

盐度对大黄鱼成活、生长和耳石金属元素的影响

黄伟卿^{1,2,3}, 阮少江^{2,3}, 张 艺⁴, 吉成龙⁵, 林培华¹, 姚建平⁶, 刘家富⁴

(1. 宁德市鼎诚水产有限公司, 福建 宁德 352100;

2. 宁德师范学院生命科学院, 福建 宁德 352100;

3. 闽东特色生物资源福建省高校工程研究中心, 福建 宁德 352100;

4. 宁德市水产技术推广站, 福建 宁德 352100;

5. 中国科学院烟台海岸带研究所 海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 山东 烟台 264003;

6. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:为解决大黄鱼(*Larimichthys crocea*)面临的海水养殖病虫害感染加剧、海岸带土地局限性和水环境污染等问题,最终实现内陆工厂化低盐养殖,采用缓慢降盐法,进行大黄鱼室内不同盐度养殖试验,研究不同盐度对大黄鱼成活率与温度、生长性能和耳石金属元素组成变化的影响。试验期 180 d(6 个月),每个试验组设置 3 个重复,每组 2 万尾;海水盐度由 24 直接降至 8,再以日均 2 的幅度将盐度降至 6 和 4,然后以日均 1 的幅度继续将盐度降至 2,最终将大黄鱼养殖在盐度分别为 2、4、6、8、24 的环境中;每天投喂 2 次颗粒饲料,每次投喂量为鱼体重的 2%~5%,并视摄食情况酌情调整。结果显示,大黄鱼室内养殖成活率随着水温的升高而降低,水温 28℃ 时,盐度 24 的海水养殖组全部死亡,水温 30℃ 时,盐度 2 养殖组成活率(68.8±2.89)% 极显著高于其他养殖组($P<0.01$);低盐养殖组的质量绝对增加率、绝对增长率、增积量和肥满度等生长指标在后期均优于盐度 24 养殖组;耳石金属元素锰(Mn)、钙(Ca)和锶(Sr)及 Sr/Ca 与盐度呈正相关关系($P<0.05$),而铁(Fe)、钴(Co)和钡(Ba)元素变化没有规律性。

关键词:大黄鱼;盐度;生长;成活率;耳石

中图分类号:Q176 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2018)06-0100-06

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)隶属鲈形目(Perciformes)、石首鱼科(Sciaenidae)、黄鱼属(*Larimichthys*),是中国、朝鲜半岛和日本等北太平洋西部海域重要经济鱼类,主要分布在中国黄海南部、东海、台湾海峡到南海雷州半岛以东约 60 m 等深线一带狭长沿海,原居我国海洋四大主捕对象之首(苗亮等,2014;王映等,2016)。在大黄鱼濒临灭绝之际,福建省宁德市科技团队于“六·五”攻克其人工繁育难关,经过 30 多年的发展,至今已形成集繁育、加工、销售于一体的海洋产业集群,2017 年产量达 17.76 万 t,居海水鱼类产量之首,是我国大规模的海水网箱养殖鱼类和八大优势出口养殖水产品

之一(黄伟卿等,2016)。在大黄鱼养殖产业迅猛发展的同时,面临着海岸带土地局限性和水环境污染等问题。因此,发展大黄鱼的低盐养殖技术,将可能使大黄鱼养殖业能够在内陆地区开展起来,解决其养殖所面临的问题。

大量的研究证实,通过缓慢淡化,大黄鱼可在低盐度(0~10)的环境中存活(沈益绿等,2007;李兵等,2012;陈佳等,2013,刘爽等,2013)。本人前期研究也表明,在盐度 0~1 的环境中,大黄鱼的养殖成活率显著高于正常海水养殖组,生长速度高于正常海水养殖组(黄伟卿,2015;黄伟卿等,2017);此外,郭进杰等(2016)对比分析了盐度 5 与正常海水中大黄鱼的性腺发育情况,发现卵巢可以发育成熟,性腺指数低,成熟卵细胞占比明显低于正常海水组;但室内不同盐度对大黄鱼养殖成活率、生长的影响目前尚未见报道。本研究通过试验设计不同的盐度,探究不同盐度梯度养殖对大黄鱼成活率与温度、生长速度和耳石元素的变化,以期为大黄鱼室内低盐工厂化养殖提供理论依据。

收稿日期:2017-10-30

基金项目:福建省 STS 项目“大黄鱼耐低盐机制研究及低盐驯养技术的应用”(2017T3016);福建省引导性项目“大黄鱼和缢蛏低盐混合养殖新技术研发与推广”(2017N0027);鳌山科技创新计划(2015ASKJ02-05)。

作者简介:黄伟卿,1988 年生,男,助理工程师,主要从事水产增殖与水环境监测。E-mail: 393634584@qq.com

通信作者:刘家富。E-mail: 13905936391@126.com

1 材料与方法

1.1 试验用鱼

2016 年 3 月,选取宁德市鼎诚水产有限公司繁育的健康、体形正常、活力好大黄鱼苗种,平均体长 (1.55 ± 0.16) cm,体重 (0.083 ± 0.022) g。

1.2 试验设计

试验在宁德市鼎诚水产有限公司育苗场进行,试验期 180 d(6 个月),每个试验组设置 3 个重复,每组 2 万尾,首先将海水盐度由 24 直接降至 8,再以日均 2 的幅度将盐度降至 6 和 4,然后以日均 1 的幅度继续将盐度降至 2,最终将大黄鱼养殖在盐度分别为 2、4、6、8、24 的水环境中。

投喂“海龙”牌颗粒饲料,每天 2 次,每次投喂量为鱼体重的 2%~5%,并视摄食情况酌情调整;每天吸污换水,并记录相关数据。

1.3 数据采集

每天采用水银温度计(精度 0.2℃)测量当天的水温。每月 6 日,每组随机取 50 尾样品,用尺子(精度 0.1 cm)和电子天平(精度 0.1 g)分别测定体长和体重。

参考 Yang 等(2006)方法,对不同盐度梯度养殖 180 d 的大黄鱼耳石进行取样,采用电子探针微区分析仪(型号:JXA-8230)进行耳石金属元素锶(Sr)、钙(Ca)、锰(Mn)、铁(Fe)、钴(Co)和钡(Ba)含量的测定。

1.4 生物学统计

不同盐度的大黄鱼生物学统计参考李明云等(2010)的计算方法,公式如下:

成活率 = $N/n \times 100\%$

体重绝对增加率(g/d) = $(m_2 - m_1) / (t_2 - t_1)$

绝对增长率(cm/d) = $(L_2 - L_1) / (t_2 - t_1)$

增积量 = $(m_2 - m_1) \times (L_2 - L_1) / (t_2 - t_1)^2$

肥满度 = $m / L^3 \times 100$

式中: N 为终末幼鱼数(尾); n 为初始幼鱼数(尾); m 为体重(g); L 为体长(cm); m_1 、 m_2 和 L_1 、 L_2 分别为时间 t_1 、 t_2 时的体重(g)和体长(cm)。

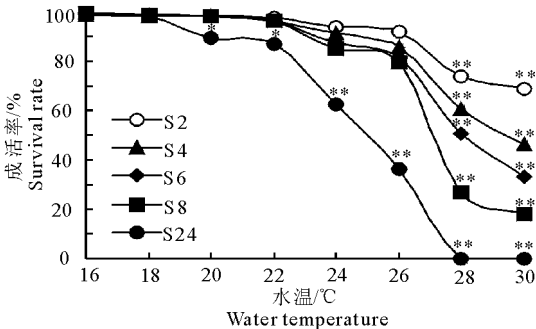
1.5 数据分析

试验的数据统计分析采用 SPSS17.0 处理。用单因素方差分析和 Duncan's 多重比较分析对生物学统计结果进行显著性差异检验,显著性差异设定为 $P < 0.05$,极显著差异设定为 $P < 0.01$ 。

2 结果

2.1 不同盐度下大黄鱼养殖成活率与水温的关系

统计结果显示,室内养殖大黄鱼的成活率随着水温的升高而降低(图 1)。盐度 24 的海水养殖组,水温高于 22℃ 出现大量死亡,水温达到 28℃,全部死亡;盐度 2、4、6、8 的低盐组,水温高于 26℃ 出现大量死亡,水温达到 30℃,盐度 2 的养殖组成活率 $(68.8\pm2.89)\%$ 极显著高于其他养殖组($P < 0.01$);盐度 2、4、6、8 养殖组在水温为 20~22℃ 显著高于盐度 24 组($P < 0.05$),水温达 22℃ 后,盐度 2、4、6、8 的低盐组极显著高于盐度 24 组($P < 0.01$)。



* 表示相关显著($P < 0.05$), ** 表示相关极显著($P < 0.01$)。

图 1 不同盐度和水温对大黄鱼成活率的影响

* indicates significant correlation ($P < 0.05$), ** indicates highly significant correlation $P < 0.01$).

Fig.1 Effect of salinity and temperature on the survival rate of *L. crocea*

2.2 不同盐度下大黄鱼养殖生长性能比较

在 16~30℃ 的水环境中,经统计,绝对增长率每组之间均呈现不规则的变化。盐度 6 养殖组,试验第 30 天的绝对增长率最大,达 (0.085 ± 0.002) cm/d;盐度 4 养殖组,试验第 90 天的绝对增长率最小,仅 (0.003 ± 0.003) cm/d。随着养殖时间的延长,低盐度组的绝对增长率逐渐高于盐度 24 组。试验第 30 天,盐度 6 和盐度 8 养殖组绝对增长率高于盐度 24 组;试验第 60 天,盐度 2 和盐度 4 养殖组绝对增长率高于盐度 24 组;试验第 90 天,盐度 2、6、8 的低盐养殖组绝对增长率高于盐度 24 组(图 2)。

盐度 24 组的体重绝对增加率随着养殖时间的延长而降低;盐度 4 养殖组在第 90~180 天,随着时间的变长而增加,盐度 4 养殖试验组第 180 天体重绝对增加率最大,达 (0.145 ± 0.013) g/d;盐度 6 养殖组第 90 天的体重绝对增加率最小,仅 (0.009 ± 0.003) g/d。低盐组的体重绝对增加率随着养殖时

间的延长,出现了赶超盐度 24 组的现象,养殖至第 90 天,盐度 2 和盐度 8 试验组极显著高于盐度 24 组 ($P<0.01$),盐度 6 试验组显著高于盐度 24 组 ($P<0.05$)(图 3)。

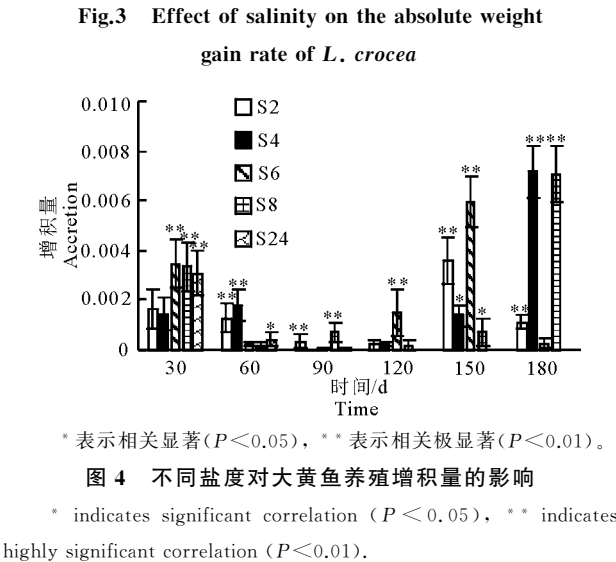
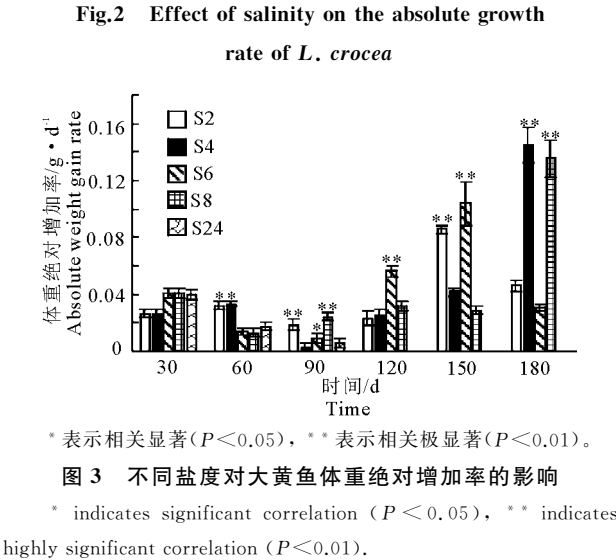
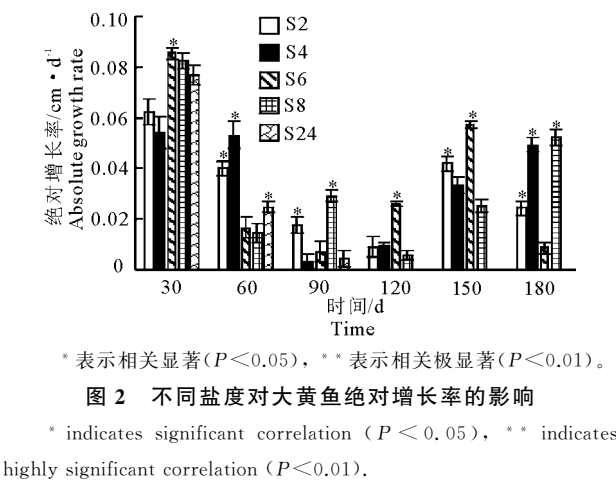
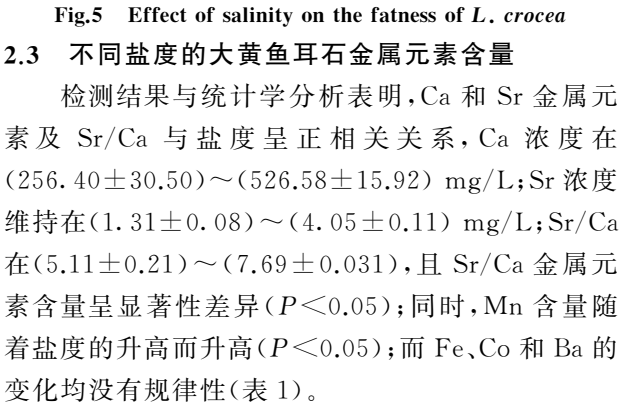
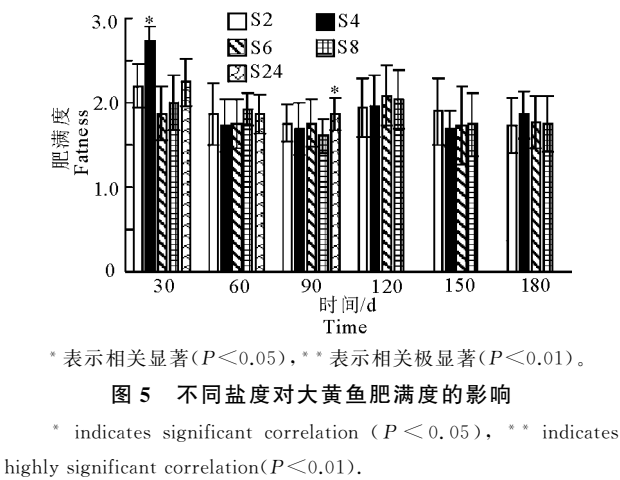


Fig.4 Effect of salinity on accretion in *L. crocea*

除盐度 4 养殖组外,其他各组增积量在前 90 d 随着养殖时间的延长而降低;在后 90 d,随着养殖时间的延长而增加,盐度 4 试验组第 180 天的增积量最大。低盐养殖组随着养殖时间的延长,超越了盐度 24 组,养殖至第 90 天,低盐(8、6、4、2)试验组均高于盐度 24 组(图 4)。

除试验前 30 d,盐度 4 养殖组肥满度显著高于其他各组 ($P<0.05$);养殖后期,盐度 24 组第 90 天显著高于其他各组 ($P<0.05$)。整体上看,低盐度 8、6、4、2 组和高盐度 24 组的肥满度差异不大,维持在(1.61~2.74)范围(图 5)。



3 讨论

3.1 盐度对大黄鱼养殖成活率的影响

在大黄鱼人工养殖迅猛发展的 30 多年,渔民为追求产量和利润不断扩张养殖规模,养殖密度逐渐增加,致使养殖海区水体富营养化日益加剧,恶化的养殖环境导致大黄鱼极易感染寄生虫,继而感染继发性细菌病使鱼致死。

有研究表明,水温在 18.0~30.5℃容易感染刺激隐核虫,死亡率达 80%以上,水温 20.0~25.0℃是感染本尼登虫的高峰期,死亡率在 50%以上,水温

表 1 不同盐度的大黄鱼耳石金属元素含量

Tab.1 Effect of salinity on metal content of *L. crocea* otoliths

项目	Mn/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	Fe/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Co/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	Ba/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	Ca/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Sr/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Sr : Ca/ $\times 10^3$
盐度 2	0 $\pm$ 0 ^a	0.44 $\pm$ 0.04 ^a	0.07 $\pm$ 0.04 ^a	12.87 $\pm$ 0.51 ^c	256.40 $\pm$ 30.50 ^a	1.31 $\pm$ 0.08 ^a	5.11 $\pm$ 0.21 ^a
盐度 4	2.06 $\pm$ 0.15 ^b	0.66 $\pm$ 0.01 ^c	0.19 $\pm$ 0.02 ^c	13.04 $\pm$ 0.08 ^c	311.29 $\pm$ 11.70 ^b	1.73 $\pm$ 0.10 ^b	5.56 $\pm$ 0.31 ^b
盐度 6	2.66 $\pm$ 1.22 ^c	0.58 $\pm$ 0.02 ^b	0.15 $\pm$ 0.04 ^b	14.19 $\pm$ 1.31 ^d	323.54 $\pm$ 9.21 ^c	1.92 $\pm$ 0.07 ^c	5.93 $\pm$ 0.37 ^c
盐度 8	3.33 $\pm$ 1.65 ^d	0.59 $\pm$ 0.04 ^b	0.23 $\pm$ 0.01 ^d	7.68 $\pm$ 0.16 ^b	478.03 $\pm$ 43.94 ^d	2.86 $\pm$ 0.06 ^d	5.98 $\pm$ 0.29 ^d
盐度 24	7.41 $\pm$ 4.33 ^e	0.66 $\pm$ 0.10 ^c	0.22 $\pm$ 0.01 ^d	6.52 $\pm$ 1.04 ^a	526.58 $\pm$ 15.92 ^e	4.05 $\pm$ 0.11 ^e	7.69 $\pm$ 0.03 ^e

注:不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: different letters indicate significant differences($P<0.05$).

在 23~30℃,室内养殖的大黄鱼极易感染淀粉卵甲藻,死亡率可达 80%以上(杨文川等,2002;刘家富,2013;邹峰等,2013);罗朋朝(2002)认为大黄鱼感染寄生虫病时,采用淡水浸泡治疗的方法效果较佳。本次试验表明,盐度 24 组,在水温 20℃先后检测到感染刺激隐核虫、淀粉卵甲藻、瓣体虫 3 种寄生虫,虽用甲醛、灭虫精、土霉素等药物进行灭虫和消炎,效果依旧不佳,试验过程也采取了淡水浸泡,但还是无法治愈,最终在水温 28℃时,因感染寄生虫导致继发性感染细菌而全部死亡。低盐组在寄生虫感染高峰期之前已对养殖水体进行了降盐,因此并未发现因寄生虫感染造成的死亡现象,所以养殖成活率均明显高于海水养殖组($P<0.01$)。

3.2 盐度对大黄鱼养殖生长性能的影响

有学者认为盐度 12~16 的水环境有利于硬骨鱼类的生长(Tytler et al,1998);还有学者认为大黄鱼在低盐环境中,因在高温季节可以有效躲避寄生虫等病害,改善养殖环境,从而显著提高了生长速度(陈佳等,2013;黄伟卿,2015;黄伟卿等,2017)。本次研究中,盐度 6 和盐度 8 养殖组前期生长速度较盐度 24 组快,而盐度 2 和盐度 4 养殖组在后期逐步超越盐度 24 组,这是因为大黄鱼在盐度 4 以下前期主要将能量用于渗透压的调节;低盐养殖组的体重绝对增加率、绝对增长率、增积量和肥满度等生长指标与海捕野生大黄鱼生长情况一致,均优于正常海水养殖组(黄伟卿等,2016)。但盐度 24 养殖组的体重绝对增加率随着养殖时间的变长而降低,盐度 4 养殖组在第 90-180 天随时间的变长而增加,有别于李明云等(2010)将官井洋大黄鱼与象山网箱养殖的岱衢洋自交以及正反向杂交子代体重绝对增加率随着养殖时间增加而增大的结果,造成这一结果的主要原因与养殖环境和种质选择有着密切的关系。

3.3 盐度对大黄鱼耳石金属元素含量的影响

鱼类耳石中的化学元素主要通过直接吸收和食物链两条途径将环境中的化学元素持续摄入机体并

通过一系列器官的代谢、循环最终沉积到耳石中。耳石可以记录鱼类整个生活史周期所接触到周围水环境中的各种理化信息,是常用于研究鱼类洄游路径的重要手段(刘志远,2012;黄伟卿等,2017)。耳石中金属元素 Sr、Ca 含量的变化常被用来作为反演不同盐度水生态环境的指标。一般来说,淡水区鱼类耳石的 Sr 含量低,海水区高,河口区介于两者之间;而 Sr /Ca 值的高低对应于其所处环境盐度的高低(Elsdon & Gillanders, 2003; Elsdon et al, 2008),本次研究结果符合上述结论。大黄鱼耳石中金属元素 Ca 和 Sr 含量随着盐度的升高而增加($P<0.05$),Sr /Ca 值也呈明显增加的态势($P<0.05$),同时还测出 Mn 含量也与盐度呈正相关关系。

参考文献

陈佳,袁重桂,阮成旭,2013. 温度和盐度对大黄鱼生长性能的联合效应[J]. 广州大学学报(自然科学版), 12(5): 35-39.

郭进杰,陈国平,黄振玉,等,2016. 循环系统中淡化养殖大黄鱼生长及卵巢发育的初步研究[J]. 上海海洋大学学报, 25(6):847-852.

黄伟卿,2015. 淡水养殖大黄鱼技术初探[J]. 水产科学, 34(5):327-330.

黄伟卿,韩坤煌,陈仕玺,等,2016. 海捕野生大黄鱼选育子代生长性能及现实遗传力分析[J]. 水产科学, 35(3):204-209.

黄伟卿,阮少江,张艺,等,2017. 大黄鱼低盐养殖生长性状的相关性和遗传力分析[J]. 水产科学, 36(1):78-82.

李兵,钟英斌,吕为群,2012. 大黄鱼早期发育阶段对盐度的适应性[J]. 上海海洋大学学报,21(2):204-210.

李明云,胡玉珍,苗亮,等,2010. 岱衢洋和官井洋大黄鱼自交与杂交子代生长性能及杂交优势分析[J]. 水产学报, 34(6):859-864.

刘家富,2013. 大黄鱼养殖与生物学[M]. 厦门:厦门大学出版社: 184-211.

刘爽,李兵,吕为群,2013. 不同长途运输方案对大黄鱼低盐

- 养殖的影响[J]. 广东农业科学, 40(8):128-132.
- 刘志远, 2012. 基于耳石形态及微结构特征大黄鱼和小黄鱼早期生长发育研究[D]. 上海: 上海海洋大学.
- 罗朋朝, 2002. 大黄鱼的寄生虫病及其防治方法[J]. 水产科技情报, 30(4):176-177.
- 苗亮, 李星云, 陈炯, 等, 2014. 快长、耐低温大黄鱼新品种东海1号的选育[J]. 农业生物技术学报, 10(4): 1314-1320.
- 沈益绿, 陈亚瞿, 2007. 低盐度驯化对大黄鱼和黑鲷存活的影响[J]. 水利渔业, 27(6):47-48.
- 王映, 柯巧珍, 刘家富, 等, 2016. 大黄鱼养殖群体和野生群体形态、鳞片及耳石特征比较[J]. 海洋渔业, 38(2):149-156.
- 熊瑛, 刘洪波, 刘培延, 等, 2014. 基于耳石元素微化学的江苏吕泗近岸小黄鱼生境履历重建[J]. 应用生态学报, 25(3):836-842.
- 杨文川, 李立伟, 石磊, 等, 2002. 新本尼登虫(单殖目:多室科)的发育[J]. 动物学报, 48(1):75-79.
- 邹峰, 苏永全, 覃映雪, 等, 2013. 海水鱼类寄生虫刺激隐核虫(*Cryptocaryon irritans*)趋化性研究[J]. 海洋与湖沼, 44(4):1003-1007.
- Elsdon T S, Gillanders B M, 2003. Reconstructing migratory patterns of fish based on environmental influences on otolith chemistry[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 13: 217-235.
- Elsdon T S, Wells B K, Campana S E, et al, 2008. Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: Hypotheses assumptions, limitations and inferences[C]. // Gibson R N, Atkinson R J A, Gordon J D M, eds. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review[M]. London: Taylor & Francis.
- Tytler P, Blaxter J H S, 1988. The effects of external salinity on the drinking rates of larvae herring, plaice and cod[J]. J Exp Biol, 138(1):1-15.
- Yang J, Arai T, Liu H, et al, 2006. Reconstructing habitat use of *Coilia mystus* and *Coilia ectenes* of the Yangtze River estuary, and of *Coilia ectenes* of Taihu Lake, based on otolith strontium and calcium[J]. Journal of Fish Biology, 69:1120-1135.

(责任编辑 万月华)

Effects of Salinity on Survival, Growth and Otolith Metal Content of
Indoor Cultured *Larimichthys crocea*

HUANG Wei-qing^{1,2,3}, RUAN Shao-jiang^{2,3}, ZHANG Yi⁴, JI Cheng-long⁵,
LIN Pei-hua¹, YAO Jian-ping⁶, LIU Jia-fu⁴

(1.Ningde Dingcheng Fishery Company Limited, Ningde 352100,P.R.China;

2.Department of Bioengineering, Ningde Normal University, Ningde 352100,P.R.China;

3.Fujian Higher Education Research Center for Local Biological Resources in
Ningde City, Ningde 352100,P.R.China;

4.Fishery Technology Promotion Station, Fishery Department of Ningde, Ningde 352100,P.R.China;

5.Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of
Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003,P.R.China;

6.Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of
Fishery Sciences, Qingdao 266071,P.R.China)

Abstract: Cage culture of *Larimichthys crocea* (large yellow croaker) is developing rapidly in China, bringing great economic benefit. However, the high frequency of disease outbreaks, limited available coastal land and ocean pollution threaten healthy culturing of *L. crocea*. Low-salt aquaculture at inland facilities may provide a solution to these problems. This study explored the effect of salinity on the survival, growth and otolith metal content of cultured *L. crocea*. In March 2016, healthy *L. crocea* [(average body weight, (0.083 ± 0.022) g; body length, (1.55 ± 0.16) cm] were selected for a 180-day culture experiment. Five salinity groups (2, 4, 6, 8, 24 mg/g) were tested and each treatment was run in triplicate, with 20 000 test fish for each treatment. Salinity, initially at 24 mg/g, was directly decreased to 8 mg/g, and then decreased by 2 mg/g each day to give treatment levels of 6 mg/g and 4 mg/g and the 2 mg/g treatment level was obtained by decreasing salinity 1mg/g per day. Test fish were fed twice a day at 2%–5% of body weight. During the experiment, water temperature was measured each day and, on the sixth day of each month, 50 *L. crocea* were randomly sampled for measurement of body length and weight. The metal content (Sr, Ca, Mn, Fe, Co and Ba) of otoliths in each group were determined after the 180-day experiment. The survival rate of the indoor cultured *L. crocea* decreased with increasing water temperature, but lower salinity enhanced survival at higher temperatures. *L. crocea* at 24 mg/g salinity all died at a water temperature of 28℃, but the survival rate at 2 mg/g salinity ($68.8\pm2.89\%$) was significantly higher ($P<0.01$) than in other salinity groups at 30℃. The quality, absolute growth rate, absolute weight gain rate and fatness of fish in the low-salinity treatment groups were higher than in the normal salinity group (24 mg/g). Otolith content of Mn, Ca, Sr and Sr/Ca was positively correlated with salinity ($P<0.05$), but no correlation was found between Fe, Co, Ba and salinity.

Key words: *Larimichthys crocea*; salinity; growth performance; survival rate; otolith