

银鲳仔鱼对不同盐度的耐受力及其耗氧量的研究

郭勤单, 徐国成, 王有基, 吕为群*

(上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 为研究银鲳仔鱼对环境盐度的耐受性以及盐度与个体耗氧量的关系, 以 2 日龄和 4 日龄的银鲳仔鱼作为实验对象, 实验时将银鲳仔鱼急性转入 5、10、20、30、40、50 和 55 等 7 个盐度梯度环境中进行盐度耐受力测试, 以死亡率、48 h 半致死盐度 MLS_{48} 、半数死亡时间 DT_{50} 、平均死亡时间 MDT 、不投饵存活系数 SAI 作为耐盐指标评价银鲳仔鱼对不同盐度环境的耐受情况, 并用微呼吸仪对不同盐度下仔鱼的个体耗氧量进行了测定。结果显示, 低盐(盐度 5)和高盐(盐度 50 以上)均不利于银鲳仔鱼的存活; 2 日龄和 4 日龄银鲳仔鱼 MLS_{48} 分别为盐度 8.15~24.90 和盐度 15.54~34.97; 2 日龄银鲳仔鱼 DT_{50} 和 MDT 在盐度 10~30 环境中显著高于其他各盐度组, 4 日龄银鲳仔鱼则在 10~40 盐度环境中显著高于其他各盐度组; 2 日龄银鲳仔鱼在盐度 10 和盐度 20 环境中 SAI 显著高于其他各盐度组, 4 日龄银鲳仔鱼在盐度 20 和盐度 30 环境中 SAI 显著高于其他各盐度组, 在盐度 20 环境均最高。从个体耗氧量的变化结果来看, 2 日龄银鲳仔鱼在盐度 10~30 范围内没有极显著差异, 而 4 日龄仔鱼在盐度 40 以下均无显著性差异, 而在盐度 50 以上环境中 2 日龄和 4 日龄银鲳仔鱼的个体耗氧量均显著高于其他各盐度组。结果表明, 银鲳仔鱼的最适盐度耐受范围为 15.54~24.90, 盐度升高可引起银鲳仔鱼耗氧量的升高, 而在耐受范围内并无显著影响。

关键词: 银鲳; 仔鱼; 盐度; 耐受力; 死亡率; 耗氧量

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

银鲳 (*Pampus argenteus*) 隶属于鲈形目 (Perciformes), 鲳科 (Stromateidae), 鲳属 (*Pampus*), 属近海暖温性中上层洄游鱼类, 广泛分布于印度-西太平洋, 南起波斯湾至印度尼西亚, 北至日本北海道, 在我国诸海域均有分布。该鱼肉质细嫩鲜美, 营养丰富, 是中国主要的海产经济食用鱼类之一, 市场前景十分广阔。目前, 国内外对于银鲳的研究主要集中在资源调查^[1]、群体遗传多样性^[2-3]、胚胎发育和仔稚鱼形态学^[4]、繁殖特性^[5]、苗种培育^[6]、营养学组成及摄食习性^[7-8]等方面, 并取得了较大进展。

近年来, 夏秋季普遍多雨, 而降水易导致近岸海水盐度变化, 进而影响鱼类机体的渗透压调节、能量分配和代谢调整等生理活动, 最终威胁鱼类

的生长和存活。一般而言, 鱼类盐度耐受性测试实验是研究鱼类渗透压调节能力的一种有效方法, 直接反映鱼类对盐度的耐受能力。个体耗氧量是间接监测鱼体新陈代谢状况的重要指标, 耗氧量的变化能够反映鱼体在不同盐度环境中的能量需求。许多研究表明, 不同的盐度环境能引起耗氧量的变化, 但因实验鱼种类、适应时间、实验设计和实验方法等的不同也会导致耗氧量变化规律有差异^[9]。盐度变化对银鲳的影响研究相对较少, 仅尹飞等^[10-11]研究了低盐胁迫对银鲳幼鱼肠道消化酶、肝脏抗氧化酶、鳃和肾 ATP 酶活力的影响。仔鱼期是鱼类整个生活史中的脆弱敏感阶段, 也是开展人工育苗成功的关键时期之一。因此, 本实验以银鲳仔鱼为对象, 研究盐度骤变对

收稿日期: 2012-05-30 修回日期: 2012-11-27

资助项目: 上海市科学技术委员会项目 (09320503500); 上海市教委创新项目 (10ZZ102); 上海市人才发展基金

通信作者: 吕为群, E-mail: wqlv@shou.edu.cn

其存活和耗氧的影响,旨在探究银鲳仔鱼对环境盐度的耐受能力和耗氧规律,为开展银鲳仔鱼的人工培育和增养殖活动提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 仔鱼来源与养殖条件

2010—2012年4—5月期间在台山岛附近洋面(26°30′~26°50′528″N、121°08′682″~121°20′E)捕捞银鲳,使用流刺网获取性腺成熟的银鲳个体1200余尾,叉长14.2~26.4 cm,体质量144.9~560.4 g,成熟的雌雄亲鱼比例接近1:3,从其中约80尾亲鱼中获得的精卵用于人工干法授精,选择漂浮的受精卵放入运苗袋(约5 L海水)中充氧后运至上海海洋大学养殖中心。

将受精卵置于300 L的圆形孵化桶中,在连续微充气、微流水的条件下进行孵化,孵化水温(23.5±1)℃、盐度30.0±1,溶氧(7.0±1) mg/L,约36 h孵化出膜,孵化后的仔鱼2 d后用小球藻强化的轮虫投喂。实验用仔鱼分别为2日龄(全长4.0~4.4 mm)和4日龄(全长4.5~4.9 mm)体质健康、活动正常的银鲳仔鱼。实验用各盐度海水均为红海盐(Queen's Formula, USA)与经充分曝气、紫外杀菌后的自来水配制,使用折射盐度计和YSI58盐度仪进行校正。盐度耐受力测试实验用容器为2 L玻璃烧杯,每个烧杯中放各种盐度海水1 L。耗氧率测定实验采用微呼吸仪(Unisense, Denmark)测定,并用MicOx软件进行记录。

1.2 实验设计

盐度耐受力测试 实验共设盐度5、10、20、30、40、50、55等7个梯度,每个盐度梯度组设3个重复。实验时将仔鱼直接从孵化桶中急性转入各盐度海水中,每个烧杯分别放仔鱼30尾。实验期间不投饵、不充气、不换水,定时记录死亡的仔鱼尾数,并及时将其吸出,直至所有仔鱼全部死亡。其中死亡率、48 h半致死盐度MLS-48 (median lethal salinity)、半数死亡时间DT₅₀ (median death time)和平均死亡时间MDT (mean death time)显示仔鱼的存活状况,不投饵存活系数SAI (survival activity index)用来判断仔鱼的活力,以上述5个指标作为盐度耐受力的检测指标,其中SAI和48 h半致死盐度的计算公式如下:

$$SAI = \sum_{i=1}^k (N - h_i) \times i / N$$

式中, N 为实验初始时的仔鱼数, 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。

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

式中: M 为仔鱼48 h半致死盐度; S_1 和 S_2 为半致死盐度相邻的两个实验盐度值; M_1 为 S_1 条件下48 h的死亡率; M_2 为 S_2 条件下48 h死亡率,且 $M_2 > 50\%$ (半数死亡) $> M_1$ 。

个体耗氧量测定 该实验采用静水密闭法。正式实验开始前,需进行预备试验以确定耗氧试验合理持续时间和试验鱼尾数,以保证耗氧变化的可测量性和银鲳仔鱼在实验期间的正常生理活动。实验时将自然盐度培育下的2日龄或4日龄仔鱼置于装有不同盐度海水微呼吸仪的呼吸瓶(体积约10 mL)中,每个盐度下放各日龄仔鱼10尾,海水略高出瓶口少许,立即用微呼吸仪的探头塞紧密封瓶口,保持瓶内无空气残留。仔鱼在呼吸瓶中适应稳定20 min,记录之后10 min始末呼吸瓶的溶氧量,测定3次。在一天中固定时间(下午16:00~24:00)进行测定,以尽量减小一天中鱼体自身耗氧量的差异。实验期间,为了减少噪音、光照等外界因素引起的耗氧量变化,实验整个过程均在密闭暗室内进行,避免外界因素影响鱼的呼吸。个体耗氧量按下式计算:

$$R = (DO_0 - DO_t) V / NH$$

式中, R 为个体耗氧量[$\mu\text{mol O}_2 / (\text{尾} \cdot \text{h})$]; DO_0 为起始时呼吸瓶的溶氧量(mmole/L); DO_t 为一定时间后呼吸瓶的溶氧量(mmole/L); V 为实验瓶的体积(L); N 为受试鱼尾数; H 为试验时间(h)。

1.3 统计分析

数据用Excel 2003进行常规数据处理后,用SPSS 17.0软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),用Tukey多重比较法进行组间差异显著性检验,以 $P < 0.05$ 为差异显著。统计值均用平均值±标准差(mean±SD)表示。

2 结果

2.1 不同发育阶段银鲳仔鱼在不同盐度下的耐受性

不同发育阶段银鲳仔鱼在不同盐度下的死亡率 2日龄仔鱼在盐度5条件下,3 h的死亡率即超过50%,盐度50以上环境中12 h仔鱼即超过90%(图1)。在盐度40下仔鱼12 h的死亡率超过50%,而在盐度10~30环境中36 h的存活率均低于40%。4日龄仔鱼在盐度5、50和55环

境中 6 h 死亡率已超过了 50%,至 24 h 全部死亡;而在盐度 10~40 环境中 36 h 的死亡率均低

于 40%,其中盐度 20 和 30 环境中 72 h 死亡率较其他各盐度组低。

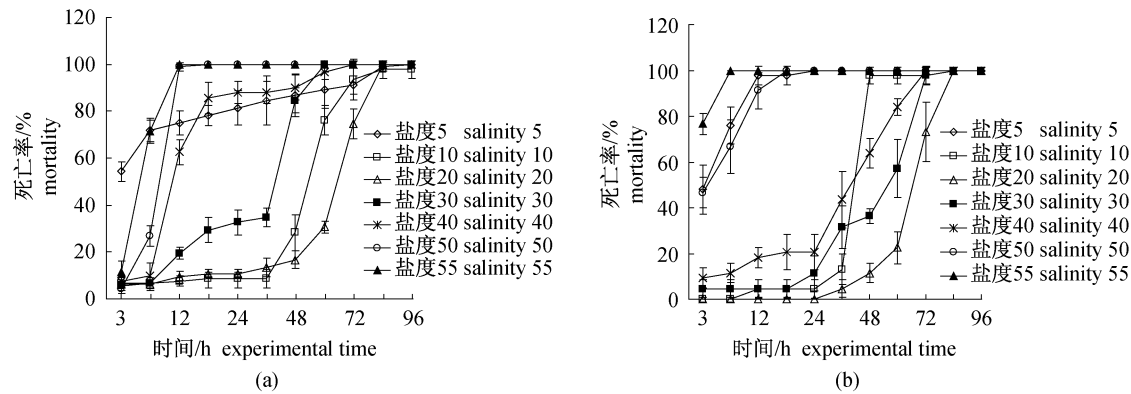


图 1 银鲳仔鱼在不同盐度下的死亡率

(a) 2 日龄仔鱼; (b) 4 日龄仔鱼。

Fig. 1 Mortality of *P. argenteus* larvae at different salinities

(a) 2 day larvae; (b) 4 day larvae.

不同发育阶段银鲳仔鱼在不同盐度下 48 h 存活率及 MSL-48 值 2 日龄和 4 日龄银鲳仔鱼在盐度 20 环境中 48 h 的存活率最高,分别为 83.3% 和 88.6%,在高盐(盐度高于 50)环境中全部死亡。2 日龄银鲳仔鱼在盐度 5 和 40 环境中存活率均低于 15%,盐度 10 和 20 中存活率均高

于 50%,此期的银鲳仔鱼 48 h 的半致死盐度分别是 8.15 和 24.90;4 日龄银鲳仔鱼在盐度 5 中 48 h 的存活率为 0%,其次为盐度 10 和 40,在盐度 20 和 30 中的存活率均高于 60%,48 h 的半致死盐度范围是盐度 15.54~34.97(表 1)。

表 1 银鲳仔鱼在不同盐度下 48 h 的存活率及 MSL-48

Tab. 1 The survival rate and MLS-48 of *P. argenteus* larvae at different salinities for 48 h

发育天数/d development days	不同盐度下 48 h 的存活率/% survival rate at different salinities for 48 h							48 h 半致死盐度 MLS-48	
	盐度 5 salinity 5	盐度 10 salinity 10	盐度 20 salinity 20	盐度 30 salinity 30	盐度 40 salinity 40	盐度 50 salinity 50	盐度 55 salinity 55	低值 low value	高值 high value
	2	13.2 ± 9.0 ^a	71.7 ± 7.8 ^b	83.3 ± 3.7 ^b	15.4 ± 5.4 ^a	9.8 ± 5.5 ^a	0 ^a	0 ^a	8.15
4	0 ^a	2.1 ± 3.6 ^a	88.6 ± 4.2 ^d	63.7 ± 3.4 ^c	36.2 ± 6.6 ^b	0 ^a	0 ^a	15.54	34.97

注:表中同一行数值不同肩标字母代表银鲳仔鱼在不同盐度下 48 h 存活率的差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Different superscript letters in the same row denote significant difference of survival of *P. argenteus* larvae at different salinities for 48 h.

不同发育阶段银鲳仔鱼在不同盐度下半数死亡时间(DT_{50})和平均死亡时间(MDT) 银鲳 2 日龄和 4 日龄仔鱼在不同盐度下 DT_{50} 均存在一定差异,2 日龄银鲳仔鱼在盐度 5、40、50、55 中的半数死亡时间均小于 12 h,盐度 10~30 环境中仔鱼 DT_{50} 显著高于其他盐度组。4 日龄银鲳仔鱼在盐度 5、50 和 55 环境中 DT_{50} 显著低于盐度 10~40,其中盐度 20 环境中 DT_{50} 最高(图 2)。

银鲳仔鱼在不同盐度下的 MDT 差异也较大(图 3),趋势与 DT_{50} 一致。2 日龄和 4 日龄银鲳仔鱼在低盐(盐度 5)和高盐(盐度 50 和 55)下

MDT 均低于其他各盐度组。在低于盐度 20 时,仔鱼 MDT 与盐度呈正相关,而盐度高于 20 的环境中仔鱼 MDT 与盐度呈负相关。

不同发育阶段银鲳仔鱼在不同盐度下的不投饵存活系数 SAI 2 日龄银鲳仔鱼在盐度 10~20 环境中 SAI 值较高,活力较好,而在高盐 50 和 55 环境中活力最差;4 日龄银鲳仔鱼在盐度 20~30 环境中 SAI 值较高,活力较好,而对于低盐 5 和盐度 50 以上的环境盐度均不适应(表 2)。而幼鱼在盐度 10~30 环境中活力较强,在盐度 20 环境中最强。

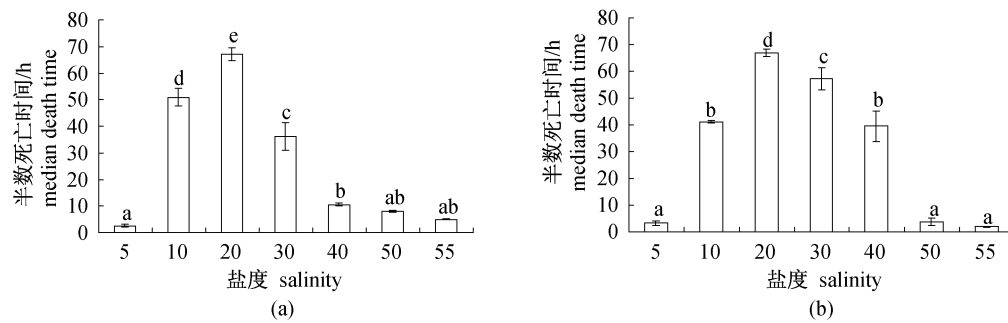
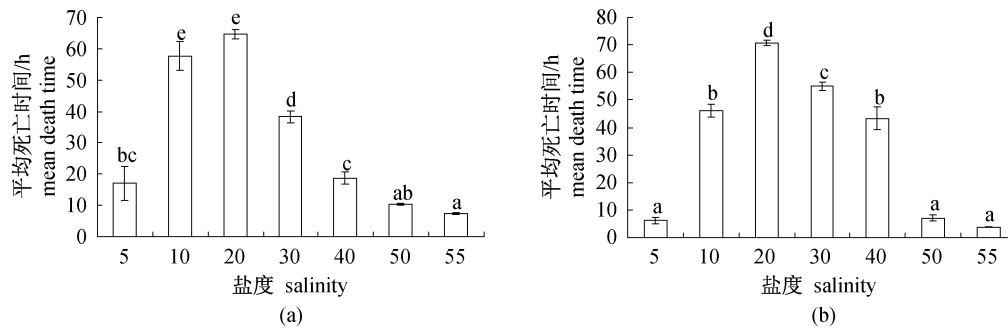
图2 不同盐度条件下银鲳仔鱼的 DT_{50} (a) 2 日龄仔鱼; (b) 4 日龄仔鱼; 图中含有不同字母的盐度处理组代表差异显著 ($P < 0.05$)。Fig. 2 The DT_{50} of *P. argenteus* larvae at different salinities(a) 2 day larvae; (b) 4 day larvae. Values denoted by different letters indicate significant difference among different salinities ($P < 0.05$).

图3 不同盐度条件下银鲳仔鱼的 MDT

(a) 2 日龄仔鱼; (b) 4 日龄仔鱼; 图中含有不同字母的盐度处理组代表差异显著 ($P < 0.05$)。Fig. 3 The MDT of *P. argenteus* at different salinities(a) 2 day larvae; (b) 4 day larvae. Values denoted by different letters indicate significant difference among different salinities ($P < 0.05$).

表2 银鲳仔鱼不同盐度下的不投饵存活系数 SAI

Tab. 2 The SAI of *P. argenteus* larvae at different salinities

发育天数/d development days	不同盐度下的不投饵存活系数 SAI at different salinities						
	盐度 5 salinity 5	盐度 10 salinity 10	盐度 20 salinity 20	盐度 30 salinity 30	盐度 40 salinity 40	盐度 50 salinity 50	盐度 55 salinity 55
2	0.71 ± 0.37 ^{ab}	2.74 ± 0.60 ^c	3.32 ± 0.20 ^c	0.98 ± 0.15 ^b	0.32 ± 0.15 ^{ab}	0 ^a	0 ^a
4	0 ^a	1.06 ± 0.22 ^b	3.59 ± 0.31 ^e	2.23 ± 0.04 ^d	1.52 ± 0.20 ^c	0 ^a	0 ^a

注:表中同一行数值不同肩标字母代表银鲳仔鱼在不同盐度下 SAI 差异显著 ($P < 0.05$)。Notes: Different superscript letters in the same row denote significant difference of SAI of *P. argenteus* larvae among different salinities.

2.2 不同发育阶段银鲳仔鱼的个体耗氧量与盐度的关系

盐度对银鲳仔鱼代谢水平影响较大,银鲳仔鱼的个体耗氧量在高盐环境下较高,55 盐度下银鲳仔鱼的个体耗氧量最高,盐度 5 最低(图 4)。2 日龄银鲳仔鱼急性盐度突变至盐度 10、20、30,其个体耗氧量没有显著性差异,盐度 40 和 50 环境下耗氧量明显升高;4 日龄银鲳仔鱼在盐度 5~40 环境下其耗氧量没有显著差异,显著低于盐度 50

和 55。在不同盐度环境中银鲳仔鱼的个体耗氧量 2 日龄均高于 4 日龄。

在高盐环境(盐度 50 和 55)中,仔鱼入水即表现出急躁不安,游动速度加快,而后又减慢,并沉于容器底部,身体侧卧。在低盐度水(盐度 5)中,银鲳仔鱼沉于容器底部,几乎不进行游动。中间盐度水体中的银鲳仔鱼开始活动正常,随着时间的延长,游动也会逐渐减弱。

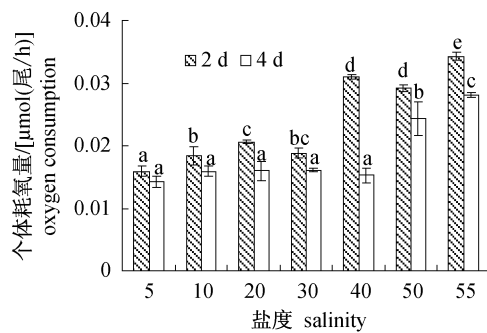


图4 盐度对银鲳仔鱼个体耗氧量的影响

图中不同字母代表同日龄的银鲳仔鱼在不同盐度下差异显著 ($P < 0.05$)。

Fig. 4 The effect of salinity on oxygen consumption of *P. argenteus* larvae

Values denoted by different letters indicate significant difference among different salinities ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 盐度对银鲳仔鱼存活的影响

一般来讲,海水鱼类的早期发育都要求一定的盐度环境条件,盐度环境的强烈变化可影响仔鱼的生理过程和形态发育,通过增加渗透压调节耗能影响鱼类的生存和生长^[12]。本实验结果表明,银鲳早期仔鱼能够适应较广的环境盐度变化,在10~30盐度环境中存活较好,低盐(盐度5)和高盐(盐度50以上)均对银鲳仔鱼有害。Young等^[13]指出河豚(*Siganus guttatus*)仔鱼在孵化后24 h可以耐受14~37的盐度范围。Banks等^[14]报道1日龄云斑海鲳(*Cynoscion nebulosus*)可以耐受4~40的盐度范围、3日龄为盐度8~32、9日龄为盐度8~48。本实验结果认为,2日龄和4日龄银鲳仔鱼在盐度20环境中存活较好,而在高于40盐度环境中存活率很低,与海鲤(*Sparus aurata*)^[15]结果相似。然而一些海水仔鱼对盐度的耐受性表现不同,如漠斑牙鲆(*Paralichthys lethostigma*)早期阶段并非完全的广盐性,在25的盐度环境中其存活率比盐度34明显降低^[16]。普遍认为早期仔鱼主要通过皮肤进行渗透压调节,其在低盐和高盐环境中死亡率高可能与缺乏分化的鳃有关,仔鱼渗透压调节的主要器官尚未发育完全,多余的离子则由鳃外氯细胞排出。另外,仔鱼在高/低渗环境需要增加新陈代谢水平维持其体液的动态平衡,消耗更多的能量用于渗透压调节^[17]。对于海水硬骨鱼而言,初孵仔鱼体液

中的盐度通常为12~16,当环境盐度较低时,仔鱼用于维持体内渗透压稳定而消耗的能量减少,有利于仔鱼的生存^[18]。

从银鲳仔鱼半数死亡时间 DT_{50} 和平均死亡时间MDT的结果来看,2日龄仔鱼更适应10~30的盐度环境,而4日龄仔鱼更适应10~40的盐度环境,4日龄较2日龄对盐度的耐受性增强,这与银纹笛鲷(*Lutjanus argentimaculatus*)^[19]结果一致。2日龄银鲳仔鱼尚未开口,消化机能尚未完善,主要依靠卵黄囊提供营养^[4]。银鲳早期仔鱼对盐度的耐受性主要通过皮肤进行离子交换以维持其体内环境。随着皮肤、鳃和肠的发育,能量供应和渗透压调节的方式发生了变化,仔鱼会有不同的耐受性表现以维持其生理平衡。然而,本实验结果显示,银鲳仔鱼在不同盐度不投饵的情况下存活时间较短,这可能与此阶段仔鱼内源营养消耗殆尽,而没有外源营养供给,无法建立外源营养模式有关,提示保证充足的营养供应是银鲳开口时期鱼苗培育的关键因素。

3.2 盐度对银鲳仔鱼SAI值的影响

在海水育苗实践中,常以SAI来判断仔鱼活力,在无投饵条件下,观察仔鱼忍受的能力和存活的天数。SAI值越大,仔鱼的活力就越好^[20]。仔鱼孵出后,不投饵,依靠内源营养可以存活一段时间,其存活时间的长短,与其卵黄营养物质的数量和质量有关。仔鱼能够在较宽的盐度范围内存活,主要是其体壁结构与组分使其保持了很低的渗透力,同时随着神经内分泌系统的发育,仔鱼能够主动进行渗透压调节,从而保持鱼体内环境的稳定。本研究发现,2日龄和4日龄银鲳仔鱼分别在10~20和20~30盐度环境中SAI值显著高于其余各组,耐受性较高。张海发等^[21]研究表明斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)在盐度15和20的环境中仔鱼的SAI值最高,巴西比目鱼(*Paralichthys orbignyanus*)仔鱼可在盐度20环境中成功培育^[22],与本实验结果类似。这可能是因为在等渗环境中,渗透压力较小,机体用于维持内稳态的渗透压调节和标准代谢的耗能较少,可存活较长时间。然而,翎鲳(*Pampus punctatissimus*)受精卵发育的最适盐度为29~32^[23],这可能因为仔鱼对盐度的耐受性因种而异,广盐性鱼类对盐度的耐受性随着个体的发育也会发生改变。

3.3 盐度对银鲳仔鱼个体耗氧率的影响

耗氧量的变化主要体现在基础耗氧量(即标准耗氧量)和最高耗氧量(即鱼活动耗氧量)两个方面。Jobling^[24]提出,鱼的标准代谢可分为两部分:一是组织的修复与更新所消耗的能量,二是维持内稳态所消耗的能量。按照渗透压调节原理,鱼类在等渗点时渗透压力最小,维持内稳态的渗透压调节耗能最少,代谢率最低,生长率最高,而远离等渗点时需要消耗更多的能量用于渗透压调节。本研究中,银鲳仔鱼在显示高盐(盐度40以上)环境条件下耗氧率比在其他盐度中高,这可能是因为在高盐环境中鱼体需要消耗更多的能量用于渗透压调节,而不利于鱼体的正常生长和发育。也有研究根据低盐对鱼类耗氧量的影响把鱼类分为三类:盐度稀释到一定程度以下,耗氧量显著降低;随盐度稀释,耗氧量略有降低;盐度变化对耗氧量无影响^[25]。银鲳仔鱼的耗氧率属于第二种类型,这可能是因为在适宜的盐度范围(盐度10~30)内,其体内外渗透压相对稳定,组织器官机能也比较稳定,因而其耗氧率也基本上保持在一个比较稳定的水平;而在低(盐度5)环境中,银鲳仔鱼沉于容器的底部,几乎不游动,运动耗能少,虽然远离等渗点,需要消耗更多能量用于渗透压调节,但渗透耗能占总体耗能的比例相对较小,故耗氧率最低。

另外,同一种鱼的不同发育阶段在不同盐度环境中的耗氧率也不相同。王资生等^[26]报道了不同大小个体的半滑舌鲷仔鱼在不同盐度下的耗氧率也存在差异。本实验结果可以看出,4日龄的银鲳仔鱼在不同盐度下的个体耗氧量低于2日龄,这可能与银鲳仔鱼所处的两个发育时期能量代谢水平不同有关。

综合银鲳仔鱼在不同盐度下耐受性和个体耗氧量的结果分析,银鲳仔鱼的最适盐度耐受范围为15.54~24.90,盐度升高可引起银鲳仔鱼耗氧量的升高,而在适应范围内并无显著差异。一般海区的海水盐度在30左右或更高,因此,在育苗实践中,如果条件允许,适当降低盐度也可能是育苗生产的优化措施之一。

参考文献:

- [1] 施兆鸿,王建钢,高露姣,等. 银鲳繁殖生物学及人工繁育技术的研究进展[J]. 海洋渔业,2005,27(3):246-250.
- [2] Peng S M, Shi Z H, Hou J, et al. Genetic diversity of silver pomfret (*Pampus argenteus*) populations from the China Sea based on mitochondrial DNA control region sequences [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2009, 37(5): 626-632.
- [3] 彭士明,施兆鸿,侯俊利. 基于线粒体 D-loop 区与 COI 基因序列比较分析养殖与野生银鲳群体遗传多样性[J]. 水产学报,2010,34(1):19-25.
- [4] 施兆鸿,彭士明,王建钢,等. 人工养殖银鲳子代胚胎发育及仔稚幼鱼形态观察[J]. 中国水产科学,2011,18(2):267-274.
- [5] 龚启祥,倪海儿. 东海银鲳卵巢周年变化的组织学观察[J]. 水产学报,1989,13(4):316-325.
- [6] Al-Abdul-Elah K M, Almatar S, Abu-Rezq T, et al. Development of hatchery technology for the silver pomfret *Pampus argenteus* (Euphrasen): effect of microalgal species on larval survival[J]. Aquaculture Research, 2001, 32(10): 849-860.
- [7] Huang X X, Yin Y Q, Shi Z H, et al. Lipid content and fatty acid composition in wild-caught silver pomfret (*Pampus argenteus*) broodstocks: Effects on gonad development[J]. Aquaculture, 2010, 310(1-2): 192-199.
- [8] Dadzie S, Abou-Seedo F, E Al-Qattan. The food and feeding habits of the silver pomfret, *Pampus argenteus* (Euphrasen), in Kuwait waters[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2000, 16(2): 61-67.
- [9] Tseng Y C, Hwang P P. Some insights into energy metabolism for osmoregulation in fish [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part C: Toxicology & Pharmacology, 2008, 148(4): 419-429.
- [10] 尹飞,彭士明,孙鹏,等. 低盐胁迫对银鲳幼鱼肠道消化酶活力的影响[J]. 海洋渔业,2010,32(2):160-165.
- [11] 尹飞,孙鹏,彭士明,等. 低盐度胁迫对银鲳幼鱼肝脏抗氧化酶、鳃和肾脏 ATP 酶活力的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(4):1059-1066.
- [12] Varsamos S, Nebel C, Charmantier G. Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: a review[J]. Comparative Biochemistry and Physiology- Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2005, 141(4): 401-429.
- [13] Young P S, Duenas C E. Salinity tolerance of fertilized eggs and yolk-sac larvae of the rabbitfish *Siganus guttatus* (Bloch) [J]. Aquaculture, 1993, 112(4): 363-377.
- [14] Banks M A, Holt G J, Wakeman J M. Age-linked

- changes in salinity tolerance of larval spotted seatrout (*Cynoscion nebulosus*, Cuvier) [J]. *Journal of Fish Biology*, 1991, 39(4): 505 - 514.
- [15] Tandler A, Anav F A, Choshniak I. The effect of salinity on growth rate, survival and swimbladder inflation in gilthead seabream, *Sparus aurata*, larvae [J]. *Aquaculture*, 1995, 135(4): 343 - 353.
- [16] Moustakas C Th, Watanabe W O, Copeland K A. Combined effects of photoperiod and salinity on growth, survival, and osmoregulatory ability of larval southern flounder *Paralichthys lethostigma* [J]. *Aquaculture*, 2004, 229(1 - 4): 159 - 179.
- [17] Fielder D S, Bardsley W J, Allan G L, *et al.* The effects of salinity and temperature on growth and survival of Australian snapper, *Pagrus auratus* larvae [J]. *Aquaculture*, 2005, 250(1 - 2): 201 - 214.
- [18] 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.
- [19] Estudillo C B, Duray M N, Marasigan E T, *et al.* Salinity tolerance of larvae of the mangrove red snapper (*Lutjanus argentimaculatus*) during ontogeny [J]. *Aquaculture*, 2000, 190(1 - 2): 155 - 167.
- [20] 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.
- [21] 张海发, 刘晓春, 王云新, 等. 温度、盐度及 pH 对斜带石斑鱼受精卵孵化和仔鱼活力的影响 [J]. *热带海洋学报*, 2006, 25(2): 31 - 36.
- [22] Luís A S, Luciano S F, Marcelo H O, *et al.* Effects of salinity on Brazilian flounder *Paralichthys orbignyanus* from fertilization to juvenile settlement [J]. *Aquaculture*, 2007, 262(2 - 4): 340 - 346.
- [23] Shi Z H, Huang X X, Fu R B, *et al.* Salinity stress on embryos and early larval stages of the pomfret *Pampus punctatissimus* [J]. *Aquaculture*, 2008, 275(1 - 4): 306 - 310.
- [24] Jobling M. Growth and metabolism [M] // Tytler P, Cakow P, eds. *Fish energetics perspectives*. London: Croom Helm, 1985: 257 - 281.
- [25] 上海水产学院, 山东海洋学院合编. 鱼类生理学 [M]. 北京: 农业出版社, 1961.
- [26] 王资生, 黄金田, 彭斌. 半滑舌鳎的耗氧率与盐度和体重的关系 [J]. *海洋渔业*, 2003, 25(4): 177 - 179.

Study on salinity tolerance and oxygen consumption of silver pomfret (*Pampus argenteus*) larvae

GUO Qindan, XU Guocheng, WANG Youji, LV Weiqun*

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

Abstract: The salinity tolerance and oxygen consumption of *Pampus argenteus* larvae (2 days after hatching and 4 days after hatching) were investigated at salinities of 5, 10, 20, 30, 40, 50, 55. Mortality, mean death time (MDT), median death time (DT_{50}), median lethal salinity-48 h (MLS-48), and survival activity index (SAI) were employed as indices of salinity tolerance, and individual oxygen consumption was detected by respirometer. The results showed that lower (5) and higher (above 50) salinities were detrimental to *P. argenteus*. MLS-48 for 2-day-old larvae and 4-day-old larvae ranged from 8.15 to 24.90 and 15.54 to 34.97, respectively. DT_{50} and MDT of 2-day-old larvae in 10–30 environment were significantly higher than other salinities, while DT_{50} and MDT of 4-day-old larvae were higher in 10–40. SAI of 2-day-old larvae in 10 and 20 environment were significantly higher than other salinities, while the better value of SAI in 4-day-old larvae was in 20–30, and salinity of 20 was the best one for both kinds of larvae. From the results of individual oxygen consumption, for larvae among the suitable salinity ranges (10–30), there was no significant difference between salinities, but higher salinities caused higher oxygen consumptions of larvae. The results indicated that the optimum salinity range of *P. argenteus* was 15.54–24.90, and higher salinity can cause an increase of oxygen consumption in *P. argenteus* larvae, but there was no significant effect among tolerant salinity range.

Key words: *Pampus argenteus*; larvae; salinity; tolerance; mortality; oxygen consumption

Corresponding author: LV Weiqun. E-mail: wqlv@shou.edu.cn