

盐度对条纹锯鲷(*Centropristis striata*)仔鱼的活力、开口、摄食的影响*

张春禄^{1,2} 陈超^{1①} 李炎璐¹ 张廷廷^{1,2}
刘莉^{1,2} 曲江波³ 孙涛³

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071; 3. 烟台开发区天源水产有限公司 烟台 264000)

摘要 观察研究了 10 个盐度梯度(7、12、17、22、27、32、37、42、47 和 52)对条纹锯鲷(*Centropristis striata*)仔鱼的活力、开口和摄食情况的影响,记录分析其不同盐度条件下不投饵存活系数、开口率、摄食率及摄食强度等指标。结果显示,盐度对条纹锯鲷仔鱼的活力、摄食及存活有明显影响,其存活和摄食的适宜盐度范围为 12–37,最适盐度范围为 27–32。盐度低于 12 时,仔鱼存活率、开口率和摄食强度随盐度的降低而降低,盐度高于 37 时,仔鱼存活率、开口率及摄食强度则随盐度的升高而降低。不同盐度条件下,条纹锯鲷仔鱼 SAI 值的波动范围为 0.034–6.401,盐度为 12–37 的实验组与 7、42、47、52 实验组的 SAI 值存在显著性差异($P < 0.05$),盐度为 32 时,仔鱼的 SAI 值最大,为 6.041,SAI 值与盐度之间符合三次曲线函数关系,其表达式为 $y = -5.894 + 1.155x - 0.034x^2 + 0.000x^3$, $R^2 = 0.895$,其中, y 代表 SAI, x 代表盐度。盐度为 7、42、47 和 52 时,仔鱼的存活率均低于 50%,盐度为 52、47 时,仔鱼在第 3、4 天存活率分别降为 0。盐度为 22、27、32 时,培育至第 5 天,仔鱼的存活率均在 80% 以上。盐度在 17–37 范围内,仔鱼开口率为 60%–85%,且仔鱼均能较好摄食,盐度为 32 时,仔鱼开口率达到最大值,为 85%,仔鱼摄食亦达到最佳状态,摄食率为 85%,8 日龄仔鱼摄食强度为 5.45 个轮虫/尾。

关键词 盐度; 条纹锯鲷; 仔鱼; 生存活力指数; 存活率; 开口率

中图分类号 S962 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2017)02-0077-06

条纹锯鲷(*Centropristis striata*)属于鲷科(Serranidae)、石斑鱼亚科(Serraninae)、锯鲷属(*Centropristis*),俗称美洲黑石斑鱼(雷霆霖等,2007)。条纹锯鲷是一种名贵的海水鱼类,其肉质鲜美,适应性强,经济价值高(林星,2009;刘瑞棠,2011)。2002 年从美国引进条纹锯鲷鱼苗和受精卵,其后在山东、浙江、福建、广东等地广泛开展养殖(王波等,2003)。国内外对条纹锯鲷的研究主要包括:条纹锯鲷胚胎发育及卵黄囊仔鱼形态变化(贾瑞锦等,2012)、幼鱼配合饲料(林星,2009)、

仔稚幼鱼形态发育的异速生长模式(贾瑞锦等,2014)、饥饿对仔鱼生长摄食的影响(贾瑞锦等,2014)等。盐度作为重要的环境因子,对多种海、淡水鱼类的生活、生长、发育、繁殖、孵化、仔鱼活力、开口、仔鱼摄食等有明显影响。阳刚等(2011)研究了条纹锯鲷对盐度胁迫的耐受能力及淡水胁迫的恢复,结果显示,(20.32±9.67) cm 和(10.20±0.63) cm 的鱼种在盐度为 0 的环境中的半致死时间分别为(1.63±0.23) h 和(0.77±0.23) h,且在盐度为 10 的低盐度环境中可以存

* 科技部国际合作项目(2012DFA30360)资助 [This work was supported by Ministry of Science and Technology International Cooperation Project (2012DFA30360)]. 张春禄, E-mail: zcl643228594@sina.com

① 通讯作者: 陈超, 研究员, E-mail: ysfriechencao@126.com

收稿日期: 2015-10-26, 收修改稿日期: 2016-01-12

活 96 h 以上。徐涛(2007)¹⁾认为, 盐度对条纹锯鲂的特定生长率、食物转化率、血浆渗透压和鳃丝 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力有显著影响, 盐度变化的幅度越大, 血浆渗透压和鳃丝 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力下降越明显。在条纹锯鲂幼鱼对极限盐度的耐受实验中发现, 在盐度为 6 时, 幼鱼出现死亡现象; 当盐度为 4 时, 24 h 内幼鱼全部死亡(Berlinsky *et al*, 2000; Atwood *et al*, 2001)。盐度高低对条纹锯鲂的影响的报道, 其研究对象主要为幼鱼, 盐度对条纹锯鲂仔鱼的活力、开口和摄食影响的研究尚未见报道, 本研究以多梯度盐度对比实验对条纹锯鲂早期仔鱼活力、开口、摄食进行研究观察, 为稳定开展其人工繁育奠定理论基础。

在生产中, 仔鱼活力、开口、饵料转换和摄食是提高养殖成活率 and 经济效益的关键(庄平等, 1999), 仔鱼早期发育阶段的高死亡率与开口率关系密切。许多鱼类仔鱼在内源营养向外源营养过渡的阶段, 会出现大量死亡, 这一过渡阶段被学者称为“危险期”(朱成德, 1986)。如果不清楚仔鱼开口、摄食和生长与环境因素的关系, 容易导致仔鱼大量死亡或者畸形, 而在众多环境因子中, 盐度是最重要的因素之一, 合理的盐度能够提高仔鱼的开口率和成活率(菅玉霞等, 2012)。本研究通过开展盐度对条纹锯鲂仔鱼的活力、开口和摄食的影响分析, 为其苗种生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

实验用亲鱼为中国水产科学研究院黄海水产研究所在烟台开发区天源水产有限公司培育的 3-4 龄种鱼, 在 7 m×3 m×1.2 m 的室内水泥池中培养。亲鱼自然产卵受精后, 收集受精卵放入孵化网中孵化, 获得初孵仔鱼, 全长为(2.696±0.087) mm。孵化和培育条件: 水温为 22.6-26.0℃, 盐度为 32, $\text{DO} \geq 5 \text{ mg/L}$, pH 为 7.4-8.1。

1.2 实验方法

1.2.1 实验盐度梯度的设置 根据条纹锯鲂适宜的生存盐度为 5-36, 最适盐度为 15-32 (雷霖霖等, 2007), 设置 10 个盐度梯度, 分别为 52、47、42、37、32、27、22、17、12 和 7。较高盐度的海水以自然海水加盐卤配制而成, 较低盐度组由海水添加一定比例

的、经充分暴晒曝气的自来水配制而成, 每个盐度梯度设置 2 个平行。

1.2.2 不同盐度下仔鱼生存活力指数测定 肉眼观察选取无畸形、活力好的初孵仔鱼作为实验材料, 每个盐度组(海水 1000 ml)烧杯中放置 100 尾, 实验水温为(25.0±0.5)℃, 无投饵, 无充气, 静水培育。每隔 24 h 用吸管吸出死亡仔鱼, 并记录死亡数量, 直至仔鱼全部死亡, 计算仔鱼生存活力指数:

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

式中, SAI 为生存活力指数(Survival activity index); N 为实验起始的仔鱼数量; k 为仔鱼全部死亡所需的天数; hi 为第 i 天时仔鱼累计死亡数(王涵生等, 2002)。

1.2.3 不同盐度条件下仔鱼开口率和摄食率的测定

盐度梯度设置及海水配制和实验容器同 1.2.1。每实验组选取活力好的 2 d 仔鱼[全长为(2.914±0.243) mm], 每个烧杯各 100 尾, 不充气, 静水培育。仔鱼的开口饵料为褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*), 投饵密度为 10-15 个/ml。每日 15:00 统计每个烧杯中仔鱼死亡数量, 计算成活率, 从每个烧杯取 10 尾仔鱼镜检其摄食情况, 计算仔鱼的开口率、摄食率及摄食强度, 每日清污, 隔天少量换水。

开口率(%)=(3 d 开口的尾数/测定仔鱼总数)×100;

摄食率(%)=(摄食尾数/测定仔鱼总数)×100;

摄食强度=仔鱼摄食轮虫的总数/测定仔鱼的总数。

1.2.4 数据处理分析 数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示。SAI、开口率数据使用 SPSS 13.0 软件处理, 用单因素方差分析方法(One-way ANOVA)分析数据, 选择显著性水平 P 为 0.05, $P < 0.05$ 为差异显著, 反之差异不显著。

2 结果

2.1 不同盐度下条纹锯鲂仔鱼的 SAI 值

2015 年 7 月 14 日-8 月 3 日, 先后测定 3 批仔鱼在不同盐度下的 SAI 值, 其结果见表 1。对 3 个批次的 SAI 平均值采用最小显著差法检验各盐度组 2 组的差异, 结果显示, 盐度为 12、17、22、27、32 和 37 的实验组, SAI 值无显著性差异, 与其他组差异显著。盐度为 47 与 52 的实验组之间的 SAI 值无显著性差异,

1) Xu T. The effect of environmental factors on energy budget, osmoregulation and the activities of antioxidant enzymes of *Centropristis striata*. Mater's Thesis of the Ocean University of China, 2007, 1-64 [徐涛. 环境因子对条纹锯鲂 *Centropristis striata* 能量代谢、渗透调节和抗氧化酶活力的影响. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2007, 1-64]

表 1 不同盐度条件下条纹锯鲈仔鱼的 SAI 值
Tab.1 Effect of salinity on the survival activity index of *C. striata* larvae

批次 Batch	不同盐度下的生活动力指数 SAI at different salinity									
	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52
1	1.465	7.250	7.365	7.640	7.840	8.205	3.745	1.750	0.340	0.020
2	0	5.465	6.155	6.165	6.275	6.810	4.580	0.690	0.150	0.090
3	0	0	0.294	1.413	2.065	4.188	3.800	1.444	0.040	0
平均值±标准差 Mean±SD	0.488± 0.846 ^c	4.238± 3.777 ^a	4.604± 3.782 ^a	5.073± 3.254 ^a	5.393± 2.987 ^a	6.401± 2.039 ^a	4.042± 0.467 ^a	1.295± 0.546 ^b	0.177± 0.152 ^d	0.037± 0.047 ^d

注: 不同上标字母表示显著差异($P < 0.05$)

Note: Different superscript letters showed significant difference ($P < 0.05$)

这 2 组与 7、12、17、22、27、32 和 37 盐度下的 SAI 值有显著性差异。盐度为 42 和 7 的实验组与其他组的 SAI 之间均有显著性差异。SAI 数值顺序为 32>27>22>17>12>37>42>7>47>52。对盐度和 SAI 值进行回归分析, 根据显著性(P 值)及相关指数(R^2)的大小表示回归可靠程度来选择最优方程。盐度与 SAI 所选的方程均达到显著水平(图 1)($P < 0.05$)。SAI 与盐度之间符合三次曲线函数关系, 其表达式为 $y = -5.894 + 1.155x - 0.034x^2 + 0.000x^3$, $R^2 = 0.985$, 其中, y 代表 SAI, x 代表盐度。

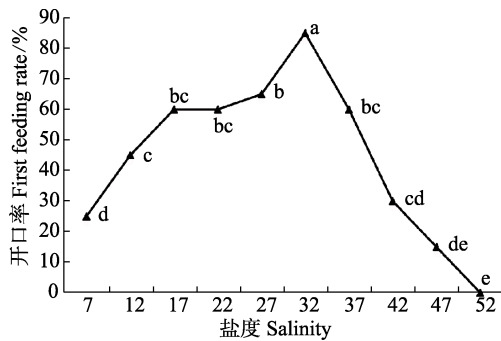


图 1 不同盐度条件下条纹锯鲈仔鱼的开口率
Fig.1 The first feeding rate of *C. striata* larvae at different salinities

不同字母者有显著差异($P < 0.05$)

Different letters indicated significant difference ($P < 0.05$)

2.2 不同盐度条件下条纹锯鲈仔鱼的存活率

盐度对条纹锯鲈仔鱼的存活率同样具有显著影响(表 2)。在盐度 7-52 范围内, 随着盐度增加, 仔鱼存活率呈先升高后降低的趋势; 当盐度为 7、42、47 和 52 时, 仔鱼的存活率均低于 50%; 当盐度为 52 和 47 时, 仔鱼在第 3、4 天存活率均为 0; 当盐度为 22、27 和 32 时, 培育至第 5 天, 仔鱼的存活率均在 80% 以上。

2.3 盐度对条纹锯鲈仔鱼开口率的影响

条纹锯鲈仔鱼孵出 2 d 即可见口轻微上下开合,

显微镜下观察未见摄食, 仔鱼 2.5 d 时进入摄食期, 3 d 时取各盐度梯度中的仔鱼统计开口率(图 1)。结果显

表 2 不同盐度条件下条纹锯鲈仔鱼的存活率(%)

Tab.2 Effects of salinity on the survival rate of *C. striata* larvae (%)

仔鱼日龄 Day age (d)	不同盐度下的存活率									
	Survival rate at different salinity									
	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52
2	22.5	94.0	94.5	96.5	97.5	97.5	78.0	50.0	44.4	11.5
3	22.0	78.0	87.0	88.6	89.0	90.5	65.5	48.0	42.5	0
4	22.0	64.5	82.0	85.5	86.0	90.5	63.5	48.0	0	0
5	13.5	61.0	79.0	83.5	84.0	89.0	58.0	34.0	0	0

示, 在盐度 7-52 范围内, 仔鱼开口率呈先升高后降低的变化趋势; 盐度 7、12、42、47 和 52 时, 仔鱼的开口率明显偏低; 在盐度为 17-37 的范围内, 仔鱼开口率为 60%-85%, 盐度为 32 时, 仔鱼的开口率达到最大值, 为 85%。

2.4 盐度对条纹锯鲈仔鱼摄食的影响

条纹锯鲈仔鱼开口摄食后, 不同盐度条件下, 仔鱼的摄食率和摄食强度呈现不同的变化趋势(表 3、图 2)。盐度为 7、12、42、47 和 52 时, 仔鱼的摄食率和摄食强度均较低, 且前期仔鱼(开口-5 d 仔鱼)的摄食量随着时间的推移有降低的趋势; 在盐度为 17-37 的范围内, 仔鱼均能较好摄食, 且随着时间的推移摄食活动基本不受影响, 盐度为 32 时, 仔鱼摄食达到最佳状态, 摄食率达 85%, 8 d 时仔鱼摄食强度为 5.45 个轮虫/尾。

3 讨论

3.1 盐度对条纹锯鲈仔鱼活力及存活的影响

盐度是影响鱼类胚胎及仔鱼发育的重要生态因子之一(Yasuhisa *et al.*, 1993), 其对仔鱼的 SAI 值和存

表3 不同盐度条件下条纹锯鲷仔鱼的摄食率(%)
Tab.3 Effects of salinity on the feeding rate of
C. striata larvae (%)

仔鱼日龄 Day age (d)	不同盐度下的摄食率 Feeding rate at different salinity									
	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52
2	25	45	60	60	65	85	60	30	15	0
3	30	30	75	75	90	90	35	15	0	0
7	40	80	80	85	85	85	65	45	35	0
8	45	60	75	75	85	85	80	55	0	0

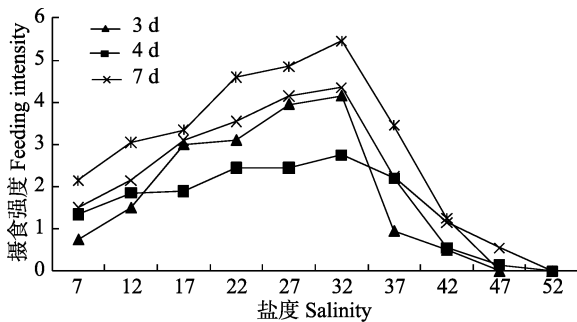


图2 不同盐度条件下条纹锯鲷仔鱼的摄食强度
Fig.2 The feeding intensity of *C. striata* larvae at different salinities

活率影响比较明显,在适宜的盐度范围内,仔鱼的SAI和存活率较高,盐度过低或过高都会使仔鱼的死亡率显著上升。Tytler等(1988)研究认为,初孵仔鱼在较低盐度环境时,仔鱼接近外界渗透压,消耗的能量少,有利于仔鱼存活。Faulk等(2006)通过研究军曹鱼(*Rachycentron canadum*)幼鱼发现,幼鱼对盐度的耐受性与日龄有关,日龄越大耐受性越强。本研究表明,相同盐度条件下,不同批次仔鱼的SAI值有较大区别,这与受精卵的质量有关(王涵生等,2002)。适宜的盐度又对仔鱼的存活至关重要,本研究中,盐度在12-37的范围内,条纹锯鲷仔鱼的SAI值为4.238-6.401,存活率为58.0%-89.0%,盐度为27、32时,SAI值和存活均达到最大值,条纹锯鲷仔鱼的适宜盐度为12-37,最适盐度范围为27-32,这与雷霖霖等(2007)得出的条纹锯鲷适宜盐度范围基本一致。不同种海水鱼类早期发育的适宜盐度范围有一定差别;施兆鸿等(2008)认为,点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)仔鱼适宜盐度为25-40,最适盐度为25.6-31.7;宋振鑫等(2013)研究表明,云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)仔鱼适宜的盐度范围为20-35,最适范围为25-30;张海发等(2006)报道斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)仔鱼的适宜存活盐度为10-40,最适盐度为15-30。与同亚科的石斑鱼类相比,条纹

锯鲷仔鱼存活的适宜盐度范围较宽,对低盐度适宜能力较强。

3.2 盐度对条纹锯鲷仔鱼摄食活动的影响

Vernberg等(1981)研究表明,随着环境盐度升高,鱼鳃的 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力就会增强,释放能量调节渗透平衡;当盐度降低时, $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 的活力降低,仔鱼消耗的能量减少。盐度的变化会迫使鱼类自身通过一系列的生理变化来维持内外渗透压的平衡,从而影响其生长存活、摄食、呼吸代谢和胚胎发育等生理指标产生相应的变化(Lein et al, 1997)。

目前,盐度对海水鱼类仔鱼摄食的影响已有报道。郑乐云等(2004)研究了斜带髯鲷仔鱼(*Haplogenyx nitens*)在不同盐度下的摄食情况,在盐度为14-44范围内,仔鱼的摄食量呈先升高后降低的趋势,在盐度29-34区间,开口率高达90%以上,24-34是仔鱼生理机能较为正常的盐度范围;梁国栋等(2009)认为,罗非鱼(*Tilapia*)仔鱼在2-10的盐度范围内,开口率随盐度的增加逐渐上升,仔鱼为了克服渗透压,鱼鳃的 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力增强,增大了代谢速率,刺激摄食器官提前发育成型,使初次摄食率增加。另外,盐度过高时,鱼苗下沉困难,仔鱼基本上在上层水体中,会造成仔鱼局部密度过高,对仔鱼的摄食产生一定的负面影响。本研究结果显示,在17-37的盐度范围内,条纹锯鲷仔鱼有较高的开口率和摄食强度,且适宜盐度范围内仔鱼的摄食强度随着时间的延长而逐渐增强,盐度为32时,开口率和摄食强度达到最大值,3d仔鱼开口率为85%,8d仔鱼的摄食强度为5.45个轮虫/尾,而较高和较低盐度明显影响了仔鱼的摄食活动,仔鱼的摄食能力降低,这可能与盐度过高或过低破坏了仔鱼的渗透压平衡而影响仔鱼的摄食有关。

3.3 盐度与仔鱼活力、开口和摄食的关系及其生产意义

仔鱼孵出后,在不投饵的情况下,依靠卵黄作为营养物质可存活一段时间。存活时间的长短与其卵积累的营养物质的数量和质量有关(王涵生等,2002)。仔鱼存活的时间越长,其SAI值越高,通过测定仔鱼的SAI值可以判断仔鱼的活力,进而判断受精卵的卵质。此外,由于环境、营养等的变化,不同时间产出的卵,其卵质亦有一定差异。在育苗实践中,仅依靠SAI值来判断仔鱼活力是不充分的,还需加上仔鱼的存活率、开口率及摄食率等几项指标,从而更准确地判断仔鱼活力,并以此判断卵质和亲鱼状况。尤宏争等(2013)认为,通过实验找出有利于鱼类生活的最佳

盐度和耐受范围并应用于生产,可以有效节省饵料,提高生长速度和成活率。根据本研究结果,在盐度为27–32的范围内,条纹锯鲷仔鱼生存活力好,开口率和摄食率高。在条纹锯鲷的实际生产中,依据此盐度范围调节育苗水体的盐度,可有效提高仔鱼的开口率和摄食率,节省饵料,提高育苗成活率,促进条纹锯鲷的苗种繁育产业的发展。

参 考 文 献

- Atwood HL, Young SP, Tomasso JR, *et al.* Salinity and temperature tolerances of black seabass juveniles. *North American Journal of Aquaculture*, 2001, 63: 285–288
- Berlinshy DM, Watson GN, *et al.* Investigations of selected parameters for growth of larval and juvenile black seabass, *Centropristis striata* L. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2000, 31(3): 426–435
- Faulk CK, Holt GJ. Responses of cobia *Rachycentron canadum* larvae to abrupt or gradual changes in salinity. *Aquaculture*, 2006, 254(1–4): 275–283
- Jia RJ, Chen C, Kong XD, *et al.* Effects of starvation on surviving, feeding and growth of the yolk-sac larval of *Centropristis striata*. *Marine Sciences*, 2014, 38(4): 44–49 [贾瑞锦, 陈超, 孔祥迪, 等. 饥饿对条纹锯鲷仔鱼的存活、摄食及生长的影响. *海洋科学*, 2014, 38(4): 44–49]
- Jia RJ, Chen C, Li YL, *et al.* Early development and allometric growth pattern of *Centropristis striata*. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(5): 128–134 [贾瑞锦, 陈超, 李炎璐, 等. 条纹锯鲷(*Centropristis striata*)仔、稚、幼鱼形态发育的异速生长模式. *渔业科学进展*, 2014, 35(5): 128–134]
- Jia RJ, Wang L, Zhao CM, *et al.* Preliminary studies on embryonic development and morphology of the yolk-sac larvae of *Centropristis striata* Linnaeus. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(4): 11–17 [贾瑞锦, 王鲁, 赵从明, 等. 条纹锯鲷胚胎发育及卵黄囊仔鱼形态变化的观察. *渔业科学进展*, 2012, 33(4): 11–17]
- Jian YX, Pan L, Hu FW, *et al.* The effects of temperature and salinity on survival and growth of larval *Hexagrammos otakii* Jordan et Starks. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(5): 24–29 [菅玉霞, 潘雷, 胡发文, 等. 温度和盐度对大泷六线鱼仔鱼存活与生长的影响. *渔业科学进展*, 2012, 33(5): 24–29]
- Lei JL, Lu JW. The breed predominance and culture prospects of *Centropristis striata* Linnaeus. *Marine Fisheries Research*, 2007, 28(5): 110–115 [雷霖霖, 卢继武. 美洲黑石斑鱼的品种优势和养殖前景. *海洋水产研究*, 2007, 28(5): 110–115]
- Lein I, Tveite S, Gjerde B, *et al.* Effects of salinity on yolk sac larvae of Atlantic halibut (*Hippoglossus Hippoglossus*). *Aquaculture*, 1997, 156(3): 291–303
- Liang GD, Wang H, Liu JH, *et al.* Constructing and optimizing model of relationship between first feeding rate of larval *Tilapia* and temperature and salinity. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2009, 34(4): 33–34 [梁国栋, 王辉, 刘加慧, 等. 罗非鱼仔鱼开口率与温度、盐度间模型的建立与优化. *广东海洋大学学报*, 2009, 34(4): 33–34]
- Lin X. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation in *Centropristis striata* muscles. *Animals Breeding and Feed*, 2009, 40(9): 43–46 [林星. 条纹锯鲷肌肉营养成分分析与品质评价. *养殖与饲料*, 2009, 40(9): 43–46]
- Liu RT. The experiment of marine cage culture of the introduced Atlantic seabass. *Hebei Fisheries*, 2011(10): 28–29 [刘瑞棠. 引进美洲黑石斑鱼海水网箱养殖实验. *河北渔业*, 2011(10): 28–29]
- Shi ZH, Chen B, Peng SM, *et al.* The morphological change under salinity stress in development of yolk-sac larvae of *Epinephelus malabaricus*. *Oceanologia ET Limnologia Sinica*, 2008, 39(3): 222–227 [施兆鸿, 陈波, 彭士明, 等. 盐度胁迫下点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)胚胎及卵黄囊仔鱼形态变化. *海洋与湖沼*, 2008, 39(3): 222–227]
- Song ZX, Chen C, Wu LM, *et al.* Effects of salinity and pH on the embryonic development and larval activity of kelp bass *Epinephelus moara*. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(6): 52–58 [宋振鑫, 陈超, 吴雷明, 等. 盐度和pH对云纹石斑鱼胚胎发育和仔鱼活力的影响. *渔业科学进展*, 2013, 34(6): 52–58]
- Tytle P, Blaxter JH. The effects of external salinity on the drinking rates of the larvae of herring, plaice and cod. *Journal of Experimental Biology*, 1988, 138(1): 1–15
- Vemberg FJ, Verberg WB. Functional adaptations of marine organisms. New York: Academic press, 1981, 237–336
- Wang B, Zhu MY, Mao XH. Breeding new variety—Atlantic seabass. *Hebei Fisheries*, 2003(5): 26–27 [王波, 朱明远, 毛兴华. 养殖新品种——美洲黑石斑鱼. *河北渔业*, 2003(5): 26–27]
- Wang HS, Fang QS, Zheng LY. Effects of salinity on hatching rates and survival activity index of the larvae of *Epinephelus akaara*. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 36(4): 344–350 [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. *水产学报*, 2002, 36(4): 344–350]
- Yang G, Liu C, Ma S, *et al.* Preliminary study on the tolerance of the black sea bass under salinity stress and the recovery from freshwater stress. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2011(2): 73–78 [阳钢, 刘超, 马牲, 等. 条纹锯鲷对盐度胁迫的耐受力及淡水胁迫恢复的初步研究. *海洋湖沼通报*, 2011(2): 73–78]
- Yasuhisa M, Tsuzumi M. Effects of salinity on the embryonic development and larval survival activity of red spotted grouper *Epinephelus akaara*. *Saibai Giken*, 1993, 22(1): 35–38
- You HZ, Zheng YK, You GC. Research progress on effects of different salinity on culture biology of fish. *Hebei Fisheries*, 2013(3): 47–52 [尤宏争, 郑艳坤, 尤广超. 不同盐度对鱼类养殖生物学的影响研究进展. *河北渔业*, 2013(3): 47–52]
- Zhang HF, Liu XC, Wang YX, *et al.* Effects of temperature,

salinity and pH on hatch and larval activity of *Epinephelus coioides*. *Journal of Tropical Oceanography*, 2006, 25(2): 31–36 [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. *热带海洋学报*, 2006, 25(2): 31–36]

Zheng LY, Fang QS, Wang HS, *et al.* Effects of salinity on activity and larval feeding rate of *Hapalogenys nitens* Richardson. *Marine Sciences*, 2004, 28(4): 5–7 [郑乐云, 方琼珊, 王涵生, 等. 盐度对斜带髯鲷仔鱼(*Hapalogenys nitens*)活力及摄食率的影响. *海洋科学*, 2004, 28(4): 5–7]

Zhu CD. Aspects on the first-feeding stage and food of fish larvae. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1986, 10(1): 86–95 [朱成德. 仔鱼的开口摄食期及其饵料综述. *水生生物学报*, 1986, 10(1): 86–95]

Zhuang P, Zhang LZ, Zhang T, *et al.* Effects of delaying first feeding time on the survival and growth of larval Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(6): 560–565 [庄平, 章龙珍, 张涛, 等. 中华鲟仔鱼初次摄食时间与存活及生长的关系. *水生生物学报*, 1999, 23(6): 560–565]

(编辑 冯小花)

Effects of Salinity on the Survival and Feeding of *Centropristis striata* Larvae

ZHANG Chunlu^{1,2}, CHEN Chao^{1①}, LI Yanlu¹, ZHANG Tingting^{1,2},
LIU Li^{1,2}, QU Jiangbo³, SUN Tao³

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071;

3. Yantai Tianyuan Aquaculture Co., Ltd, Yantai 264000)

Abstract Here we investigated the effects of salinity gradients (7, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47, and 53) on the survival, the first feeding and feeding of larval *Centropristis striata*. The first feeding rate (FFR%), the feeding rate and the feeding intensity of early larvae were also recorded and analyzed. Newly-hatched larvae were used in the starvation test to measure the survival activity indices (SAIs) at different salinities. The results suggested that salinity had strong effects on the survival and feeding of larvae. The suitable salinity for newly-hatched larvae was 12–37, and the optimum range was 27 to 32. The survival rate, the first feeding rate and the feeding intensity were reduced when salinity was below 12 or above 37. The SAI of newly-hatched larvae varied between 0.034 and 6.401 according to the salinity. When the salinity was between 12 and 37, the corresponding SAIs were significantly different from those at salinities 7, 42, 47 and 52 ($P < 0.05$). The SAI was the highest (6.041) at salinity 32. The relationship between SAI (y) and salinity (x) could be described as $y = -5.894 + 1.155x - 0.034x^2 + 0.000x^3$, $R^2 = 0.895$. When the salinities were 7, 42, 47 and 52, the survival rate of larvae was below 50%. There was no survival after a 3-day treatment at salinity 52, or after 4 days at salinity 47. After a 5-day treatment at salinities 22, 27 and 32, the survival rate was above 80%. At salinity 17 to 37, the first feeding rate varied between 60% and 85%, and the maximum (85%) appeared at salinity 32. The highest feeding rate (85%) was also observed at this salinity, and the feeding intensity was 5.45 rotifers per larvae on Day 8.

Key words Salinity; *Centropristis striata*; Larvae; SAI; Survival rate; First feeding rate

① Corresponding author: CHEN Chao, E-mail: ysfrichenchao@126.com