

镧对黄姑鱼幼鱼促生长作用和成活率影响的研究

陈超^{1,2}, 陈建国^{1,2}, 张廷廷^{1,2}, 邵彦翔^{1,3}, 谭鲁玉^{1,4}, 孙曙光¹, 张春禄^{1,2}, 张梦淇^{1,2}, 王孝山⁵, 徐加元⁵

(1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 3. 大连海洋大学 水产与生命学院, 大连 116023; 4. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 5. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 为探究镧对黄姑鱼(*Nibea albiflora*)幼鱼的促生长作用和成活率的影响, 本研究设 7 组不同镧质量浓度处理组, 采用不同方程对不同镧质量浓度组的体质量生长拟合。实验结果表明, 不同镧质量浓度处理组黄姑鱼幼鱼的生长速度差异显著($P<0.05$)。采用线性方程: 1.8 mg/L 处理组的体质量生长系数最大, 为 0.011 2, 而对照组(0 mg/L)的体质量生长系数最小, 为 0.009 9; 采用多项式方程: 1.8 mg/L 组全长生长系数的绝对值最大, 为 3.26, 而对照组(0 mg/L)的全长生长系数的绝对值最小, 为 1.17。镧对体质量增大率、全长增长率和特定生长率、死亡率均有显著的影响($P<0.05$), 用多项式方程分别对上述生长参数与镧质量浓度(C)之间的相关关系拟合得到, 体质量增大率= $162.93+42.79C+(-11.62)C^2$ ($R^2=0.95$), 全长增长率= $38.49+21.54C+(-7.27)C^2$ ($R^2=0.90$), 特定生长率= $1.08+0.16C+(-0.04)C^2$ ($R^2=0.93$), 死亡率= $62.91+(-22.88)C+7.19C^2$ ($R^2=0.54$)。根据方程, 得到最适体质量增大、最适全长增长、最适特定生长、最低死亡率的镧质量浓度分别为 1.84、1.48、2 和 1.59 mg/L。证实, 镧可促进黄姑鱼幼鱼的生长及提高成活率, 1.48~2 mg/L 为黄姑鱼幼鱼的最适生长的镧质量浓度范围。

关键词: 黄姑鱼幼鱼; 镧(La^{3+}); 体质量增大率; 全长增长率; 特定生长率; 平均死亡率

中图分类号: S94 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)09-0074-07

DOI: 10.11759/hyxx20170106001

黄姑鱼(*Nibea albiflora*)属鲈形目(Perciformes)、石首鱼科(Sciaenidae)、黄姑鱼属(*Nibea*), 体形与黄花鱼有相似处, 为近海中下层鱼类, 主要栖息于砂泥底质沿岸海域, 以小型甲壳类及小鱼等底栖动物为食^[1]。分布于太平洋西北部沿海、日本的土佐湾、中国的黄海和渤海^[2]。耐受温度为 8~33℃^[1], 最适温度为 24~29℃, 2 龄可性成熟, 耐受盐度为 10~40^[1]。黄姑鱼营养价值高、肉质鲜美, 是中国传统渔业的主要捕捞对象之一, 在中国近海渔业资源中占有重要地位^[3]。近年来, 由于不加节制的捕捞、海域污染的加剧, 加上弧菌类疾病和淀粉卵涡鞭虫(*Amyloodonum ocellatum*)、刺激隐核虫(*Cryptocaryon irritans*)为主的寄生虫病害等病害因素等^[4], 使黄姑鱼资源日趋衰退^[3]。

有研究表明, 稀土元素镧具有促进生物机体生长、调控生物机体免疫应答、增强机体抗病力等生理作用。稀土在农作物(水稻、玉米)生产、畜禽业(猪)和渔业(鱼、虾、贝、藻)的养殖产业中得到广泛应用。

稀土离子可以结合在生物体内的细胞膜或细胞器膜上, 从而调控膜上有关酶(钙调蛋白)的酶活性或者改变膜的通透性, 诱导生物机体体内相关基因的差异性表达, 来达到调控生物机体的免疫应答、机体生长发育的目的^[5-8]。王艳龙等^[9]研究证实, 镧是主要的稀土元素之一, 它在一定剂量范围内可以促进生物机体的生长, 在刺参(*Oplopanax elatus*)饲料中添加 50 mg/kg 的稀土元素镧与对照组相比, 可以提高 36.92%的特定生长率。周晓波等^[10]研究表明, 稀土离子通过参与或调节 Ca^{2+} 的代谢来调控生物机体的细胞伸长、细胞分裂。有关稀土对鱼类的作用研究已有许多报道^[9]。稀土作为饵料添加剂对团头鲂

收稿日期: 2017-01-06; 修回日期: 2017-04-19

基金项目: 国际合作项目(2012FDA30360)

[Foundation: Jointly Funded by International Cooperation Projects, No.2012FDA30360]

作者简介: 陈超(1959-), 男, 山东青岛人, 学士, 研究员, 主要从事海水鱼类苗种繁育和养殖技术研究, E-mail: ysfriechenao@126.com

(*Megalobrama amblycephala*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、青鱼 (*Mylopharyngodon peters*)、鲤 (*Cyprinus carpio*)、鲫 (*Carassius auratus*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*) 等鱼种的研究发现, 不仅能促进鱼体生长、降低饵料系数, 而且还能增强抗病能力、提高成活率^[11]。韩希福等^[11]研究表明, 在鲤鱼饵料中 20 mg/kg 的稀土元素镧可以显著提高鲤鱼的生长率。石文雷^[12]研究报道了 Vc 稀土作为饵料添加剂, 可以促进鱼体生长、饵料利用效率和成活率。韩希福^[13]研究表明, 稀土元素镧可以提高卤虫 (*Artemia salina*) 孵化率、变态率和成虫率。王艳龙等^[9]研究表明, 刺参饲料添加稀土元素镧, 可提高刺参机体的非特异性免疫酶的活性。

本实验旨在探讨在人工养殖条件下, 稀土元素镧对黄姑鱼幼鱼生长和成活率的影响, 以期镧元素在黄姑鱼苗种繁育的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物

选 90 日龄的黄姑鱼幼鱼体质量为 $0.46 \text{ g} \pm 0.14 \text{ g}$, 全长为 $3.64 \text{ cm} \pm 0.36 \text{ cm}$ 1 050 尾, 暂养于中国水产科学院东海水产研究所福建福鼎研究中心 7 日。

1.2 养殖管理

黄鱼幼鱼在室内暂养。挑选个体大小均匀的健康黄姑鱼, 21 个 200 L 圆柱形玻璃缸中。随机分为 7 组, 每组 3 个重复, 每个重复 50 尾黄姑鱼。饲养期间连续充氧, 盐度 14~20, pH 7.7~8.1, 溶氧为 7.5 ~ 8.1 mg/L, 氨氮为 0.48 mg/L, 亚硝氮为 0.045 mg/L。每天根据黄姑鱼摄食情况适当调整投饵量以达到饱食投喂, 投喂量为黄姑鱼体质量 5%~8%, 一天投喂两次, 投喂时间为 8: 00, 15: 00。次日 10: 00 清理残饵和粪便和更换 2/3 新鲜海水, 养殖实验持续 90 d。

1.3 镧元素的添加与取样

实验组采用浸泡法: 将氯化镧药品溶解于海水中, 实验组分为 6 组, 镧离子 (La^{3+}) 的质量浓度依次为 0.1、0.6、1.2、1.8、2.4、3.0 mg/L。空白对照组不添加氯化镧, 分别在 0、15、30、60、90 d 测量黄姑鱼幼鱼的全长、体质量, 并记录死亡鱼的数量。

1.4 实验中所涉及的生长性能公式^[14]:

平均体质量增大率 = $(W_f - W_i) / W_i \times 100\%$

平均全长增长率 = $(L_f - L_i) / L_i \times 100\%$

特定生长率 = $100 \times (\ln W_f - \ln W_i) / (t_f - t_i)$

死亡率 = $(\text{Sum}_f - \text{Sum}_i) / \text{Sum}_i \times 100\%$

其中, W_i 和 W_f 、 L_i 和 L_f 、 Sum_i 和 Sum_f 、 t_i 和 t_f 分别代表实验开始和结束时的体质量(g)、全长(cm), 实验材料数量以及时间^[14]。

本实验所有数据采用 Excel 2010, SPSS 22.0, Origin 7.0 软件进行统计学分析, 用平均值±标准差 (Means±SD) 的形式表示。全长、体质量的实验数据采用单因素方差 (One-Way-ANOVA) 分析。若差异显著 ($P < 0.05$), 则采用 Duncan 法进行多重比较, 并用 Origin 7.0 软件做出相关回归方程。

2 结果与分析

2.1 不同镧质量浓度对黄姑鱼幼鱼体质量生长和全长生长的影响

不同镧质量浓度处理组黄姑鱼幼鱼的体质量生长情况如图 1 所示。从图 1 可见, 1.8 mg/L 处理组中黄姑鱼幼鱼的体质量增大最快, 随着实验时间的增加, 其体质量显著地高于其他各处理组。用线性函数方程 ($W = a + b \times T$) 对不同镧质量浓度处理组黄姑鱼的体质量生长数据进行拟合, 0、0.1、0.6、1.2、1.8、2.4、3.0 mg/L 各质量浓度组下体质量的生长系数 b 值依次为: 0.0093、0.0099、0.0106、0.0108、0.0112、0.0097、0.0096。1.8 mg/L 处理组黄姑鱼幼鱼的体质量生长系数最大; 而对照组 (0 mg/L) 的体质量生长系数最小。从

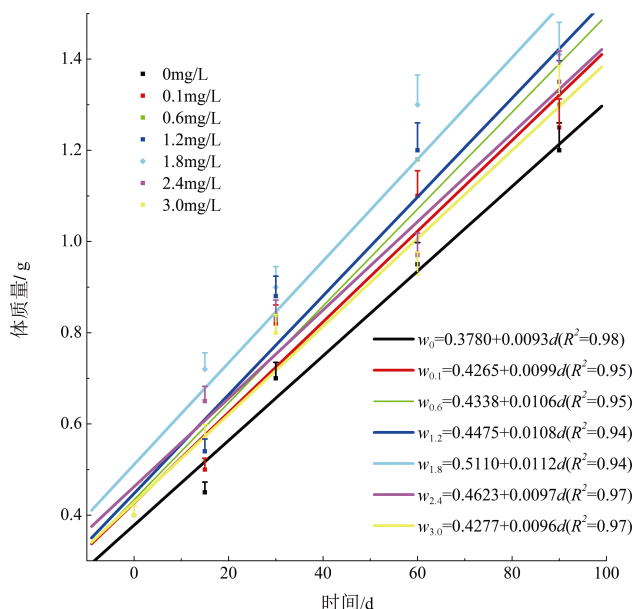


图 1 不同镧质量浓度对黄姑鱼体质量生长的影响

Fig. 1 Body weight of juvenile *Nibea albiflora* under different La^{3+} concentration treatments

体质量的生长系数 b 值来看, 生长最快的为 1.80 mg/L 处理组, 生长最慢的为对照组(图 2)。

不同镧质量浓度下黄姑鱼的全长生长情况如图 2 所示。从图 2 可见, 1.8 mg/L 处理组中黄姑鱼幼鱼的全长增长最快, 随着实验时间的增加, 其全长明显地高于其他各处理组。采用多项式函数方程($L=a+b_1 \times T+b_2 \times T^2$)对不同镧质量浓度组的黄姑鱼的全长生长数据进行拟合, 可见不同镧质量浓度下黄姑鱼幼鱼全长随时间(T)的生长拟合曲线的 b_2 值呈现显著差异。0、0.1、0.6、1.2、1.8、2.4、3.0 mg/L 各质量浓度组下体质量的生长系数 $|b_2|$ 值依次为: 1.17、1.82、1.65、2.68、3.26、2.37、1.90, 1.8 mg/L 组黄姑鱼幼鱼的全长生长系数最大, 而对照组(0 mg/L)的全长生长系数最小。从全长的生长系数 $|b_2|$ 值来看, 生长最快的为 1.80 mg/L 处理组, 生长最慢的为对照组(图 2)。

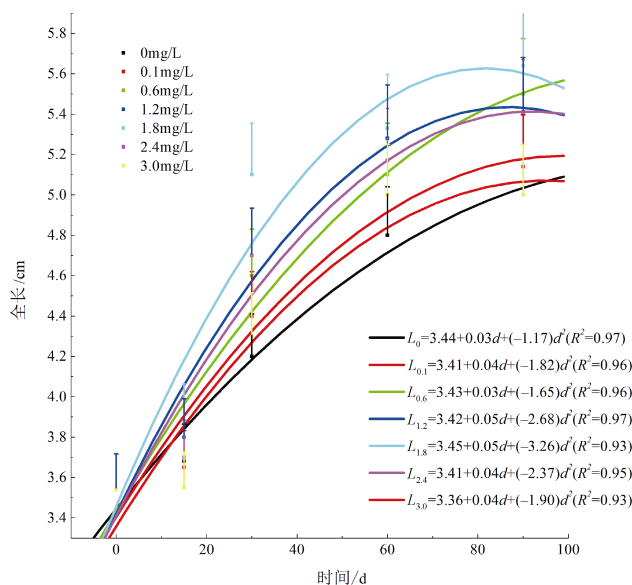


图 2 不同镧质量浓度对黄姑鱼全长生长的影响

Fig. 2 Body length of juvenile *Nibea albiflora* under different La^{3+} concentration treatments

2.2 不同镧质量浓度对黄姑鱼幼鱼各生长参数的影响

不同镧质量浓度处理组中黄姑鱼幼鱼的生长参数如表 1 所示。选取健康规格相近的黄姑鱼幼鱼, 进行随机分组实验。经过 90 d 的不同镧质量浓度 (La^{3+}) 处理后, 1.8 mg/L 处理的结束体质量显著大于对照组和其他处理组 ($P<0.05$), 1.8 mg/L 处理结束全长显著大于对照组、0.1、和 3.0 mg/L 处理组 ($P<0.05$), 与 0.6、1.2 和 2.4 mg/L 处理组无显著差异。另外, 镧对黄姑鱼幼鱼的平均体质量增大率、平均全长增长

率、特定生长率均产生了显著的影响。采用 Duncan 多重比较表明平均体质量增大率、平均全长增长率、特定生长率均是在 1.8 mg/L 处理组中最大, 并且显著地高于对照组 ($P<0.05$), 其中, 1.8 与 2.4 mg/L 的平均全长增长率和特定生长率无显著差异。死亡率在 1.8 mg/L 处理组中最小, 并且显著低于对照组 ($P<0.05$)。

2.3 最适生长镧离子 (La^{3+}) 浓度

对表 1 中不同浓度组的平均体质量增大率数据运用多项式函数方程拟合分析, 得出回归曲线如图 3 所示, 得出回归方程: 平均体质量增大率 $=162.93+42.79C+(-11.62)C^2$ ($R^2=0.95$), 得出平均体质量增大率最大时的镧离子浓度是 1.84 mg/L。对表 1 中不同浓度组的平均全长增长率数据运用多项式函数方程拟合分析, 得出回归曲线如图 4 所示, 得出回归方程式: 平均全长增长率 $=38.49+21.54C+(-7.27)C^2$ ($R^2=0.90$), 得出平均全长增长率最大时的镧离子浓度是 1.48 mg/L。对表 1 中不同浓度组的特定生长率数据运用多项式函数方程, 得出回归曲线如图 5 所示, 得出回归方程: 特定生长率 $=1.08+0.16C+(-0.04)C^2$ ($R^2=0.93$), 得出特定生长率最大时的镧离子浓度是 2 mg/L。对表 1 中不同浓度组的死亡率数据运用多项式函数方程拟合分析, 得出回归曲线如图 6 所示, 得出回归方程式: 死亡率 $=62.91+(-22.88)C+7.19C^2$ ($R^2=0.54$), 得到黄姑鱼最低死亡率的镧质量浓度为 1.59 mg/L。

通过对上述各生长参数与稀土元素镧的回归曲线可知, 镧离子浓度对黄姑鱼幼鱼的体质量增大、全长增长、特定生长、死亡率均有显著的影响, 通过回归方程, 求得黄姑鱼幼鱼的最适体质量增大、最适全长增长、最适特定生长和最底死亡率的镧离子 (La^{3+}) 浓度分别为 1.84、1.48、2 和 1.59 mg/L。综合上述各生长参数, 得出黄姑鱼幼鱼最适生长镧离子 (La^{3+}) 浓度范围为 1.48~2 mg/L。

3 讨论

3.1 稀土元素镧对黄姑鱼幼鱼促生长作用

有学者报道, 稀土元素添加在猪、鱼、虾、贝等动物的饲料中, 可以提高其生长速率^[15]。王敏奇等^[16]研究证实, 在猪饲料中添加稀土元素镧可以提高 13.06% 的日增质量和 6.53% 的饲料转化率。刘颖等^[17]研究证实, $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 可以提高大鼠 (*Rattus norvegicus*) 的体质量生长率和加速肝糖原的合成, 但是高于一

表 1 不同镧质量浓度处理组中黄姑鱼幼鱼的生长情况

Tab. 1 Growth of juvenile *Nibea albiflora* cultured under different Lanthanum concentration treatments (Mean $\pm$ SD)

项目	镧(La ³⁺)质量浓度 (mg/L)						
	0	0.1	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0
开始体质量(g)	0.46 $\pm$ 0.14 ^a	0.46 $\pm$ 0.14 ^a	0.46 $\pm$ 0.14 ^a	0.46 $\pm$ 0.14 ^a	0.46 $\pm$ 0.14 ^a	0.46 $\pm$ 0.14 ^a	0.46 $\pm$ 0.14 ^a
开始全长(cm)	3.64 $\pm$ 0.36 ^a	3.64 $\pm$ 0.36 ^a	3.64 $\pm$ 0.36 ^a	3.64 $\pm$ 0.36 ^a	3.64 $\pm$ 0.36 ^a	3.64 $\pm$ 0.36 ^a	3.64 $\pm$ 0.36 ^a
结束体质量(g)	1.20 $\pm$ 1.22 ^a	1.25 $\pm$ 1.34 ^{ab}	1.30 $\pm$ 2.01 ^b	1.33 $\pm$ 1.82 ^b	1.41 $\pm$ 2.21 ^c	1.35 $\pm$ 2.12 ^b	1.32 $\pm$ 1.32 ^b
结束全长(cm)	5.12 $\pm$ 0.32 ^a	5.14 $\pm$ 0.45 ^a	5.51 $\pm$ 0.43 ^b	5.41 $\pm$ 0.39 ^b	5.64 $\pm$ 0.47 ^b	5.41 $\pm$ 0.55 ^b	5.10 $\pm$ 0.42 ^a
体质量增大率(%)	160.87 $\pm$ 10.03 ^a	171.74 $\pm$ 25.09 ^b	182.61 $\pm$ 30.35 ^c	189.13 $\pm$ 18.23 ^c	206.52 $\pm$ 14.31 ^d	193.48 $\pm$ 19.61 ^c	186.96 $\pm$ 16.20 ^c
全长增长率(%)	37.36 $\pm$ 3.81 ^a	41.21 $\pm$ 4.21 ^a	51.09 $\pm$ 3.05 ^a	48.63 $\pm$ 3.51 ^a	54.95 $\pm$ 2.22 ^b	48.35 $\pm$ 2.52 ^b	37.36 $\pm$ 3.02 ^a
特定增长率(%)	1.06 $\pm$ 0.04 ^a	1.11 $\pm$ 0.03 ^a	1.15 $\pm$ 0.05 ^a	1.18 $\pm$ 0.05 ^a	1.24 $\pm$ 0.03 ^b	1.20 $\pm$ 0.04 ^b	1.17 $\pm$ 0.06 ^b
死亡率(%)	70.08 $\pm$ 3.91 ^a	50.02 $\pm$ 4.52 ^b	50.83 $\pm$ 5.82 ^b	50.00 $\pm$ 4.91 ^b	39.17 $\pm$ 5.72 ^c	55.00 $\pm$ 6.23 ^b	57.5 $\pm$ 5.42 ^b

注: 数据右上角不同的英文字母, 代表有显著性差异($P < 0.05$)

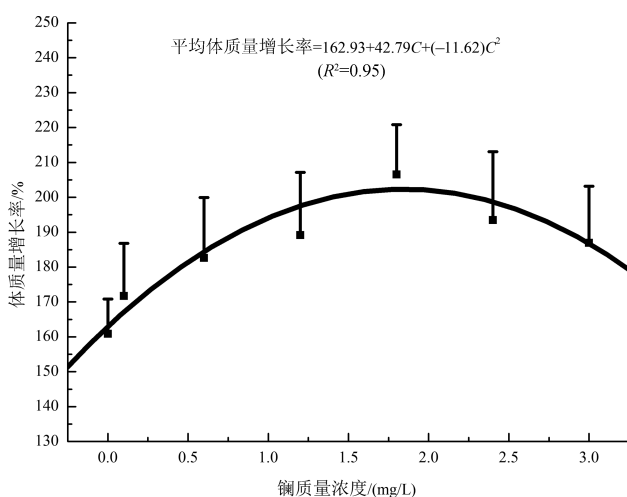


图 3 黄姑鱼幼鱼体质量增大率与不同镧质量浓度的拟合曲线

Fig. 3 Fitted curve between Lanthanum concentration and body length growth rate in juvenile *Nibea albiflora*

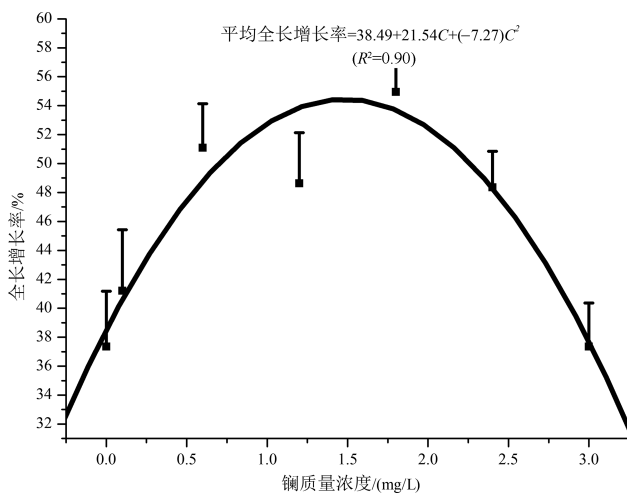


图 4 黄姑鱼幼鱼全长增长率与不同镧质量浓度的拟合曲线

Fig. 4 Fitted curve between concentration and body weight growth rate in juvenile *Nibea albiflora*

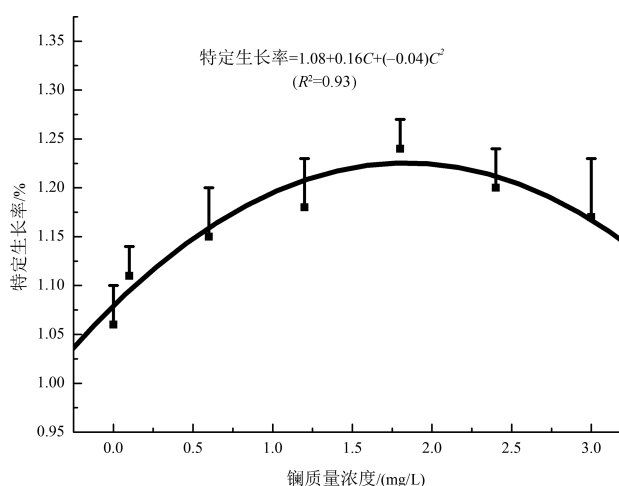


图 5 黄姑鱼幼鱼特定增长率与不同镧质量浓度的拟合曲线

Fig. 5 Fitted curve between Lanthanum concentration and specific growth rate in juvenile *Nibea albiflora*

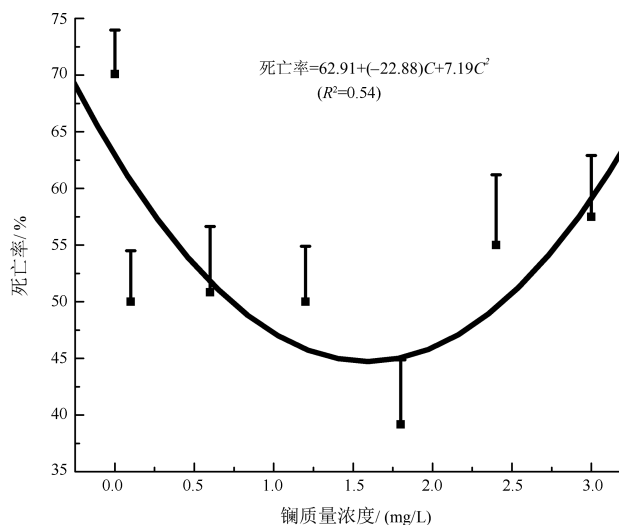


图 6 黄姑鱼幼鱼死亡率与不同镧质量浓度的拟合曲线

Fig. 6 Fitted curve between Lanthanum concentration and death rate in juvenile *Nibea albiflora*

定剂量(200 mg/kg)时,则作用相反。韩希福^[11]等研究表明,在鲤鱼饵料中 20 mg/kg 的稀土元素镧可以显著提高鲤鱼的生长率,25~30 mg/kg 也有一定的促生长作用。石文雷^[12]研究报道了 Vc 稀土作为饵料添加剂,一方面可以促进鱼体生长、提高饵料利用效率,另一方面可以提高鱼体的抗病能力、成活率。朱伯清等^[18]研究证实,东方对虾(*Penaeus orientalis*)饲料中添加 30~200 mg/kg 剂量的稀土物质,可以促进其生长,最适生长剂量为 60 mg/kg。辛福言等^[19]研究证实,稀土元素镧可以提高 17.1%~23.5% 的中国对虾(*Penaeus chinensis*)的受精卵的孵化率。韩希福等^[13]研究表明,稀土元素镧可以提高 16.5% 的卤虫(*Artemia salina*)孵化率、57.3%~57.8% 的变态率和 12.0%~12.3% 的成虫率,并且可以提高卤虫对杜氏盐藻(*Dunaliella salina*)的摄食强度,盐卤虫的最佳效应 La^{3+} 浓度为 1.8 mg/kg。宋凌云等^[20]研究证实,低剂量的镧可以加速满江红鱼腥草(*Cyanobacterium anabaena azollae*)叶绿素 a 的合成,提高其光合作用,并且可以促进其生长。赵宝华等^[21]研究证实:低剂量的 Ca^{2+} 和 La^{3+} 等离子可促进酿酒酵母生长($P<0.05$),而高剂量的 Ca^{2+} 和 La^{3+} 等离子则起到抑制作用。本研究证实,镧离子(La^{3+})浓度对黄姑鱼幼鱼的体质量增大、全长增长、特定生长均有显著的影响。通过回归方程,求得黄姑鱼幼鱼的最适体质量增大、最适全长增长、最适特定生长和最底死亡率的镧离子(La^{3+})质量浓度分别为 1.84、1.48、2 和 1.59 mg/L。因此,黄姑鱼幼鱼最适生长的稀土元素镧离子(La^{3+})质量浓度范围为 1.48~2 mg/L。

3.2 稀土元素镧对黄姑鱼幼鱼的成活率的影响

稀土元素不仅可以促进生物机体的生长,还可以提高动物的成活率。陈兴安等^[22]研究表明,低剂量(0.1 mg/kg)的柠檬酸稀土可以增强小鼠多核细胞的吞噬作用,进而提高动物机体的免疫能力。在“七五”期间,稀土养鱼示范田 2 000 hm^2 ,产量增加 14%~18%,鱼苗的成活率提高 14%,更降低了草鱼的赤皮、肠炎、烂鳃等病害的发生率。近 20 年来推广面积 660 万 hm^2 ,增加效益 20 亿元^[23]。王艳龙等^[9]研究表明,刺参(*Apostichopus japonicas*)饲料添加 50 mg/kg 的稀土元素镧,可以通过提高刺参机体的非特异性免疫酶的活性,来增强刺参机体免疫力和抗病力。邱关明等^[24]报道,稀土能使动物体抵抗力增强的原因很可能是稀土能够清除动物体内有害自由基。周光

理^[25]通过探究稀土元素镧对大鼠腹腔巨噬细胞生长的作用,证实了稀土离子对自由基具有消除作用。李健强等^[26]研究表明,稀土元素镧浸种处理,可以通过提高水稻(*Oryza glaberrima*)植株体内还原糖的和合成量糖、调控植物体内酚类含量,从而提高水稻植株的抗病能力。本研究证实,1.8 mg/L 处理组的稀土元素镧可以显著降低养殖实验中黄姑鱼幼鱼死亡率。通过死亡率的回归方程,求得黄姑鱼幼鱼的最底死亡率的稀土元素镧质量浓度为 1.59 mg/L。证实镧元素在自然海水条件下,也可以提高黄姑鱼的成活率。

参考文献:

- [1] 楼宝,史会来,毛国民,等.黄姑鱼全人工繁育及大规模苗种培育技术研究[J].现代渔业信息,2011,26(3):20-23.
Lou Bao, Shi Huilai, Mao Guomin, et al. Studies on techniques of the artificial breeding and Large size fingerling cultivating of spotted maigre (*Nibea albiflora*)[J]. Modern Fisheries Information, 2011, 26(3): 20-23.
- [2] 雷霖霖,陈超,徐延康,等.黄姑鱼工厂化育苗技术研究[J].海洋科学,1992,16(6):5-10.
Lei Jilin, Chen Chao, Xu Yankang, et al. Factory breeding technology research on *Nibea albiflora*[J]. Marine Sciences, 1992, 16(6): 5-10.
- [3] 林楠,姜亚洲,袁兴伟,等.象山港黄姑鱼的繁殖生物学[J].海洋渔业,2013,35(4):389-395.
Lin Nan, Jiang Yazhou, Yuan Xingwei, et al. Reproductive biology of *Nibea albiflora* in Xiangshan Bay[J]. Marine Fisheries, 2013, 35(4): 389-395.
- [4] 毛小伟,兰时乐,肖调义,等.日本黄姑鱼养殖生物学研究进展[J].水产科学,2012,31(4):245-248.
Mao Xiaowei, Lan Shile, Xiao Tiaoyi, et al. Research progress on culture biology of Japanese croaker *Nibea japonica*[J]. Fisheries Science, 2012, 31(4): 245-248.
- [5] He M L, Rambeck W A. Rare earth elements—a new generation of growth promoters for pigs[J]. Archives of Animal Nutrition, 2000, 53(4): 323-334.
- [6] 秦俊法,陈祥友,李增禧.稀土的生物学效应[J].广东微量元素科学,2002,9(3):1-16.
Qin Junfa, Chen Xiangyou, Li Zengxi. Biological effect of rare earth element[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2002, 9(3): 1-16.
- [7] 杨军,刘向生,王甲辰,等.我国稀土农用现状、发展趋势及对策[J].稀土信息,2009(4):29-31.
Yang Jun, Liu Xiangsheng, Wang Jiachen, et al. The current situation, development trend and countermeasures for China's agricultural rare earth[J]. Rare Earth

- Information, 2009 (4): 29-31.
- [8] 江良梁, 秦宜德, 陈程, 等. 饲喂硝酸镧对大鼠生长及肝脏中几种酶活性的影响[J]. 现代预防医学, 2007, 34(19): 3639-3641.
Jiang Liangliang, Qin Yide, Chen Cheng, et al. Effects of lanthanum nitrate on the growth and activities of several[J]. Modern Preventive Medicine, 2007, 34(19): 3639-3641.
- [9] 王艳龙, 徐玮, 汪东风, 等. 镧对刺参生长、免疫反应及抗病力的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(9): 54-60.
Wang Yanlong, Xu Wei, Wang Dongfeng, et al. Effects of dietary La^{3+} on growth, immunity and disease resistance to *Vibrio splendidus* of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(9): 54-60.
- [10] 周晓波, 魏幼璋. 稀土离子与 Ca^{2+} 在生物体内的相互作用机制及应用[J]. 生命科学研究, 1999, 3(1): 30-35.
Zhou Xiaobo, Wei Youzhang. Mechanism and application of interaction between rare earth and calcium in organism[J]. Life Science Research, 1999, 3(1): 30-35.
- [11] 韩希福, 王军萍, 李剑, 等. 稀土元素镧对鲤生长的影响[J]. 河北大学学报(自然科学版), 1997, 4: 50-54.
Han Xifu, Wang Junping, Li Jian, et al. Effects of Lanthanum on growth of carp *Cyprinus carpio*[J]. Journal of Hebei University, 1997, 4: 50-54.
- [12] 石文雷. 维生素 C 稀土养鱼及安全卫生评价[C]// 鱼虾营养研究进展. 北京: 科学出版社, 1995: 78-82.
Shi Wenlei. Vitamin C and rare earth in fish culture, and the evaluation of the safety and health[C]// view: fish and shrimp nutrition research progress. Beijing: Science Press, 1995: 78-82.
- [13] 韩希福. 稀土元素镧 III 对海水盐卤虫孵化率及变态率的影响[J]. 河北渔业, 1997, 1: 7-10.
Han Xifu. The effects of rare-earth element Lanthanum III on hatching rate and metamorphosis rate of brine shrimp (*Artemia salina*)[J]. Hebei Fisheries, 1997, 1: 7-10.
- [14] 宋超, 庄平, 章龙珍, 等. 不同温度对西伯利亚鲟幼鱼生长的影响[J]. 海洋渔业, 2014, 36(3): 239-246.
Song Chao, Zhuang Ping, Zhang Longzhen, et al. Influence of temperature on growth of juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baeri*[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(3): 239-246.
- [15] Shen Q, Zhang J, Wang C. Application of rare earth elements on animal production[J]. Feed Industry, 1991, 12: 21-22.
- [16] 王敏奇, 许梓荣. 饲料中添加镧对猪生长的影响及安全性[J]. 中国兽医学报, 2003, 23(1): 88-90.
Wang Minqi, Xu Zirong. Effect of supplemental Lanthanum on growth performance of pigs and its security as a feed additive[J]. Chinese Journal of Veterinary Science, 2003, 23(1): 88-90.
- [17] 刘颖, 孙淑艳. 硝酸镧对大鼠肝脏的亚慢性毒性实验研究[J]. 中国稀土学报, 2001, 19(2): 167-170.
Liu Ying, Sun Shuyan. Subchronic toxicity of Lanthanum nitrate on liver of rats[J]. Journal of The Chinese Rare Earths Society, 2001, 19(2): 167-170.
- [18] 朱伯清, 徐明起. 添加稀土元素的配合饲料对中国对虾生长效果的研究[J]. 中国水产科学, 1995(2): 15-22.
Zhu Boqing, Xu Mingqi. The study on effect of artificial feed with rare-earth elements on *Penaeus chinensis* growth[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1995(2): 15-22.
- [19] 幸福言, 袁有宪, 曲克明. 镧对中国对虾卵子孵化和无节幼体变态的影响[J]. 中国稀土学报, 1997, 15(1): 89-92.
Xin Fuyan, Yuan Youxian, Qu Keming. Effect of Lanthanum on egg hatching and naupliar metamorphosis of *Penaeus chinensis*[J]. Journal of The Chinese Rare Earths Society, 1997, 15(1): 89-92.
- [20] 宋凌云, 胡文月, 赵继贞, 等. 稀土元素镧对满江红鱼腥藻的生理影响[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(6): 783.
Song Lingyun, Hu Wenyue, Zhao Jizhen, et al. Physiological effects of Lanthanum on *Cyanobacterium anabaena azollae*[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2000, 36(6): 783.
- [21] 赵宝华, 齐志广, 孙涛. 介质 Ca^{2+} 和 La^{3+} 对酿酒酵母生长的影响[J]. 微生物学通报, 2000, 27(1): 33-36.
Zhao Baohua, Qi Zhiguang, Sun Tao. A function of mutagenesis on *Saccharomyces cerevisiae* irradiated by CO_2 laser[J]. Microbiology China, 2000, 27(1): 33-36.
- [22] 陈兴安, 贺秋晨, 关腾, 等. 小剂量柠檬酸稀土对小鼠中性多形核白细胞吞噬功能的影响[J]. 中国稀土学报, 1995, 13(1): 70-73.
Chen Xingan, He Qiuchen, Guan Teng, et al. The effect by small doses of citric acid rare earth to neutral polymorphonuclear leukocyte phagocytosis of mice[J]. Journal of The Chinese Rare Earths Society, 1995, 13(1): 70-73.
- [23] 韩希福, 王军萍. 稀土元素在渔业上的应用[J]. 中国水产科学, 1998, 5(4): 96-100.
Han Xifu, Wang Junping. Application of rare earth elements in fisheries[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(4): 96-100.
- [24] 邱关明, 李幼荣, 陈石燕, 等. 稀土对生物机体剂量效应机理的研究进展[J]. 稀土, 2003, 24(1): 49-56.
Qiu Guanming, Li Yourong, Chen Shiyan, et al. Advance in research on dose-dependent mechanism of rare earths on organism[J]. Chinese Rare Earths, 2003, 24(1): 49-56.

- 49-56.
- [25] 周光理. 镧离子对大鼠腹腔巨噬细胞生长过程影响的研究[J]. 微量元素与健康研究, 2002, 19(1): 7-9.
Zhou Guangli. To study the effects of Lanthanum on the growth of peritoneal macrophages[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2002, 19(1): 7-9.
- [26] 李健强, 王恩东, 王建辉, 等. 三唑酮拌种对小麦苗期叶片中还原糖和游离氨基酸含量的影响[J]. 河北农业大学学报, 1995, 18(4): 89-92.
Li Jianqiang, Wang Endong, Wang Jianhui, et al. Study of reducing sugar and free amino acid contents in seedling leaves of triadimefon treated wheat seeds[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 1995, 18(4): 89-92.

Effect of Lanthanum (La^{3+}) on growth and survival rate of *Nibea albiflora* larvae

CHEN Chao^{1, 2}, CHEN Jian-guo^{1, 2}, ZHANG Ting-ting^{1, 2}, SHAO Yan-xiang^{1, 3}, TAN Lu-yu^{1, 4}, SUN Shu-guang¹, ZHANG Chun-lu^{1, 2}, ZHANG Meng-qi^{1, 2}, WANG Xiao-shan⁵, XU Jia-yuan⁵

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Qingdao 266071, China; 2. College of Fisheries and Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. College of Fisheries and Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 4. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 5. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Received: Jan. 6, 2017

Key words: Juvenile *Nibea albiflora*; La^{3+} ; body weight growth rate; body length growth rate; specific growth rate; average mortality rate

Abstract: To investigate the role of La^{3+} in the growth and survival rate of *Nibea albiflora* larvae, we designed seven different concentration treatment groups of La^{3+} . Results showed that La^{3+} has a significant effect on the larval growth ($P < 0.05$). Statistical analysis revealed correlations between body weight (W) and culture days (d) in the linear equation, wherein the 1.8 mg/L treatment group showed the maximum body weight coefficient of 0.0112, whereas the control group (0 mg/L) showed the minimum coefficient of 0.009 9. Correlations between body length (L) and culture days (d) could be described by the polynomial equation, in which the 1.8 mg/L treatment group showed the maximum length growth coefficient of 3.26, whereas the control group (0 mg/L) showed the minimum length growth coefficient of 1.17. $\text{La}^{3+}(\text{C})$ had a significant influence on the body weight growth rate, body length growth rate, specific growth rate, and average mortality rate ($P < 0.05$). The polynomial equations with the correlations are as follows: body weight growth rate = $162.93 + 42.79\text{C} + (-11.62) \text{C}^2$ ($R^2 = 0.95$), body length growth rate = $38.49 + 21.54\text{C} + (-7.27) \text{C}^2$ ($R^2 = 0.90$), specific growth rate = $1.08 + 0.16\text{C} + (-0.04) \text{C}^2$ ($R^2 = 0.93$), and average mortality rate = $62.91 + (-22.88)\text{C} + 7.19 \text{C}^2$ ($R^2 = 0.54$). According to the regression equation, the optimal weight growth, the optimum length growth, the optimal specific growth, and the lowest mortality were observed at La^{3+} concentrations of 1.84, 1.48, 2 and 1.59 mg/L, respectively. This study confirmed that La^{3+} has a growth-promoting action and improves the survival rate of *N. albiflora*, and the optimum concentration range is 1.48–2 mg/L.

(本文编辑: 谭雪静)