

# 盐度与 pH 对云纹石斑鱼胚胎发育和仔鱼活力的影响

宋振鑫<sup>1,2</sup> 陈超<sup>1\*</sup> 吴雷明<sup>1,2</sup> 李炎璐<sup>1,2</sup> 翟介明<sup>3</sup> 马文辉<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 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)

(<sup>2</sup> 上海海洋大学水产与生命学院, 201306)

(<sup>3</sup> 莱州明波水产有限公司, 261400)

**摘要** 为探讨盐度、pH 对云纹石斑鱼 *Epinephelus moara* 胚胎发育和仔鱼活力的影响, 采用单因子实验的方法, 在水温 22±0.2℃ 条件下, 将受精卵在不同盐度(5、10、15、20、25、30、35、40 和 45)、不同 pH(5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0 和 9.5) 下孵化, 观察比较其孵化率 HR、畸形率 DR 以及对初孵仔鱼活力和仔鱼培育周期的影响。并在上述设定条件下, 进行了初孵仔鱼耐受试验, 测定其存活率 SR 及生存活力指数(SAI)。结果表明, 云纹石斑鱼胚胎发育的最低和最高临界盐度分别为 10 和 45, 最低和最高临界 pH 分别为 6.0 和 9.5; 盐度、pH 的适宜范围分别是 20~40、6.5~9.0, 最适范围分别是 30~35、7.5~8.0。仔鱼生存盐度、pH 的适宜范围分别是 20~35、6.0~9.0, 最适范围分别是 25~30、7.5~8.0。

**关键词** 云纹石斑鱼 盐度 pH 胚胎发育 生存活力指数

中图分类号 S968.1 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2013)06-0052-07

## Effects of salinity and pH on the embryonic development and larval activity of kelp bass *Epinephelus moara*

SONG Zhen-xin<sup>1,2</sup> CHEN Chao<sup>1\*</sup> WU Lei-ming<sup>1,2</sup>

LI Yan-lu<sup>1,2</sup> ZHAI Jie-ming<sup>3</sup> MA Wen-hui<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(<sup>2</sup> College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, 201306)

(<sup>3</sup> Laizhou Mingbo Fisheries Limited Corporation, 261400)

**ABSTRACT** Kelp bass *Epinephelus moara*, a fast growing and commercially valuable marine fish, is considered as a species of the highest potential for marine net cage culture in the temperate seas along the coast of Northeast Asia. It has been investigated intensively for aquaculture during the past several decades in a number of countries. However, little is known about its environmental requirements. In this study, the environmental impact on the embryonic development and the survival activity index (SAI) of the kelp bass larvae was investigated under salinity of 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 45, and pH of 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0,

科技部国际合作项目(2012DFA30360)和国家科技支撑项目(2011BAD13B01)共同资助

\* 通讯作者。E-mail: ysfri.chenchao@126.com, Tel: (0532) 85844459

收稿日期: 2012-08-29; 接受日期: 2012-09-27

作者简介: 宋振鑫(1986-), 男, 硕士研究生, 主要从事海水鱼类繁育与养殖技术研究。E-mail: songzhen\_zin@126.com

8.5, 9.0 and 9.5, with water temperature of  $(22 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ . The results indicated that the minimum and maximum salinity for the embryonic development of kelp bass was 10 and 45, the minimum and maximum pH as 6.0 and 9.5, respectively. Based on the development time, hatching rate and deformity rate of the animal, the suitable salinity range was 15-40, and 6.5-9.0 for pH, and the optimal salinity range was 30-35, and 7.5-8.0 for pH. Salinity 20-35, and pH 6.0-9.0 were suitable for larvae survival, and the optimums were 25-30 for salinity, and 7.5-8.0 for pH, respectively.

**KEY WORDS** Kelp bass *Epinephelus moara* Salinity pH  
Embryonic development Survival activity index (SAI)

在鱼类早期发育阶段的耐受力研究中,环境因子占有重要的作用。通过了解及掌握海产鱼类受精卵、早期仔鱼的生活习性和最佳环境条件,使其苗种稳产、高产,是实现规模化养殖的关键(王宏田等 1998)。常见的环境因素中,温度、盐度和 pH 是影响鱼类早期生活史的重要因子,盐度和 pH 也一直是国内外学者们研究的重点(Blaxter *et al.* 1974; Moyle *et al.* 1988; 殷名称 1991)。

云纹石斑鱼 *Epinephelus moara*, 英文名 Kelp bass, 俗称草斑、真油斑, 隶属硬骨鱼纲、鲈形目 Perciformes、鲷科 Serranidae、石斑鱼亚科 Epinephelinae、石斑鱼属 *Epinephelus*, 为海洋大型中下层鱼类, 主要分布于东海和南海(朱元鼎 1962), 具有耐受性强、生长速度快、质量优、价格高等特点, 是我国温带海域增养殖的理想品种(宋振鑫等 2012)。近年来国内陆续开展了云纹石斑鱼的相关研究, 主要集中在早期摄食与生长特性(陆丽君等 2011)和胚胎发育及仔、稚、幼鱼的形态过程观察(宋振鑫等 2012), 未见有关环境因子对该鱼早期发育影响的文献报道。作者研究了不同盐度、pH 值条件下云纹石斑鱼的胚胎发育和仔鱼活力, 旨在为苗种培育提供技术参数和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

实验于 2011 年在山东莱州明波水产有限公司进行, 云纹石斑鱼受精卵和初孵仔鱼由其提供。亲鱼经人工驯养及温度、光照和激素综合调控后发育成熟。在繁殖季节, 将亲鱼注射绒毛膜促性腺激素(HCG)和促黄体释放激素(LRH-A<sub>3</sub>)催产 48h 后, 采用干法授精获得受精卵。在 Nikon-200 显微镜下挑选发育正常的受精卵(已到二细胞期), 用于盐度、pH 实验。

受精卵放入孵化车间的圆柱形孵化桶中, 水温  $(22 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ , 盐度 30, 微充气, 流水孵化。约 38h 后仔鱼孵出, 用肉眼观察挑选其中生长无畸形个体, 进行不投饵存活系数的观察实验。

### 1.2 实验方法

实验分四部分, 分别为受精卵和初孵仔鱼的盐度、pH 梯度实验。每部分设置两组平行, 每组设 9 个梯度。每个梯度同样为 100 枚受精卵(100 尾初孵仔鱼)放入 1 000 ml 烧杯中, 整个实验过程中不充气、不投饵, 遮光处理  $(27 \pm 5) \text{lx}$ , 温度均为  $22 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 。盐度实验中 pH 为 8.0, pH 实验中盐度为 30。

#### 1.2.1 受精卵和初孵仔鱼盐度梯度实验

设置盐度梯度分别为 5、10、15、20、25、30、35、40、45。低盐度海水用砂滤海水加淡水(充分曝气)配制, 高盐度海水用砂滤海水加人工海水素配制而成, WYY-II 型盐度计测定。

#### 1.2.2 受精卵和初孵仔鱼 pH 梯度实验

设置 pH 梯度分别为 5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0、9.5。盐酸和氢氧化钠溶液调节海水的 pH, 并使用 WTW-3110 型 pH 计每隔 12h 进行一次测定, 使溶液 pH 变化保证在 0.2 范围内。

### 1.3 数据处理与分析

孵化率(HR,%) = 孵出仔鱼数/受精卵数 × 100

畸形率(DR,%) = 孵出的畸形鱼苗/孵出仔鱼总数 × 100

存活率(SR,%) =  $(N_t/N_0) \times 100$

式中, $t$ 为试验开始时间(d), $N_t$ 为最终存活数, $N_0$ 为起始尾数。在不充气、不投饵的条件下至仔鱼全部死亡,计算仔鱼生存活力指数。

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

式中,SAI为生存活力指数(Survival Activity Index), $N$ 为实验起始的仔鱼数, $k$ 为仔鱼全部死亡所需的天数, $h_i$ 为第*i*天时仔鱼的累计死亡数。

实验数据以平均值±标准差(Mean ± SD)表示,利用SPSS 17.0统计软件对HR、DR和SR进行单因素方差(ANOVA)统计分析,多重比较采用Duncan氏法,取差异显著性指数 $P$ 为0.05, $P < 0.05$ 视为差异显著, $P > 0.05$ 视为差异不显著。

## 2 结果

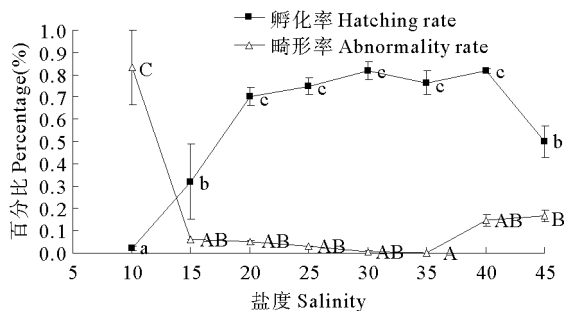
### 2.1 盐度对云纹石斑鱼胚胎发育的影响

云纹石斑鱼受精卵在不同盐度条件下的孵化情况见图1。盐度范围下限为10,上限为45,盐度15~45范围内都可以完成受精卵的孵化,其中最低孵化率(HR)也超过了30%(盐度为15)。限度范围内的20、25、30、35和40这5个适盐组平均HR都大于70%,30组为最适宜值,HR达82%。在盐度20~40范围内孵化和孵化时间差异不显著( $P > 0.05$ )。HR对盐度的回归曲线呈抛物线型分布,其回归关系为 $y = -3.680 \times 10^{-5}x^3 + 0.001x^2 + 0.024x - 0.214$ , $R^2 = 0.942$ ,其中 $y$ 代表孵化率, $x$ 代表盐度。

孵出仔鱼的畸形率(DR,%)随盐度变化而不同,以盐度30~35为最低,20~25时次之,当盐度低于15或高于40时,初孵仔鱼的DR明显升高( $P < 0.05$ )。盐度40组HR跟盐度30组持平,但DR升高,最适宜盐度范围还保持在30~35之间。孵化过程中的发育死亡和畸形从多细胞期开始,原肠中期死亡较多,卵膜形状不规则,有囊泡。在适宜孵化的盐度范围内,对DR进行多项式回归分析,得到回归方程为 $y = 6.348 \times 10^{-5}x^3 - 0.005x^2 + 0.105x - 0.685$ , $R^2 = 0.953$ ,其中 $y$ 代表畸形率, $x$ 代表盐度。

### 2.2 pH对云纹石斑鱼胚胎发育的影响

云纹石斑鱼受精卵在不同pH条件下的孵化情况见图2。pH下限为6.0,上限为9.5,pH 6.5~9.0适宜范围内受精卵都可以完成孵化,平均HR超过60%。pH在6.5~9.0条件下孵化和仔鱼孵化时间差异不显著( $P > 0.05$ )。pH 7.5~8.0为最适宜范围,其中pH 7.5条件下HR最高,达到98%。在pH 5.5条件下,受精卵至原肠中期前就全部死亡,同时pH 5.5、6.0和9.5条件下的3组HR同其他各组相比差异显著( $P < 0.05$ )。pH梯度下的HR也呈抛物线型分布,其回归关系为 $y = -0.010x^3 + 1.822x - 8.432$ ( $R^2 = 0.909$ ),



标有不同字母的平均值组间差异显著( $P < 0.05$ )

Values with different letters are significantly different among treatments ( $P < 0.05$ )

图1 云纹石斑鱼受精卵在不同盐度下孵化率和初孵仔鱼畸形率  
Fig.1 Hatching rate and deformity rate of *E. moara* embryos at different salinity

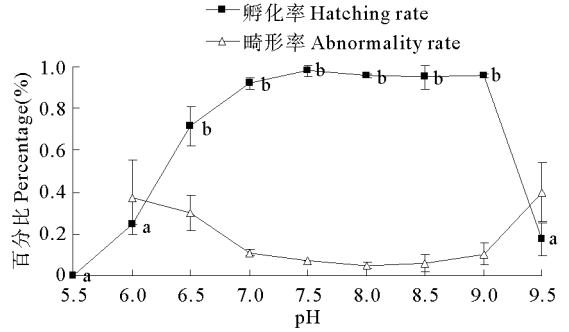
其中  $y$  代表孵化率,  $x$  代表盐度。

在 pH6.0 和 9.5 条件下,HR 分别只有 25% 和 17.5%,但 DR 却高达 40%,因此低于或者高于这一限度范围将不再适合孵化。DR 对 pH 的回归曲线为反抛物线型,其回归方程为  $y = 0.005x^3 - 0.913x + 4.842(R^2 = 0.911)$ ,其中  $y$  代表畸形率,  $x$  代表盐度。

### 2.3 盐度对云纹石斑鱼仔鱼活力的影响

不同盐度条件下不投饵云纹石斑鱼初孵仔鱼的存活率(SR, %)及生存活力指数(SAI)见表 1。当盐度为 5 时,仔鱼 1d 就完全死亡。盐度为 10、40 和 45 时,SR 在 2~3d 出现骤降,4d 内全部死亡。盐度为 5、10、40 和 45 时,SAI 值之间差异不显著( $P > 0.05$ ),与其他各组相比差异显著( $P < 0.05$ )。

盐度为 20、25、30 和 35 这 4 组仔鱼的半数死亡天数都超过 6d,为适宜范围。其中盐度 25~30 组的 SAI 值达到最高,为  $24.52 \pm 0.42$ (盐度为 30),同时此盐度下 6d 时,仍保证有 69% 的 SR,10d 全部死亡,为存活时间最长的一组,为最适宜范围。SAI 与盐度之间符合三次曲线函数关系,其表达式为  $y = -0.002x^3 + 0.041x^2 + 2.003x - 21.392, R^2 = 0.992$ ,其中,  $y$  代表 SAI,  $x$  代表盐度。



标有不同字母的平均值组间差异显著( $P < 0.05$ )

Values with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

图 2 云纹石斑鱼受精卵在不同 pH 值下孵化率和初孵仔鱼畸形率  
Fig. 2 Hatching rate and deformity rate of *E. moara* embryos at different pH

表 1 云纹石斑鱼初孵仔鱼在不投饵不同盐度条件下的存活率及生存活力指数

Table 1 SR and SAI of *E. moara* newly-hatched larvae at different salinity

盐度 Salinity	仔鱼孵化后不同天数中的存活率 SR of larval <i>E. moara</i> post hatching(%)										SAI
	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d	9d	10d	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00±0.00 <sup>a</sup>
10	32.0	7.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.50±0.23 <sup>a</sup>
15	85.0	84.0	82.0	82.0	39.0	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.96±0.76 <sup>c</sup>
20	98.0	96.0	95.0	89.5	80.0	61.0	30.0	18.0	0.0	0.0	20.53±0.07 <sup>d</sup>
25	98.0	96.0	94.0	86.0	80.0	65.0	50.0	30.0	0.0	0.0	22.96±0.13 <sup>e</sup>
30	100.0	98.5	93.0	85.0	79.0	69.0	51.0	35.0	10.0	0.0	24.52±0.42 <sup>e</sup>
35	100.0	96.0	88.0	80.0	76.0	67.0	18.0	10.0	0.0	0.0	18.64±0.59 <sup>d</sup>
40	98.0	62.5	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.68±0.18 <sup>b</sup>
45	98.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.09±0.16 <sup>ab</sup>

注:同一列中标有不同字母的数值表示显著差异( $P < 0.05$ )

Note: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

### 2.4 pH 对云纹石斑鱼仔鱼活力的影响

pH 对初孵仔鱼的存活力同样具有显著的影响(表 2)。在 pH 7.5~8.0 条件下,仔鱼活力最好,7d 出现半数死亡,全部死亡时间为 8~9d。pH 为 5.5 时仔鱼活力最差,2d 就出现半数死亡,4d 全部死亡;pH 9.0、9.5 次之,仔鱼的半数死亡天数集中在 3~4d。与盐度梯度不同的是,pH 梯度下 SAI 值都有所提高,除了 pH 5.5、9.5 与适宜组差异显著( $P < 0.05$ )外,适宜组中 pH 6.0~7.0 与 8.5~9.0 也出现显著性差异( $P < 0.05$ )。

在整个 pH 梯度范围内,仔鱼的 SAI 值也是先升高后降低,当 pH 为 5.5、9.5 时偏低, pH 为 6.5~8.0 时

明显升高。其中,pH 8.0时SAI值最高,为 $25.33 \pm 0.59$ ,pH 6.5、7.0和7.5次之,SAI值都大于20。pH 7.0和7.5的SR规律与pH 8.0相似,1~7d一直为平稳期,8d出现半数死亡。SAI与pH之间符合二次曲线函数关系,其表达式为 $y = -4.717x^2 + 70.178x - 238.410 (R^2 = 0.865)$ ,其中 $y$ 代表SAI, $x$ 代表pH。

表2 云纹石斑鱼初孵仔鱼在不投饵不同pH条件下的存活率及生存活力指数

Table 2 SR and SAI of *E. moara* newly-hatched larvae at different pH

pH	仔鱼孵化后不同天数中的存活率 SR of larval <i>E. moara</i> post hatching (%)										SAI
	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d	9d	10d	
5.5	89.5	44.5	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	$2.81 \pm 0.67^a$
6.0	98.5	85.0	68.0	66.0	64.0	51.0	16.0	0.0	0.0	0.0	$14.75 \pm 0.79^{bc}$
6.5	97.5	96.0	88.5	83.5	80.0	73.0	42.5	3.0	0.0	0.0	$20.49 \pm 0.11^{cd}$
7.0	99.0	86.5	77.5	77.0	74.5	66.0	54.5	5.5	0.0	0.0	$20.07 \pm 0.23^{cd}$
7.5	100.0	91.5	85.5	84.5	83.0	71.0	61.0	10.5	0.0	0.0	$22.30 \pm 3.43^d$
8.0	94.5	92.5	86.0	82.5	80.5	76.5	72.5	28.0	8.0	0.0	$25.33 \pm 0.59^d$
8.5	92.5	75.5	53.5	45.5	40.5	34.5	25.5	0.0	0.0	0.0	$11.74 \pm 0.61^b$
9.0	90.5	86.5	70.0	58.0	44.0	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	$10.73 \pm 1.05^b$
9.5	73.0	72.5	37.0	25.5	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	$4.61 \pm 2.49^a$

注:同一列中标有不同字母的数值表示显著差异( $P < 0.05$ )

Note: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

### 3 讨论

#### 3.1 盐度对胚胎发育和仔鱼活力的影响

盐度是影响海水鱼类生理生态的重要环境因素之一。受精卵和仔鱼在盐度胁迫机制方面的研究相比稚、幼鱼则略显匮乏。本研究通过对云纹石斑鱼受精卵和仔鱼的观察,认为两阶段中各器官和调节机制还不完整,特别是前期仔鱼和受精卵阶段,各主要器官尚未形成,鱼类的下丘脑-垂体-肾间组织轴(Hypothalamic-pituitary-interrenal, HPI)(Bernier *et al.* 2001)还无法发挥作用。王涵生等(2002)通过盐度对赤点石斑鱼 *E. akaara* 的相关实验中,发现胚胎发育和仔鱼生长阶段适盐范围比成鱼要“窄”。Faulk 等(2006)在对军曹鱼 *Rachycentron canadum* Linnaeus 幼鱼研究中发现,幼鱼对盐度的耐受性与日龄有关,日龄越长耐受性越强,证明了耐盐性提高与鱼类生长发育过程的相关性。

盐度对胚胎发育影响主要是通过孵化率、畸形率、孵化时间和孵化周期这4个生理指标整合来判断(张海发等 2006)。除此之外,施兆鸿等(2009)还通过条石鲷 *Oplegnathus fascltus* 胚胎的沉浮情况、卵径和油球径来判断其受盐度胁迫程度。本研究中,盐度对云纹石斑鱼受精卵的影响主要集中在孵化率和畸形率方面,对孵化时间和孵化周期影响不显著( $P > 0.05$ )。施兆鸿等(2008)对点带石斑鱼 *E. malabaricus* 的描述中也是同样,不同盐度胁迫对孵化时间的影响差异不显著( $P > 0.05$ )。但在七带石斑鱼 *E. septemfasciatus* 相关研究中,随着盐度的增加,孵化周期有逐渐缩短的趋势(赵明等 2011)。分析原因,可能是高渗、孵化机制紊乱的共同作用造成不同鱼种研究结果之间的差异。

鱼类可以通过直接的渗透压调节机制或与周围环境进行物质交换和能量流动的间接调节,保持自身相对稳定,维持整体动态平衡(Swanson 1996)。海水鱼类的早期发育阶段也都有有一定的适盐范围(表3),与同属其他几种石斑鱼类相比,云纹石斑鱼孵化过程中的细胞畸形和死亡,从多细胞期开始,原肠中期死亡较多,卵膜形状不规则,有囊泡。初孵仔鱼的畸形状态则表现一致,同为脊椎弯曲、体形异常、尾部呈Z或W形;油球位于

卵黄囊的中部或前部,数目多于 1 个(正常个体 1 个油球,位于卵黄囊的后部);鳍膜破损、口位异常及心跳间隙等特征(施兆鸿等 2008;赵明等 2011)。

表 3 5 种石斑鱼盐度适宜范围对比

Table 3 Relevant data of *E. moara* in comparison with other groupers

鱼类 Grouper	受精卵适宜盐度 Suitable salinity for fertilized eggs	受精卵最适盐度 Optimum salinity for fertilized eggs	仔鱼适宜盐度 Suitable salinity for larvae	仔鱼最适盐度 Optimum salinity for larvae	资料来源 Reference
云纹石斑鱼 <i>E. moara</i>	15~40	30~35	20~35	25~30	本研究 This study
赤点石斑鱼 <i>E. akaara</i>	24~38	27~35	21~41	—	王涵生等(2002)
七带石斑鱼 <i>E. septemfasciatus</i>	25~40	30~35	25~45	30~35	赵明等(2011)
斜带石斑鱼 <i>E. coioides</i>	15~45	20~30	10~40	15~30	张海发等(2006)
点带石斑鱼 <i>E. malabaricus</i>	26.7~41.1	30.5~32.5	25~40	25~30	施兆鸿等(2008)

注:“—”表示无记录

Note: “—” means no record

### 3.2 pH 对胚胎发育和仔鱼活力的影响

pH 的高低变化与鱼类等水生生物密切相关,特别是胚胎和早期仔鱼阶段,对水环境 pH 的反应更为敏感(Jensen *et al.* 1972)。卵膜本身也具有一定的调节能力,pH 在一定范围内不会对胚胎本身有太大影响。本研究中云纹石斑鱼胚胎发育的 pH 适宜范围为 6.5~9.0,与斜带石斑鱼 *E. coioides* 胚胎发育的 pH 适宜范围(5.5~8.5)相比,差异不显著( $P>0.05$ )(张海发等 2006)。

张甫英等(1997)通过鲢鱼 *Hypophthalmichthys molitrix*、鳙鱼 *Aristichthys nobilis*、草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* 和泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus* 几种淡水鱼的受精卵和鱼苗为材料,在低 pH 水平下,以 96h 半致死水平比较,发现鱼的胚胎比仔鱼更敏感。本研究中,云纹石斑鱼受精卵的 pH 适宜范围为 6.5~9.0,仔鱼的 pH 适宜范围为 6.0~9.0,虽没有达到胚胎比仔鱼敏感 10 多倍,但范围也明显变“窄”。同时在不同 pH 梯度下,受精卵孵化率变化显著( $P<0.05$ ),而畸形率差异不显著( $P>0.05$ )。分析原因,孵化水体 pH 过低会使卵膜软化,而过高会使卵膜溶解,引起胚胎过早出膜而大批死亡。

早期仔鱼主要依靠吸收卵黄营养来维持其生命活动,则 pH 对仔鱼阶段的影响主要是通过饥饿状态下每天的存活率以及最终的生存活力指数来进行直观观测。一般而言,SAI 值越大,仔鱼活力越好。据相关文献报道,黄鳍东方鲀 *Takifugu xanthopterus* pH 适宜范围内 SAI 值为 48.47~61.74(张海发等 2007);奥尼罗非鱼仔鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)pH 适宜范围内 SAI 值介于 29.09~33.30(强俊等 2009);斜带石斑鱼为 22~24(张海发等 2006)。云纹石斑鱼 pH 最适范围的 SAI 值为 22.30±3.43~25.33±0.59,当 pH 为 8.0 时,仔鱼的 SAI 最高(25.33±0.59)。

综上所述,在云纹石斑鱼苗种繁育过程中,为保证较高的孵化率和成活率,受精卵孵化及初孵仔鱼饲养在水温 22±0.5℃条件下,根据孵化率、畸形率以及仔鱼存活系数(SAI),盐度最适范围为 30~35,pH 最适范围为 7.5~8.0。各环境因子间是否存在相互协同作用还需深入研究。

## 参 考 文 献

- 王涵生,方琼珊,郑乐云. 2002. 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, 26(4): 344-351
- 王宏田,张培军. 1998. 环境因子对海产鱼类受精卵及早期仔鱼发育的影响. 海洋科学, (4): 50-52
- 朱元鼎. 1962. 东海鱼类志. 北京: 科学出版社, 642
- 陆丽君,陈超,马爱军,翟介明,王新安,李伟业. 2011. 云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)早期发育阶段的摄食与生长特性. 海洋与湖沼, 42(6): 822-829
- 宋振鑫,陈超,翟介明,马文辉,庞尊方. 2012. 云纹石斑鱼生物学特性及人工繁育技术研究进展. 渔业信息与战略, 27(1): 47-53

- 宋振鑫, 陈超, 翟介明, 李炎璐, 马文辉, 王鲁, 庞尊方, 吴雷明. 2012. 云纹石斑鱼胚胎发育及仔、稚、幼鱼形态观察. 渔业科学进展, 33(3): 26-34
- 张甫英, 李辛夫. 1997. 酸性水对几种主要淡水鱼类的影响. 水生生物学报, 21(1): 40-48
- 张海发, 刘晓春, 王云新, 刘付永忠, 黄国光, 罗国武, 王宏东, 林浩然. 2006. 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, 25(2): 31-36
- 张海发, 舒琥, 王云新, 刘付永忠, 赵会宏, 黄国光, 魏仪, 王宏东. 2007. 盐度及 pH 对黄鳍东方鲀受精卵孵化和仔鱼活力的影响. 广东海洋大学学报, 27(3): 28-32
- 施兆鸿, 陈波, 彭士明, 陈超, 王建钢, 傅荣兵, 柳敏海. 2008. 盐度胁迫下点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)胚胎及卵黄囊仔鱼的形态变化. 海洋与湖沼, 39(3): 222-227
- 施兆鸿, 彭士明, 尹彦强, 罗海忠, 倪梦麟. 2009. 不同盐度下条石鲷胚胎及卵黄囊仔鱼的形态变化. 生态学杂志, 28(3): 471-476
- 赵明, 陈超, 柳学周, 庄志猛, 徐永江, 薛宝贵, 杨志, 王妍妍, 曲江波. 2011. 盐度对七带石斑鱼胚胎发育和卵黄囊仔鱼生长的影响. 渔业科学进展, 32(2): 16-21
- 殷名称. 1991. 鱼类早期生活史研究与进展. 水产学报, 15(4): 348-358
- 强俊, 李瑞伟, 王辉. 2009. pH 对奥尼罗非鱼仔鱼活力及仔、稚鱼生长的影响. 南方水产科学, 5(2): 69-73
- Bernier NJ, Peter RE. 2001. The hypothalamic-pituitary-interrenal axis and the control of food intake in teleost fish. Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol 129(2-3): 639-644
- Blaxter JHS. (ed.). 1974. The Early Life History of Fish. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York XII+765
- Faulk CK, Holt GJ. 2006. Responses of coibia *Rachycentron canadum* larvae to abrupt or gradual changes in salinity. Aquaculture 254(1-4): 275-283
- Jensen KW, Snekvik E. 1972. Low pH levels wipe out salmon and trout population in southernmost Norway. Ambio 1(6): 223-225
- Moyle PB, Cech Jr JJ. 1988. Fishes; An introduction to ichthyology (2nd Edition). New Jersey, Prentice Hall, 118-119
- Swanson C. 1996. Early development of milk fish; Effects of salinity on embryonic and larval metabolism, yolk absorption and growth. Fish Biol 48(3): 405-421

## 《渔业科学进展》编辑部声明

为扩大本刊及作者知识信息交流渠道, 加强知识信息推广力度, 本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在 CNKI 中国知网及其系列数据库产品中, 以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。

该著作权使用费及相关稿酬, 本刊均用于作者文章发表、出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊之用途, 不再另行向作者支付。凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意我编辑部上述声明。

《渔业科学进展》编辑部

2013 年 12 月 20 日