)血浆 IGF-I 水平随盐度(0—20)上升而上升。Sakamo 和 Hirano^[19]研究也发现,将虹鳟从淡水中转移到盐度为 25 的环境中时,盐度可以引起鳃和肾脏中 IGF-I 表达的增加,而肝脏中的表达水平无显著变化。鱼体可能通过 GH 来诱导渗透压调节器官中 IGF-I 的表达,从而提高盐度的耐受性^[20]。可见, GH/IGF-I 轴在鱼类的盐度驯化中发挥着重要作用。IGF-I 与渗透压调节相联系,血清 IGF-I 水平升高有助于维持鱼体自身的平衡。Duan 等^[21]研究发现, GH/IGF-I 轴在鱼类新陈代谢方面发挥着重要作用。因而,本试验中血清 IGF-I 水平的上升可能归因为,环境温度与盐度的增加提高了鱼体的能量需求。关于激素与细胞内渗透调节物质变化的关系还有待进一步研究。同时,鱼类的营养状况与其它代谢影响因素也可能影响 IGF-I 分泌, IGF-I 受体的表达与血液中 IGF-I 结合蛋白的数量对 IGF-I 的功能也有明显影响^[22-23]。

3.3 温度与盐度对吉富罗非鱼生长与饲料效率的影响

温度和盐度对吉富罗非鱼生长有显著影响。温度为 28—30 ℃,盐度为 7—9 时,罗非鱼的生长速度较快。可能由于此水环境下提高了罗非鱼的摄食与饲料效率。温度与罗非鱼生长和饲料效率的关系已见一些报道^[3,24]。温度高于 33 ℃时,较高的温度可能对鱼体产生了生理应激,代谢产生的能量主要用于维持机体的平衡,或增加了肠胃的排空速率,从而导致生长与饲料效率的下降^[25]。Azaza 等^[25]研究也发现,水温为 30 ℃时,尼罗罗非鱼的生长速率高于水温为 34 ℃时的。盐度为 18 时,罗非鱼的生长与饲料效率低于盐度较低时的。不同的鱼类,盐度对其的影响有较大差异,如,平鲷(*Cichlasoma urophthalmus*)^[26]在盐度较高(30)时,生长与饲料效率较高;而金头鲷^[27]与大菱鲆^[28]在盐度为 14—28 时,生长与饲料效率较高。盐度对鱼类的生长与饲料效率的影响可能与其自身的渗透压平衡调节有关^[10]。通常,在等渗点附近,鱼类的代谢水平较高。Sparks 等^[29]和王辉等^[30]研究也发现,罗非鱼在低盐环境中的日常代谢率显著高于海水中的。在鱼类中,渗透压调节所需的能量占代谢能中的比例较大,往往需要消耗总能量的 20% 以上甚至高于 50%^[31]。因此,当罗非鱼远离等渗点时,能量代谢受到抑制,同时,渗透调节又消耗了大量能量,用于生长的能量将减少。盐度为 7—9 时可能更接近于罗非鱼的等渗点。此时,调节渗透压平衡所需的能量较少,更多能量用于生长需求^[32-33]。

3.4 温度与盐度互作效应对吉富罗非鱼生长、饲料效率及血清 IGF-I 的影响

本试验中,在温度与盐度对吉富罗非鱼特定生长率、饲料效率和血清 IGF-I 的研究中未发现互作效应,这与强俊等^[34]的结论有所不同。强俊等^[34]认为,温度与盐度对罗非鱼的特定生长率有互作效应。Watanabe 等^[35]也研究发现,不同盐度下,温度对红罗非鱼生长和摄食的影响不同,盐度为 0 时,饲料消耗与生长在温度为 27℃ 较高;而盐度为 18 和 36 时,饲料消耗与生长在温度为 32 ℃ 时最高。可能是由于试验所选取的试验用鱼规格不同。本试验中,罗非鱼的初始体重为 27.64 g,高于强俊等^[34]的试验中所采用的 6.29 g 和 Watanabe 等^[35]的 0.56—1.2 g。随着鱼体规格的增加,罗非鱼对盐度的适应能力可能有所提高。同时,本试验中发现,

温度对罗非鱼生长、饲料效率和 IGF-I 的影响较盐度明显。因此,本试验未发现互作效应的原因可能来自两个方面:(1)罗非鱼属于亚热带鱼类,温度的主效应影响较强,主效应可能对互作效应有屏蔽作用;(2)在盐度 0—18 时,盐度对本试验中吉富罗非鱼幼鱼的饲料效率没有显著影响,罗非鱼对盐度的耐受性可能随着生长发育而提高。

本试验中,利用响应曲面方法首次发现,温度与盐度的二次效应对特定生长率、饲料效率和血清 IGF-I 有极显著影响。这在实际生产中有较高的应用价值。采用 Montgomery^[36]的方法,对特定生长率和饲料效率进行优化。温度和盐度分别为 28.5 °C 和 8.4 时,特定生长率和饲料效率分别为 2.29%/d 和 0.82,其可靠性达 0.937。建议按照此组合安排罗非鱼生产,提高罗非鱼的养殖效益。同时,应该注意的是其它环境因子(如:酸碱度、溶氧、光照等)和营养状况,可能对罗非鱼的盐度驯化与代谢水平存在影响,需要进一步研究。

References:

- [1] Fiess J C, Kunkel\ Patterson A, Mathias L, Riley L G, Yancey P H, Hirano T, Grau E G. Effects of environmental salinity and temperature on osmoregulatory ability, organic osmolytes, and plasma hormone profiles in the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2007, 146(2): 252-264.
- [2] Sun Y, Zhang B, Guo X W, Wang J, Tang Q S. Effects of temperature on energy budget of *Sparus macrocephalus*. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 186-190.
- [3] Likongwe J S, Stecko T D, Stauffer Jr J R, Carline R F. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). *Aquaculture*, 1996, 146(1/2): 37-46.
- [4] Morgan J D, Iwama G K. Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1991, 48(11): 2083-2094.
- [5] Imsland A K, Gunnarsson S, Foss A, Stefansson S O. Gill Na⁺, K⁺-ATPase activity, plasma chloride and osmolality in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared at different temperatures and salinities. *Aquaculture*, 2003, 218(1/4): 671-683.
- [6] Beckman B R, Shimizu M, Gadberry B A, Parkins P J, Cooper K A. The effect of temperature change on the relations among plasma IGF-I, 41-kDa IGFBP, and growth rate in postsmolt coho salmon. *Aquaculture*, 2004, 241(1/4): 601-619.
- [7] Planas J V, Méndez E, Baños N, Capilla E, Navarro I, Gutiérrez J. Insulin and IGF-1 receptors in trout adipose tissue are physiologically regulated by circulating hormone levels. *The Journal of Experimental Biology*, 2000, 203(Pt 7): 1153-1159.
- [8] Cameron C, Moccia R, Azevedo P A, Leatherland J F. Effect of diet and ration on the relationship between plasma GH and IGF-I concentrations in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *Aquaculture Research*, 2007, 38(8): 877-886.
- [9] Jiang J F, Zhang D, Qiu L, Lin H, Jiang S. Research on assessing effects of diets of mud carp (*Cirrhinus molitorella*) using IGF-I mRNA expression level. *South China Fisheries Science*, 2010, 6(2): 66-72.
- [10] Imsland A K, Björnsson B T, Gunnarsson S, Foss A, Stefansson S O. Temperature and salinity effects on plasma insulin-like growth factor-I concentrations and growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 2007, 271(1/4): 546-552.
- [11] Taylor J F, Porter M J R, Bromage N R, Migaud H. Relationships between environmental changes, maturity, growth rate and plasma insulin-like growth factor-i (IGF-I) in female rainbow trout. *General and Comparative Endocrinology*, 2008, 155(2): 257-270.
- [12] Cruz E M V, Brown C L. Influence of the photoperiod on growth rate and insulin-like growth factor-I gene expression in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal of Fish Biology*, 2009, 75(1): 130-141.
- [13] Mingarro M, Vega-Rubin de Celis S, Astola A, Pendon C, Valdivia M M, Perez-Sanchez J. Endocrine mediators of seasonal growth in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): the growth hormone and somatolactin paradigm. *General and Comparative Endocrinology*, 2002, 128(2): 102-111.
- [14] Gabillard J C, Weil C, Rescan P Y, Navarro I, Gutiérrez J, Le Bail P Y. Effects of environmental temperature on IGF1, IGF2, and IGF type I receptor expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *General and Comparative Endocrinology*, 2003, 133(2): 233-242.
- [15] Uchida K, Kajimura S, Riley L G, Hirano T, Aida K, Grau E G. Effects of fasting on growth hormone/insulin-like growth factor-I axis in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2003, 134(2): 429-439.
- [16] Pierce A L, Beckman B R, Schearer K D, Larsen D A, Dickhoff W W. Effects of ration on somatotrophic hormones and growth in coho salmon. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2001, 128(2): 255-264.
- [17] Tsai I P, Madsen S S, Stephen D M. A howard bern endocrine control of cartilage growth in coho salmon; GH influence in vivo on the response to IGF-I in vitro. *Zoological Science*, 1994, 11: 299-303.
- [18] Shepherd B S, Drennon K, Johnson J, Nichols J W, Playle R C, Singer T D, Vijayan M M. Salinity acclimation affects the somatotrophic axis in

- rainbow trout. American Journal of Physiology, 2005, 288(5): R1385-R1395.
- [19] Sakamoto T, Hirano T. Expression of insulin-like growth factor I gene in osmoregulatory organs during seawater adaptation of the salmonid fish: possible mode of osmoregulatory action of growth hormone. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1993, 90(5): 1912-1916.
- [20] McCormick S D. Endocrine control of osmoregulation in teleost fish. American Zoologist, 2001, 41(4): 781-794.
- [21] Duan C. Nutritional and developmental regulation of insulin-like growth factors in fish. Journal of Nutrition 1998, 128(2): 306-314.
- [22] Dickhoff W W, Beckman B R, Larsen D A, Duan C, Moriyama S. The role of growth in endocrine regulation of salmon smoltification. Fish Physiology and Biochemistry, 1997, 17(1/6): 231-236.
- [23] Reinecke M, Björnsson B Th, Dickhoff W W, McCormick S D, Navarro I, Power D M, Gutiérrez J. Growth hormone and insulin-like growth factors in fish: where we are and where to go. General and Comparative Endocrinology, 2005, 142(1/2): 20-24.
- [24] Musuka C G, Likongwe J S, Kang'ombe J, Jere W W L, Mtethiwa A H. The Effect of Dietary Protein and Water Temperatures on Performance of *T. rendalli* Juveniles Reared in Indoor Tanks. Pakistan Journal of Nutrition, 2009, 8(10): 1526-1531.
- [25] Azaza M S, Dhraief M N, Kraïem M M. Effects of water temperature on growth and sex ratio of juvenile Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in geothermal waters in southern Tunisia. Journal of Thermal Biology, 2007, 192: 132-145.
- [26] Martinez-Palacios C A, Rossb L G, Rosado-Vallado M. The effects of salinity on the survival and growth of juvenile *Cichlasoma urophthalmus*. Aquaculture, 1990, 91(1/6): 65-75.
- [27] Conides A J, Parpoura A R, Fotis G. Study on the effects of salinity on the fry of the euryhaline species gilthead sea bream (*Sparus aurata* L. 1758). Journal of Aquaculture in the Tropics, 1997, 12(4): 297-303.
- [28] Imsland A K, Foss A, Gunnarsson S, Berntsen M, FitzGerald R, Wendelaar Bonga S E, Van Ham E, Nævdal G, Stefansson S O. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 2001, 198(3/4): 353-367.
- [29] Sparks R T, Shepherd B S, Ron B, Richman N H, Riley L G, Iwama G K, Hirano T, Grau E G. Combined effect of temperature and salinity on energy metabolism of gift Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 136(1): 657-665.
- [30] Wang H, Qiang J, Wang H Z, Xu P, Li R W. Combined effect of temperature and salinity on energy metabolism of GIFT Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(1): 51-61.
- [31] Boef G, Payan P. How should salinity influence fish growth? Comparative Biochemistry and Physiology, 2001, 130(4): 411-423.
- [32] Wang H Z, Wang H, Qiang J, Xu P, Li R W. Combined effect of temperature and salinity on the $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*). Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 898-906.
- [33] Li Z M, Liu Z G, Yao R, Luo C J, Yan J F. Effect of temperature and salinity on the survival and growth of *Meretrix lyrata* juveniles. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(13): 3406-3413.
- [34] Qiang J, Ren H T, Xu P, He J, Li R W. Synergistic effects of water temperature and salinity on the growth and liver antioxidant enzyme activities of juvenile. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(1): 255-263.
- [35] Watanabe W O, Ernst D H, Chasar M P, Wicklund R I, Olla B L. The effects of temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile, sex-reversed male Florida red tilapia cultured in a recirculating system. Aquaculture, 1993, 112(4): 309-320.
- [36] Montgomery D C. Design and Analysis of Experiments. 6th ed. New York; John Wiley & Sons, 2005: 405-444.

参考文献:

- [2] 孙耀, 张波, 郭学武, 王俊, 唐启升. 温度对黑鲟 (*Sparus macrocephalus*) 能量收支的影响. 生态学报, 2001, 21(2): 186-190.
- [9] 姜巨峰, 张殿昌, 邱丽华, 林黑着, 江世贵. 用 IGF-1mRNA 表达量评价鲢饲料配方效果的研究. 南方水产, 2010, 6(2): 66-72.
- [30] 王辉, 强俊, 王海贞, 徐跑, 李瑞伟. 温度与盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼能量代谢的联合效应. 中国水产科学, 2012, 19(1): 51-61.
- [32] 王海贞, 王辉, 强俊, 徐跑, 李瑞伟. 温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ -ATPase 活力的联合效应. 生态学报, 2012, 32(3): 898-906.
- [33] 栗志民, 刘志刚, 姚茹, 骆城金, 颜俊飞. 温度和盐度对皱肋文蛤幼贝存活与生长的影响. 生态学报, 2010, 30(13): 3406-3413.
- [34] 强俊, 任洪涛, 徐跑, 何杰, 李瑞伟. 温度与盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼生长和肝脏抗氧化酶活力的协同影响. 应用生态学报, 2012, 23(1): 255-263.

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 朱永官

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 11 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 11 (June, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元