

文章编号: 1674-5566(2012)02-0204-08

大黄鱼早期发育阶段对盐度的适应性

李 兵, 钟英斌, 吕为群

(上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘 要: 在5、10、25、40及45这5种盐度梯度下,对大黄鱼初孵仔鱼、开口仔鱼、卵黄囊消失仔鱼、油球消失仔鱼、稚鱼和30日龄幼鱼的耐盐性进行了比较研究,对不同发育时期的死亡率、半数死亡时间、平均死亡时间及72 h半致死盐度等耐盐指标进行了分析。实验结果显示,大黄鱼早期各发育阶段对盐度的适应范围为:30日龄幼鱼为5.5~41.0,卵黄囊消失仔鱼为6.8~23.3,开口仔鱼为8.2~39.4,稚鱼为9.3~26.7,初孵仔鱼为18.9~33.1。表明30日龄幼鱼具有较强的耐盐性,尤其能在较低盐度(5.5)的环境中生活,为大黄鱼的淡化养殖及白点病的淡水浴治疗提供了依据。在正常海水盐度和不投饵状态下,各发育阶段的半数死亡时间,即饥饿不可逆点为:初孵仔鱼(8.6 d) > 开口仔鱼(6.5 d) > 30日龄幼鱼(5.5 d) > 卵黄囊消失仔鱼(4.6 d) > 稚鱼(4.0 d) > 油球消失仔鱼(1.8 d)。此结果说明在仔鱼开口后应加强外源性营养的投喂,将有助于提高幼体对低盐度的耐受性及其成活率。

研究亮点: 国内外首次对大黄鱼早期不同发育阶段的耐盐性进行了系统性分析。运用各种耐盐指标测试了大黄鱼苗早期各发育阶段的耐盐性,采用不同方法测定了大黄鱼初孵仔鱼的存活系数,为大黄鱼早期生活环境的选择以及饵料的投喂奠定了基础。

关键词: 大黄鱼;早期发育;耐盐性

中图分类号: S 917; S 965.322
文献标志码: A

大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*) 属鲈形目 (Perciformes)、石首鱼科 (Sciaenidae)、黄鱼属 (*Pseudosciaena*), 为暖温性集群洄游鱼类, 生活于近海的中、下层水域^[1], 是我国的特有鱼种和传统的海产经济鱼类之一。其肉质细嫩鲜美、高蛋白、低胆固醇, 富含 EPA、DHA 等高度不饱和脂肪酸, 是我国沿海传统的滋补海产品。自 1985 年突破大黄鱼人工繁育技术以来, 充足的鱼苗为我国东海、南海、黄海等地区的大黄鱼人工养殖提供了必要的保障, 到 20 世纪末, 大黄鱼已成为我国海水网箱单一品种养殖产量最高的鱼种之一^[2]。

在人工育苗过程中, 仔鱼开口阶段、仔鱼后期饵料转换阶段以及稚鱼鳞片生长阶段鱼苗死亡率高, 是苗种培育的 3 个主要危险期^[3]。在苗种培育过程中, 3 个主要危险期伴随着苗种各种器官系统、生理机能的形成、发育和完善^[4], 对环

境因子的变化非常敏感, 环境因子对鱼种的生长、发育及存活都有非常重要的影响, 其中盐度就是极其重要的因子。关于盐度对大黄鱼早期不同发育阶段影响的研究文献很少^[5-7], 并未见系统性分析的报道。本文以大黄鱼早期各发育阶段鱼苗为材料, 采用盐度骤变、不投饵的方法, 研究了盐度对其各个发育阶段死亡率的影响, 为大黄鱼早期发育阶段生活盐度及饵料投喂时间的选择提供依据; 同时研究了各个发育阶段对盐度的耐受能力, 推断其淡化养殖的可行性, 为大黄鱼养殖范围的扩大以及大黄鱼白点病的淡水治疗提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点和亲鱼来源

试验于 2011 年 5 月在福建省宁德市横屿岛

收稿日期: 2011-07-23 修回日期: 2011-11-04

基金项目: 上海市科学技术委员会重点项目(10JC1406200, 11320501200); 上海市教育委员会重点创新项目(10ZZ102); 国家自然科学基金(31072228)

作者简介: 李 兵(1984—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海水鱼淡化养殖。E-mail: libing_shou@163.com

通讯作者: 吕为群, E-mail: wqlv@shou.edu.cn

水产养殖有限公司试验场进行。从养殖在官井洋海区网箱的 2 龄候选亲本群体中挑选性腺发育良好、体形正常、活力好且无外伤的雌雄个体,雌鱼体长 27.04 ~ 29.73 cm,雄鱼体长 19.22 ~ 21.77 cm。

1.2 受精卵及鱼苗管理

人工催产通过在大黄鱼胸鳍基部腹腔注射 LRH-A3 进行,催产水温为 $(25 \pm 0.6)^\circ\text{C}$,水泥池中自然产卵;受精卵孵化和鱼苗培育均在 500 L 黑色孵化桶进行;育苗用水经室外蓄水池沉淀,二级砂滤池过滤,进育苗池前再经滤袋过滤。水温控制在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$;盐度控制在 25 ± 0.5 ;pH 为 7.8 ~ 8.4。光照强度控制在 500 lx 内,全天候光照。受精卵至 15 日龄鱼苗每日换水 20%,16 日龄至 30 日龄鱼苗每日换水量为 100%。每日吸底 2 次,以清除池底残饵及死苗。桶内放置 1 个充

气石,开始弱充气,随鱼苗增长适当加大充气量。3 日龄至 7 日龄鱼苗投喂经酵母、海洋小球藻强化培养的轮虫,密度为每毫升 10 ~ 15 个;8 日龄至 10 日龄鱼苗投喂卤虫无节幼体,密度为每毫升 1.5 ~ 2 个;11 日龄至 30 日龄鱼苗投喂天然海区捕捞的活桡足类,密度为每毫升 0.2 ~ 1 个。每天投喂 2 次,投喂前进行吸底、换水。

1.3 试验鱼苗的选择

试验大黄鱼各发育阶段特征见表 1。各发育阶段的划分参照相关鱼类的研究成果^[4,8-10]及大黄鱼仔、稚、幼鱼消化系统发育的组织学研究结果^[3]。仔鱼阶段的肠为 1 道弯曲,胃及幽门盲囊均未出现;当胃及幽门盲囊出现,肠为 2 道弯曲时,已进入稚鱼发育阶段;而进入幼鱼期的依据为全身出现鳞片。

表 1 大黄鱼早期发育阶段的特性

Tab. 1 The early development stages of *P. crocea*

特性类型	初孵仔鱼	开口仔鱼	卵黄囊消失仔鱼	油球消失仔鱼	稚鱼	幼鱼
划分依据	破膜而出	口已开启	卵黄囊消失	油球消失	肠 2 道弯曲	全身出现鳞片
孵化后天数	1 d	3 d	4 d	10 d	20 d	30 d
摄食饵料种类	轮虫 + 绿藻	轮虫	轮虫	轮虫 + 卤虫	桡足类	桡足类

1.4 试验盐度与设计

共设计 5、10、25、40 和 45 的 5 个盐度梯度组,其中对照组为盐度 25 的砂滤海水;每组设 3 个重复,各组试验鱼密度如下:初孵仔鱼至油球消失仔鱼为 500 mL 玻璃烧杯中放置 50 尾;稚鱼为 500 mL 玻璃烧杯中放置 30 尾;幼鱼为 10 L 塑料水桶中放置 50 尾。高盐度组由红海盐和砂滤后的海水调配而成,低盐度组为砂滤后的海水和经曝气的自来水调配而成。采用盐度骤变的方法将试验鱼从盐度为 25 的砂滤海水中转入其他各盐度组中。初孵仔鱼至稚鱼试验期间,不投饵、不充气、不换水。30 日龄幼鱼试验期间采用不投饵、不换水但需充气。

1.5 耐盐指标

试验中,每天 8:00、12:00 和 18:00 记录鱼苗死亡数量,一旦发现死亡鱼苗立即捞出。死亡的标准:身体发白,鱼体倾翻,鳃盖停止活动,用解剖针针刺没有反应^[11]。选取如下耐盐性指标进行观测。

死亡率:将试验鱼直接从正常海水中移入低盐或者高盐环境,在一定时间内,死亡个体所占

试验鱼总数的百分比。

半数死亡时间(median death time, DT_{50}):将海水鱼从正常海水中移入低盐或者高盐环境后至 50% 试验鱼死亡的时间(h)。

平均死亡时间(mean death time, MDT):将海水鱼从正常海水中移入低盐或者高盐环境中,待鱼全部死亡,统计每条鱼的存活时间。平均死亡时间为每条鱼的存活时间总和与开始时鱼苗总数的比值。

72 h 半致死盐度(median lethal salinity-72 h, MLS-72):将海水鱼从正常海水中移入低盐或者高盐环境后,饲养至 72 h 时死亡一半所对应的盐度值。计算公式如下^[12]:

$$M = S_1(M_2 - 50\%) / (M_2 - M_1) + S_2(50\% - M_1) / (M_2 - M_1) \quad (1)$$

式中: M 为鱼苗的 72 h 半致死盐度; S_1 和 S_2 为不同盐度值; M_1 为 S_1 条件下 72 h 的死亡率; M_2 为 S_2 条件下 72 h 死亡率,且 $M_2 > 50\% > M_1$ 。

早期仔鱼不投饵存活系数(survival activity index, S_{AI}):早期仔鱼在不投饵状态下,各盐度下的存活系数。计算公式如下^[13]:

$$S_{AI} = \sum_{i=1}^k (N - h_i) \times i / N \quad (2)$$

式中: N 为试验初始时的仔鱼数; k 为仔鱼全部死亡所需的天数; h_i 为第 i 天仔鱼的累计死亡数。

1.6 数据处理

统计软件为 GraphPad Prism 5.0 Demo 和 Excel 2003, 所有试验数据平均数用单因素方差分析, 以 $P < 0.05$ 为显著差异, $P > 0.05$ 为无显著差异。

2 结果

2.1 大黄鱼早期各发育阶段的死亡率

大黄鱼早期各发育阶段在不同盐度下的死亡率见图 1。参考半数死亡率分析, 初孵仔鱼在盐度 5、10、40 及 45 条件下 72 h 内死亡率都比较高, 死亡率均超过 50%, 而在盐度 25 条件下, 72 h 内死亡率为 16.1%。说明初孵仔鱼不适应较高

和较低盐度环境。开口仔鱼在 72 h 内死亡率除盐度 10 和 25 未超过 20% 外, 其他各盐度下死亡率均超过 50%, 说明仔鱼在开口后对低盐环境 (盐度 10) 适应性有所增强。卵黄囊消失仔鱼, 72 h 内除盐度 10 死亡率未超过 20% 以外, 其他盐度下死亡率都超过了 50%, 说明卵黄囊消失仔鱼更适应于盐度 10 左右的低盐环境。油球消失仔鱼 24 h 后在各个盐度下的死亡率都比较高, 说明油球消失仔鱼是一个比较脆弱的时期。在稚鱼期, 盐度 10 和 25 条件下 24 h 死亡率为 20% 左右, 72 h 仍未超过 50%, 而其他各盐度 24 h 死亡率均超过 50%, 说明稚鱼期的渗透压调控功能较弱, 死亡率较高。30 日龄幼鱼, 在盐度 10 和 25 条件下, 96 h 的死亡率未超过 10%, 而其他盐度下死亡率均超过 50%, 说明 30 日龄幼鱼的渗透压调控功能明显增强, 具有较高的低盐耐受能力。

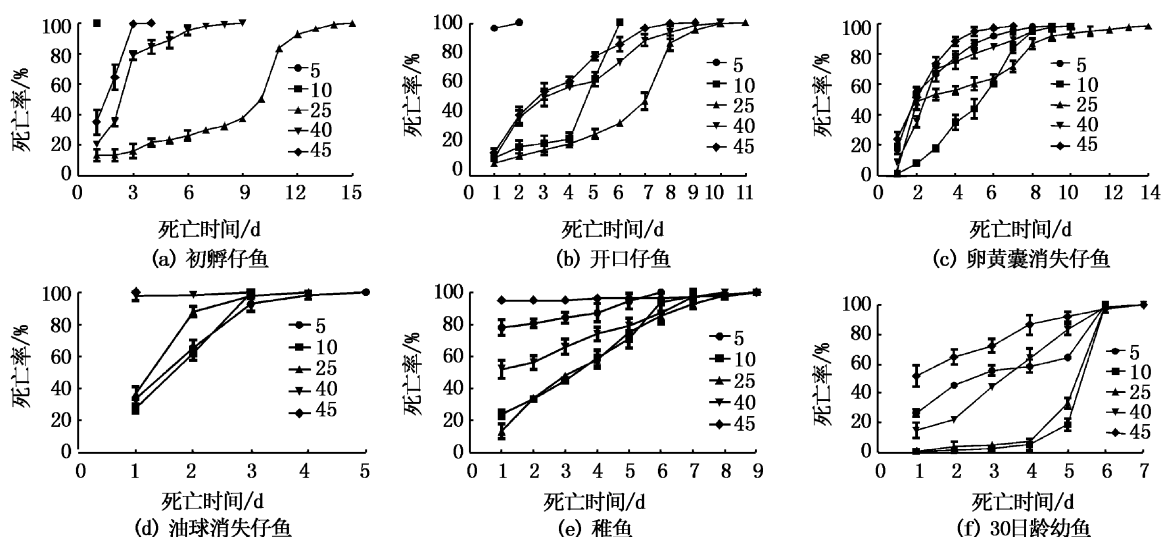


图 1 大黄鱼早期不同发育阶段的死亡率

Fig. 1 Mortality rates of *P. crocea* at different stages in early development

2.2 不同盐度下各期仔鱼的不投饵存活系数 S_{AI}

通过计算每天死亡的仔鱼数, 直至仔鱼全部死亡, 然后求得各盐度下仔鱼的 S_{AI} 值, 不同盐度下各发育期仔鱼的不投饵系数 S_{AI} 值见表 2。初孵仔鱼在较低盐度 (5, 10) 和较高盐度 (40, 45) 下的 S_{AI} 值明显小于砂滤海水盐度下的 S_{AI} 值。后期的 3 个仔鱼发育阶段, 其 S_{AI} 值在各盐度下变化也较大。因此可以得出, 盐度的剧烈波动对仔鱼的 S_{AI} 影响较大。

2.3 半数死亡时间 (DT_{50}) 和平均死亡时间 (MDT)

大黄鱼早期各发育阶段的 DT_{50} 详见图 2。大黄鱼早期各发育阶段的 DT_{50} 在不同盐度下表现差别较大。在盐度 5 条件下, 其 DT_{50} 均小于 48 h; 在盐度 10 条件下, 除卵黄囊消失仔鱼和稚鱼试验组外, 其他各期的 DT_{50} 均超过了 96 h; 在盐度 40 条件下, 油球消失仔鱼试验组的 DT_{50} 为 3.3 h, 稚鱼试验组的 DT_{50} 为 20.0 h, 其他各发育期均超过了 96 h; 在盐度 45 条件下, 油球消失仔鱼、稚

鱼试验组的 DT_{50} 均为 2.5 h,明显低于其他发育阶段的鱼苗;而在砂滤海水中,各个期的 DT_{50} 也差别很大,表现为:初孵仔鱼(207.3 h) > 开口仔

鱼(155.6 h) > 30 日龄幼鱼(131.9 h) > 卵黄囊消失仔鱼(111.5 h) > 稚鱼(95.2 h) > 油球消失仔鱼(42.5 h)。

表 2 大黄鱼仔鱼不同盐度下的不投饵存活系数 S_{AI}
Tab. 2 The S_{AI} of *P. crocea* larvae under different salinities

仔鱼时期	5	10	25	40	45
初孵仔鱼	0 ^a	0 ^a	40.42 ± 1.18 ^b	5.13 ± 2.03 ^c	1.37 ± 0.11 ^a
开口仔鱼	0.04 ± 0.01 ^a	9.72 ± 0.59 ^b	20.99 ± 1.99 ^c	10.18 ± 1.16 ^b	7.17 ± 0.94 ^d
卵黄囊消失仔鱼	4.68 ± 0.76 ^{ac}	14.18 ± 0.22 ^b	13.68 ± 1.47 ^b	6.66 ± 1.05 ^a	3.11 ± 0.53 ^c
油球消失仔鱼	1.62 ± 0.24 ^a	1.49 ± 0.09 ^a	0.94 ± 0.05 ^b	0.03 ± 0.05 ^c	0 ^c

注:表中同行数据(平均值 ± 标准差)后面的不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。

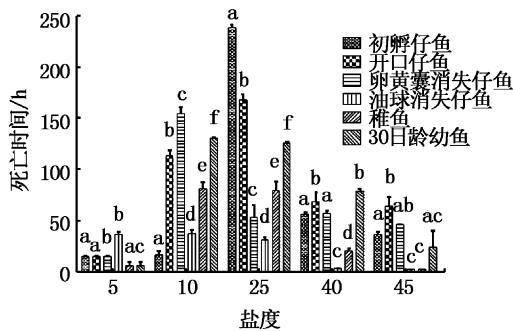


图 2 不同盐度条件下大黄鱼早期各发育阶段的 DT_{50}

Fig. 2 The DT_{50} of *P. crocea* in different early development stages under different salinities

图中同盐度下上标的不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。

大黄鱼早期各发育阶段在不同盐度下的 MDT 差别也较大(图 3)。在盐度 5、40 和 45 条件下,其 MDT 均小于 96 h;在盐度 10 条件下,初孵仔鱼、油球消失仔鱼和稚鱼试验组的 MDT 也均小于 96 h;而在砂滤海水中,除油球消失仔鱼、稚鱼和卵黄囊消失仔鱼试验组外,其他各发育阶段的平均存活时间均大于 120 h。

从 DT_{50} 和 MDT 结果可以看出,大黄鱼早期发育阶段的适盐范围为 10~40。

2.4 大黄鱼早期各发育阶段 72 h 存活率及 MLS-72 值

关于 MLS 值的确定,需要在特定的时间内各盐度下的死亡率有一盐度下的试验鱼死亡率高于或低于 50%,而在本试验中,72 h 各盐度下死亡率均在 50% 左右,因此将 72 h 作为试验点。在砂滤海水中,30 日龄幼鱼 72 h 存活率最高(94.8%),油球消失仔鱼存活率最低,仅为 2.2%。在盐度 5 和 45 条件下,各发育时期 72 h 存活率基本均在 50% 以下,而在低盐度 10 条件下,初孵仔鱼和油球消失仔鱼试验组在 72 h 的存

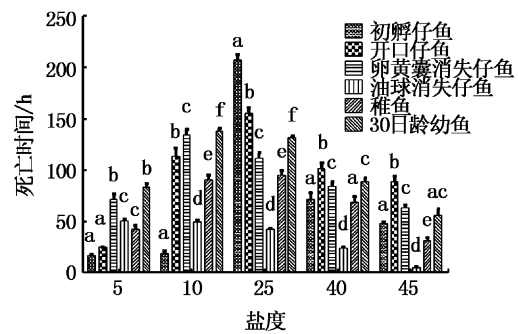


图 3 不同盐度条件下大黄鱼早期各发育阶段的 MDT

Fig. 3 The MDT of *P. crocea* in different early development stages under different salinities

图中同盐度下上标的不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。

活率均为 0,而其他各组均在 55% 以上。由此可见,大黄鱼早期生活的适盐范围为 10~40。大黄鱼早期不同发育阶段在不同盐度下 72 h 成活率和 72 h 半致死盐度(MLS-72)见表 3。根据 72 h 存活率及 MLS-72 可判定大黄鱼不同早期发育阶段的耐盐性:耐受最低盐度比较为 30 日龄幼鱼 > 卵黄囊消失仔鱼 > 开口仔鱼 > 稚鱼 > 初孵仔鱼 > 油球消失仔鱼;耐受最高盐度比较为 30 日龄幼鱼 > 卵黄囊消失仔鱼 > 开口仔鱼 > 初孵仔鱼 > 稚鱼 > 油球消失仔鱼。

3 讨论

在海水鱼类苗种培育阶段,盐度对其胚胎发育^[14]、仔稚幼鱼的生长发育和存活^[15]均起到至关重要的作用。盐度通过影响鱼类机体的渗透调节、脂肪酸组成^[16]、消化酶^[17]、抗氧化酶^[18]活力的大小和免疫相关因子含量^[19]等指标,进而影响到机体对渗透压的调节、食物的消化吸收和对病害的抵抗能力,并最终影响鱼类的生长和存活。

表3 经72 h试验后不同盐度条件下大黄鱼早期不同发育阶段的成活率及MLS-72
Tab.3 The survival rate and MLS-72 of *P. crocea*
in different early development stages under different salinities for 72 hours

发育时期	不同盐度下72 h后的成活率/%					MLS-72	
	5	10	25	40	45	适宜最高盐度	适宜最低盐度
初孵仔鱼	0	0	83.9±4.6 ^b	21.2±2.7 ^c	0.6±1.0 ^a	33.1	18.9
开口仔鱼	0	78.7±4.9 ^b	82.8±1.9 ^{bc}	48.8±5.9 ^c	44.7±5.5 ^d	39.4	8.2
卵黄囊消失仔鱼	31.8±5.0 ^{ac}	81.2±1.9 ^b	45.5±3.8 ^c	28.5±2.5 ^a	25.1±4.7 ^a	23.3	6.8
油球消失仔鱼	7.4±4.4 ^a	0	2.2±1.9 ^b	0	0	-	-
稚鱼	15.7±3.2 ^a	55.3±2.3 ^b	52.0±2.3 ^b	34.0±4.8 ^c	4.8±1.5 ^d	26.7	9.3
30日龄幼鱼	44.6±3.4 ^a	97.4±1.1 ^b	94.8±1.2 ^b	55.3±1.7 ^c	27.7±4.7 ^d	41.0	5.5

注:表中同行数据(平均值±标准差)后面的不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。

3.1 大黄鱼早期不同发育阶段的盐度适应性

对于海水硬骨鱼类而言,初孵仔鱼的体液渗透压为12~16,当环境盐度较低时,仔鱼用于维持体内渗透压的稳定而消耗的能量也减少,从而有利于仔鱼的生存^[20]。本研究中,初孵仔鱼在低盐(盐度10以下)和高盐(盐度40以上)环境中,存活率比较低,鱼体自身的渗透调节能力已无法完全应对严峻的渗透压力,虽然也进行渗透调节,但仍无法维持鱼体内正常的渗透压水平,鱼体应有的稳定的内环境遭到破坏,必然会使各种生理活动无法正常进行,造成在此盐度下仔鱼的高死亡率。而在盐度10~40环境盐度中,初孵仔鱼大都保持静止状态,因而其消耗的能量也大大降低。同时,在实验期间,初孵仔鱼体内所贮存的能量足以维持体内渗透压平衡,不会造成能量的短缺。大黄鱼的这一特性与海水鱼牙鲆相似^[21],都属于海水广盐性鱼类。

从大黄鱼人工养殖过程中可以看出,仔鱼油球消失时面临两大生存考验,即内源性营养消失和饵料转变过程^[4]。在试验过程中,油球消失仔鱼消化系统及其他功能系统的发育需要大量营养供给,而外界无营养供应(不投饵),不足以维持此时期的营养要求,存活时间明显缩短,大黄鱼仔鱼油球消失期死亡率较高,这与徐晓津等^[3]报道的相同,为一个“危险期”。即使在砂滤海水中,不投饵状态,存活时间也较短,而在应对外界环境盐度变化时,油球消失仔鱼的死亡率变化并不与盐度变化程度成比例关系,这可能是自身内源因子的压力大于外源因子的压力,从而导致不规则死亡,其具体死亡原因需进一步研究。

当外界环境盐度变化超过鱼类的耐受力时,鱼类最终将因内环境的紊乱而导致死亡^[22-23],ATWOOD等^[24]研究表明军曹鱼稚鱼在盐度低于

5时,其低盐度超过了该鱼的渗透压调节极限,会大量死亡。本试验中也得到相似结果,在盐度5、40和45条件下,各发育期试验组的死亡均较高,前3d死亡率均持续上升,这可能由于外界环境盐度的变化超过了各试验组的渗透调节能力,在短时间内不能恢复,从而导致死亡。在盐度10和25条件下,30日龄幼鱼、开口仔鱼和初孵仔鱼死亡率均有一个缓慢升高期,即渗透压水平恢复期,该3组试验组能在短时间内恢复体内渗透压平衡,在96h小时内死亡率均比较小。

在试验条件下,初孵仔鱼在低盐度环境中适宜生存,与自然环境条件下沿海岸孵化仔鱼生存的环境相似。人工育苗过程中油球消失仔鱼的饵料改变是由于自身营养需求提高,需要营养更全面的饵料,而在自然环境中大黄鱼则需进行索饵洄游以满足自身营养需求。以上结果与徐兆礼和陈佳杰^[25]东黄海大黄鱼洄游路线的研究相似;5月,在浙江中南部和福建北部禁渔线外侧近海越冬的大黄鱼亲鱼洄游到沿岸的猫头洋、洞头洋、乐清湾、官井洋和东引岛水域产卵,刚孵出的仔鱼在沿岸低盐环境中生活;6-7月,成长至幼鱼时,跟随产卵后鱼群集群进行离岸索饵洄游。

3.2 大黄鱼早期不同发育阶段的耐盐性与耐盐范围

大黄鱼早期发育阶段在不同盐度下半数死亡时间(DT₅₀)和平均死亡时间(MDT)的总体表现为:25盐度下最长,10盐度下次之,5盐度最短。在同一盐度下,随着生长发育过程(初孵仔鱼除外),各发育期的DT₅₀和MDT表现为:开口仔鱼仍然存在内源性营养,死亡率较低,其DT₅₀和MDT较长;到仔鱼油球消失时,其内源性营养消失,只能通过摄食外源饵料以维持生存,在不投饵条件下死亡率达到最高,其DT₅₀和MDT最

短;而在稚鱼和幼鱼时,外界营养的供给以及渗透压系统的逐步完善提高了存活率,其 DT_{50} 和 MDT 逐渐变长。如此说明,内源性营养的消失时期为大黄鱼生存的转折时期,在大黄鱼人工育苗过程中,应加强仔鱼开口后和卵黄囊消失前后的饵料投喂。

大黄鱼为集群洄游性鱼类,其适盐范围比较广,本研究也证明了其适盐范围比较广。从 72 h 成活率可以看出,大黄鱼早期生活的适盐范围为 10~40;而大黄鱼 30 日龄幼鱼阶段 72 h 半致死盐度范围更广泛为 5.5~41.0。基于 30 日龄大黄鱼幼鱼对低盐的耐受能力以及咸水刺激阴核虫在较低盐环境下难以生存的现状^[26],低盐度养殖大黄鱼对大黄鱼白点病的治疗和预防提供了保障。

3.3 盐度对仔鱼发育的影响

众多学者认为低盐海水对于变态期仔鱼或已变态幼鱼的影响较小,在低盐海水中有较低的死亡率和较好的生长^[27]。这可能与此盐度接近海水鱼体液的渗透压(12~16)更利于鱼的生长发育和存活有关^[20]。本研究也存在相似的现象,盐度 10 条件下,开口仔鱼和卵黄囊消失仔鱼试验组的存活率较高。高盐度胁迫下,各试验组的死亡率都明显上升,推测与高渗透脱水以及高盐条件下卵黄等营养物质用于维持渗透压平衡的比例增加,导致用于身体各器官系统发育的比例相对减少有关。林小金^[28]提出盐度的变化对日本鬼鲉仔鱼存活率影响较为明显,盐度 23 和 27 的 15 d 平均存活率较高,为 37.0% 和 40.0%,而在盐度 15、39 时,鬼鲉仔鱼存活率分别为 11.0%、4.0%。

BLAXTER 和 HEMPEL^[29]最早提出了“不可逆点”(the point-of-no return, PNR)的概念,从生态学角度测定仔鱼的饥饿耐力。当饥饿仔鱼初次摄食率低于最大初次摄食率一半时,即为不可逆点时间。王涵生等^[30]提出不投饵时的半数死亡时间为仔鱼进入 PNR 期的标志之一。本试验结果表明,在砂滤海水中,大黄鱼初孵仔鱼不投饵的半数死亡时间为 8.6 d,可确定其大黄鱼初孵仔鱼孵出后不投饵条件下进入 PNR 期的时间为 8.6 d 前后,即仔鱼油球消失时期,即表明这个时间段不投饵情况下,大黄鱼初孵仔鱼就会丧失摄食能力,即使外界恢复提供丰富适口饵料,仔

鱼也不能恢复摄食。由此,对大黄鱼早期发育阶段饵料的投喂必须在鱼苗初孵后 8.6 d 内进行。大黄鱼初孵仔鱼饥饿不可逆点远远大于条石鲷的不可逆点(5~5.5 d)^[31]。由此可知,饥饿不可逆点的高低因鱼而异,同时伴随环境条件的改变而改变。

仔鱼孵出后,不投饵条件下依靠卵黄囊和油球营养可存活一段时间,通过测定初孵仔鱼 S_{AI} 值可以判断仔鱼的活力,进而可以判断受精卵的质量。存活时间的长短与受精卵质量、卵黄等内源性营养物质的数量和质量、亲鱼的营养状态以及仔鱼生活环境等因素相关^[29]。而盐度是影响海水鱼类胚胎发育及胚后仔鱼发育的重要环境因素之一。当盐度超过仔鱼的适应范围,就会对生长发育造成胁迫,而初孵仔鱼无法对盐度胁迫进行缓解,只能通过细胞渗透吸水或失水,最终会造成器官或组织的崩溃导致死亡。正常盐度下,大黄鱼初孵仔鱼的 S_{AI} 很高(40.4),远远高于其他种类鱼^[30,32],说明大黄鱼初孵仔鱼的活力良好。由于本实验所涉及的盐度差距较大,各盐度下不同仔鱼期的 S_{AI} 均为显著性差异,无法得到各仔鱼期的适宜生存盐度范围,其适盐范围仍需进一步研究。

3.4 影响大黄鱼早期发育耐盐性的主要因子

大黄鱼对盐度的耐受性与其渗透调节能力、营养状况和遗传变异(包括抗逆基因的表达)有关^[33],其中渗透调节能力直接决定了海洋鱼类生长的环境。耐盐性随年龄增加而提高,可能与生长发育过程有关,如稚、幼鱼期血红蛋白的发展,渗透调节系统或内分泌调节系统功能的发育^[33-34]。根据本研究早期不同发育阶段正常盐度下的存活时间以及存活率可知,饥饿会影响耐盐性。因此,大黄鱼早期的营养状况将会影响到盐度耐受性试验的结果。稚鱼在应对各种盐度条件都表现出较高的死亡率,其耐盐性并不随年龄的增加而提高,其中原因需进一步调查。

参考文献:

- [1] 朱元鼎,伍汉霖.石首鱼科[M]//朱元鼎.福建鱼类志(下卷).福州:福建科技出版社,1985:101-136.
- [2] 张彩兰,刘家富,李雅瑾,等.福建省大黄鱼养殖现状分析与对策[J].上海水产大学学报,2002,11(1):77-83.
- [3] 徐晓津,王军,谢仰杰,等.大黄鱼消化系统胚后发育的组织学研究[J].大连水产学院学报,2010,25(2):107-

- 112.
- [4] 刘家富. 人工育苗条件下的大黄鱼胚胎发育及其仔、稚鱼形态特征与生态的研究[J]. 现代渔业信息, 1999, 14(7): 20-24.
- [5] 王晓清, 王志勇, 何湘蓉. 大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 耐环境因子试验及其遗传力的估计[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 781-785.
- [6] 水柏年. 大黄鱼幼鱼对若干环境影子的适应性试验[J]. 水产科技情报, 2004, 31(3): 102-107.
- [7] 陈惠群, 焦海峰, 冯坚. 盐度突变对大黄鱼受精卵孵化及稚鱼成活的影响[J]. 水产科学, 2005, 24(1): 20-21.
- [8] 楼允东, 郑德崇, 黄文浩, 等. 组织胚胎学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 348.
- [9] STROBAND H W J, DABROWSKI K R. Morphological and physiological aspects of the digestive system and feeding in fresh-water fish larvae[M]//FONTAINE M. CNRS, Paris: Nutrition des Poissons, 1981: 355-374.
- [10] TANAKA M. Studies on the structure and function of the digestive system of teleost larvae[D]. Kyoto: Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kyoto University, 1973.
- [11] 孙丽华, 陈浩如, 王肇鼎. 盐度对军曹鱼胚胎和仔鱼发育的影响[J]. 生态科学, 2006, 25(1): 48-51, 55.
- [12] 么宗利, 李思发, 李学军, 等. 尼罗罗非鱼和以色列罗非鱼耐盐驯化初步报告[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(2): 97-101.
- [13] 娄忠玉, 钱续. 福尔马林对银鲑鱼苗半致死浓度试验[J]. 水利渔业, 2003, 23(1): 58-58.
- [14] 许晓娟, 李加儿, 区又君. 盐度对卵形鲳鲹胚胎发育和早期仔鱼的影响[J]. 南方水产, 2009, 5(6): 31-35.
- [15] 强俊, 王辉, 李瑞伟, 等. 盐度对奥尼罗非鱼仔、稚鱼生长、存活及其消化酶活力的影响[J]. 南方水产, 2009, 5(5): 8-14.
- [16] 胡先成, 赵云龙, 周忠良. 盐度对饥饿状态下河川沙塘鳢稚鱼生化组成及能量收支的影响[J]. 水产科学, 2008, 27(3): 109-113.
- [17] 庄平, 章龙珍, 田宏杰, 等. 盐度对施氏鲟幼鱼消化酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 198-203.
- [18] 孙鹏, 尹飞, 彭士明, 等. 盐度对条石鲷幼鱼肝脏抗氧化酶活力的影响[J]. 海洋渔业, 2010, 32(2): 154-159.
- [19] 冯娟, 徐力文, 林黑着, 等. 盐度变化对军曹鱼稚鱼相关免疫因子及其生长的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(1): 120-125.
- [20] TYTLER P, BLAXTER J H S. The Effects of external salinity on the drinking rates of larvae of herring, plaice and cod[J]. Journal of Experimental Biology, 1988, 138: 1-15.
- [21] 王宏田, 徐永立, 张培军. 牙鲆胚胎及其初孵仔鱼的盐度耐受力[J]. 中国水产科学, 2000, 7(3): 21-23.
- [22] 田相利, 王国栋, 董双林, 等. 不同盐度驯化方式对小鲟 (*Huso huso*) (♀) × (*Acipenser ruthenus*) (♂) 生长及渗透生理的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(7): 29-35.
- [23] 徐力文, 刘广锋, 王瑞旋, 等. 急性盐度胁迫对军曹鱼稚鱼渗透压调节的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1596-1600.
- [24] ATWOOD H L, YOUNG S P, TOMASSO J R, et al. Resistance of coho, *Rachycentron canadum*, juveniles to low salinity, low temperature, and high environmental nitrite concentrations[J]. Journal of Applied Aquaculture, 2004, 15(3/4): 191-195.
- [25] 徐兆礼, 陈佳杰. 东黄海大黄鱼洄游路线的研究[J]. 水产学报, 2011, 35(3): 429-437.
- [26] CHEUNG P J, NIGRELLI R F, RUGGIERI G D. Studies on cryptocaryoniasis in marine fish: effect of temperature and salinity on the reproductive cycle of *Cryptocaryon irritans* Brown, 1951[J]. Journal of Fish Diseases, 1979, 2(2): 93-97.
- [27] HICKMAN C P. Urine composition and kidney tubular function in southern flounder, *Paralichthys lethostigma*, in seawater[J]. Canadian Journal of Zoology, 1968, 46(3): 439-455.
- [28] 林小金. 盐度对日本鬼鲉受精卵发育及仔鱼生长的影响[J]. 福建水产, 2008(4): 24-26.
- [29] BLAXTER J H S, HEMPEL G. The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.) [J]. Journal du Conseil permanent International pour l'Exploration de la Mer, 1963, 28(2): 211-240.
- [30] 王涵生, 方琼珊, 郑乐云. 盐度对赤点石斑鱼受精卵发育的影响及仔鱼活力的判断[J]. 水产学报, 2002, 26(4): 344-350.
- [31] 彭志兰, 柳敏海, 罗海忠, 等. 条石鲷仔鱼饥饿试验及不可逆点的确定[J]. 水产科学, 2010, 29(3): 152-155.
- [32] 郑乐云, 方琼珊, 王涵生, 等. 盐度对斜带髯鲷仔鱼活力及摄食率的影响[J]. 海洋科学, 2004, 28(4): 5-7, 28.
- [33] HELMS L M, GRAU E G, SHIMODA S K, et al. Studies on the regulation of growth hormone release from the proximal pars distalis of male tilapia, *Oreochromis mossambicus*, in vitro [J]. General and Comparative Endocrinology, 1987, 65(1): 48-55.
- [34] PEREZ J E, MACLEAN N. The haemoglobins of the fish *Sarotherodon mossambicus* (Peters): functional significance and ontogenetic changes[J]. Journal of Fish Biology, 1976, 9(5): 447-455.

Salinity tolerance of *Pseudosciaena crocea* during early development

LI Bing, ZHONG Ying-bin, LÜ Wei-qun

(College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The salinity tolerance of *Pseudosciaena crocea* during early development (newly-hatched larvae, mouth-opened larvae, yolk-sac disappeared larvae, oil globules disappeared larvae, fry and 30-day-old juvenile) was examined at salinities of 5, 10, 25, 40 and 45. The mortality, mean death time (MDT), median death time (DT_{50}), and median lethal salinity-72 h (MLS-72) were employed as indicators of salinity tolerance. The results showed that suitable salinity for 30-day-old juvenile, yolk-sac disappeared larvae, mouth-opened larvae, fry, and newly-hatched larvae ranged from 5.5 to 41.0, 6.8 to 23.3, 8.2 to 39.4, 9.3 to 26.7, 18.9 to 33.1, respectively. Therefore, the salinity tolerance of 30-day-old juvenile of *P. crocea* is rather strong, especially it can tolerate low-salinity of 5.5. The results lay a theoretical foundation for desalting culture and the fresh water treatment for white spot disease of *P. crocea*. In normal seawater, the median death time (the point-of-no-return, PNR) at different developmental stages without feeding was determined as follows: newly-hatched larvae (8.6 d) > mouth-opened larvae (6.5 d) > 30-day-old juvenile (5.5 d) > yolk-sac disappeared larvae (4.6 d) > fry (4.0 d) > oil globules disappeared larvae (1.8 d). These indicate that the feeding of exogenous nutrients should be enhanced before the oil globules disappeared, as it will help to improve low-salinity tolerance and survival of *P. crocea*'s larvae.

Key words: *Pseudosciaena crocea*; early development; salinity tolerance