

# 盐度对云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交子一代 胚胎发育和仔鱼活力的影响

李炎璐<sup>1,2</sup> 王清印<sup>1,2</sup> 陈超<sup>1\*</sup> 宋振鑫<sup>1,2</sup> 吴雷明<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, 烟台 261418)

**摘要** 观察了在9个盐度梯度(5、10、15、20、25、30、35、40、45)下云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交子一代受精卵和初孵仔鱼在水中的分布状态; 对不同盐度条件下其胚胎发育周期、孵化率和畸形率进行比较; 并对其初孵仔鱼进行了耐饥饿试验, 测定其生存活力指数(Survival activity index, SAI)。结果表明, 其受精卵孵化的适宜盐度范围是25~40, 最适盐度范围为30~35, 盐度低于30时, 盐度越低, 孵化率越低, 畸形率越高; 盐度高于35时, 盐度越高, 孵化率越低, 畸形率越高; 仔鱼的最适生存盐度范围为30~35, 此盐度下的SAI值分别为 $33.3 \pm 0.8$ 和 $24.1 \pm 0.2$ , 盐度低于30时, 盐度越低, 仔鱼的存活率及SAI值越低; 盐度高于35时, 盐度越高, 仔鱼的存活率及SAI值越低。

**关键词** 杂交子一代 盐度 胚胎发育 SAI

**中图分类号** S917.4; Q346+.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)05-0017-06

## Effect of salinity on embryonic development and larval activity of F<sub>1</sub> *Epinephelus moara* (♀) × *E. Septemfasciatus* (♂)

LI Yan-lu<sup>1,2</sup> WANG Qing-yin<sup>1,2</sup> CHEN Chao<sup>1\*</sup> SONG Zhen-xin<sup>1,2</sup>

WU Lei-ming<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 Science, Shanghai Ocean University, 201306)

(<sup>3</sup>Laizhou Mingbo Fisheries Limited Company, Yantai 261418)

**ABSTRACT** The incubation period, hatching and deformity rate of the fertilized eggs and the survival activity index (SAI) of newly-hatched larvae of F<sub>1</sub> *Epinephelus moara* (♀) × *E. Septemfasciatus* (♂) were examined at salinities of 5, 10, 15, 20, 25, 30 (natural seawater salinity), 35, 40 and 45. The results showed that the optimum salinity for hatching was in the range of 30~35. When the salinity was above 35 or below 30, the hatching rate decreased and the

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: ysfriuchencao@126.com, Tel: (0532) 85844459

收稿日期: 2012-10-06; 接受日期: 2013-01-04

作者简介: 李炎璐(1986-), 女, 硕士研究生, 主要从事动物遗传育种与繁殖研究。E-mail: ysfriilianlu@126.com

percentage of abnormal larvae increased. The optimum salinity for larval survival was between 30~35, and the SAI values were  $33.3 \pm 0.8$  and  $24.1 \pm 0.2$ , respectively. When the salinity was above 30 or below 35, both of the larvae survival rates and the SAI values decreased.

**KEY WORDS** Crossbreed F1 Salinity Embryonic development SAI

云纹石斑鱼 *Epinephelus moara* 和七带石斑鱼 *E. septemfasciatus* 同属于鲈形目、鲷科、石斑鱼亚科、石斑鱼属。云纹石斑鱼为暖温性礁栖鱼类,主要分布于东海和南海(朱元鼎等 1962),温度适应范围广,肉味鲜美,具有较高的经济价值;七带石斑鱼为冷温性礁栖鱼类,能够耐受  $7 \sim 8^\circ\text{C}$  的水温,分布在黄海和东海沿岸(王新安等 2008),具有个体大、肉质鲜美、营养价值高等特点(陈超等 2011; Nagano *et al.* 2007),是适合我国北方沿海开展人工养殖的优良品种。

盐度是影响海水鱼类生存、生长的重要环境因子,也是海水鱼类苗种繁育的关键因子之一,特别是在石斑鱼类的苗种繁育中影响尤为明显。在自然环境或人工育苗过程中,常因雨水或干旱等原因造成海水盐度发生剧烈变化,直接影响到其苗种繁育的成败,因此研究其发育过程中适宜的盐度范围具有实际意义(施兆鸿等 2008)。国内外有关盐度对石斑鱼胚胎发育的影响已有很多报道,但就云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交子一代对盐度变化的耐受试验未见报道。本研究于 2012 年 5 月在两种石斑鱼的繁育盛期,对云纹石斑鱼(♀)和七带石斑鱼(♂)进行杂交(李炎璐等 2012),用盐度胁迫的方法对其受精卵进行胚胎发育的对比观察,从中获得了其杂交子一代的有用资料,为石斑鱼的杂交育种、人工苗种繁殖研究、苗种产业化提供了基础资料,也为石斑鱼类的遗传育种和品种选育研究工作提供前期基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 受精卵来源

试验于 2012 年 5 月在山东莱州明波水产有限公司进行,受精卵为云纹石斑鱼(♀)和七带石斑鱼(♂)授精后的受精卵。主要操作方法:亲鱼经 HCG 和 LHRH-2 激素催产后进行人工授精,轻轻挤压云纹石斑鱼雌鱼腹部,将卵子挤至干净的容器中,取成熟七带石斑鱼雄鱼精液,用海水激活后倒入盛有云纹石斑鱼卵的容器中,轻轻搅拌均匀,10min 后向盆中缓慢加满砂滤海水,10~15min 后用砂滤海水洗卵去掉多余精液和黏液,静置分离后取上浮受精卵。

### 1.2 不同盐度条件下受精卵的胚胎发育观察

试验共设 9 个盐度梯度,分别为 5、10、15、20、25、30(自然海水)、35、40、45,每个盐度梯度设 3 组平行。低盐度海水用充分暴晒后的淡水加海水精配制,高盐度海水用自然海水加海水精配制,用盐度计标定盐度。在显微镜下观察,待受精卵发育至 2 细胞时,每组分别将发育正常的 100 粒卵放入 1 000ml 的烧杯中孵化,孵化温度为  $21.0 \sim 22.5^\circ\text{C}$ ,pH 8.0~8.1,静置(无充气)孵化,孵化期间每天换水 1/2。根据胚胎发育的过程间隔取样(陈超等 2011;赵明等 2011),记录不同时期的发育情况、孵化时间、孵化率和畸形率。

### 1.3 不同盐度条件下仔鱼分布水层和无投饵仔鱼活力的测定

盐度梯度和海水盐度配制方法与 1.2 相同。每组各选取 100 尾由盐度 30 条件下孵化的活力好的初孵仔鱼,放入 1 000ml 烧杯中,在温度为  $21 \sim 22.5^\circ\text{C}$ 、pH 8~8.1、无充气、无投饵的条件下培育。观察初孵仔鱼在不同盐度条件下的水层分布和活力。每天用虹吸法吸去死鱼,并记录每组中存活的仔鱼数量,用下列公式计算仔鱼的生生活力指数。

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

式中,SAI 为仔鱼生生活力指数(Survival Activity Index), $N$  为试验起始时仔鱼的数量, $h_i$  为第  $i$  天时仔鱼

的累积死亡数量,  $k$  为仔鱼全部死亡的天数(新闻脩子ち等 1981)。

## 1.4 数据处理

孵化率和畸形率数据均用 SPSS 软件进行处理。所有数据均以平均值±标准差表示。

## 2 结果

### 2.1 不同盐度条件下杂交子一代受精卵的沉浮分布

云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交子一代受精卵为圆球形,无色透明,浮性,具油球1个,受精卵径平均为  $0.86 \pm 0.03$  mm,油球径平均为  $0.22 \pm 0.01$  mm。受精卵在不同盐度的海水中分布不同。盐度在 35、40 和 45 时受精卵完全上浮;盐度在 25 和 30 时,80%的受精卵上浮、20%悬浮;盐度低于 20 时,大部分受精卵下沉至烧杯底部。

### 2.2 不同盐度条件下杂交子一代受精卵的孵化情况、孵化率及畸形率

受精卵在水温为  $21 \sim 22.5^\circ\text{C}$ 、pH  $8 \sim 8.1$ 、无充气的条件下经 35h 孵化出膜,各盐度条件下的受精卵所经历的胚胎发育时间大致相同。但不同盐度下,正常胚胎发育的受精卵比例具有显著差异,对原肠中期、肌肉效应期正常发育的受精卵数及孵化率、畸形率进行记录,结果如表 1 所示。

表 1 不同盐度对杂交子一代胚胎发育的影响

Table 1 Effect of different salinity on the embryonic development of crossbreed F1 (Mean±SD)

盐度 Salinity	5	10	15	20	25	30	35	40	45
原肠中期正常发育比例 Normal development rate of middle gastrula stage (%)	0 <sup>a</sup>	13.56±0.77 <sup>b</sup>	40.70±0.28 <sup>c</sup>	73.13±3.91 <sup>d</sup>	81.35±7.27 <sup>e</sup>	94.30±0.77 <sup>f</sup>	91.31±2.16 <sup>fe</sup>	87.31±4.89 <sup>fe</sup>	55.92±0.44 <sup>h</sup>
肌肉效应期正常发育比例 Normal development rate of muscle effect stage (%)	0 <sup>a</sup>	12.04±0.34 <sup>b</sup>	38.92±0.98 <sup>c</sup>	67.87±1.40 <sup>d</sup>	77.56±6.18 <sup>e</sup>	94.30±0.77 <sup>f</sup>	89.16±1.50 <sup>fe</sup>	80.35±5.53 <sup>c</sup>	47.35±0.31 <sup>h</sup>
孵化率 Hatching rate (%)	0 <sup>a</sup>	10.51±0.29 <sup>b</sup>	37.14±1.77 <sup>c</sup>	56.31±2.24 <sup>d</sup>	74.18±2.58 <sup>e</sup>	92.10±0.21 <sup>f</sup>	84.45±1.93 <sup>fe</sup>	65.58±2.02 <sup>h</sup>	42.03±0.73 <sup>i</sup>
畸形率 Abnormality rate (%)	—	29.44±4.19 <sup>a</sup>	11.86±1.34 <sup>b</sup>	6.48±1.63 <sup>cd</sup>	5.10±1.92 <sup>cd</sup>	2.83±1.35 <sup>d</sup>	8.77±1.35 <sup>bc</sup>	19.41±3.14 <sup>e</sup>	27.19±1.43 <sup>a</sup>

注:数值右上角不同字母表示具有显著差异,  $P < 0.05$

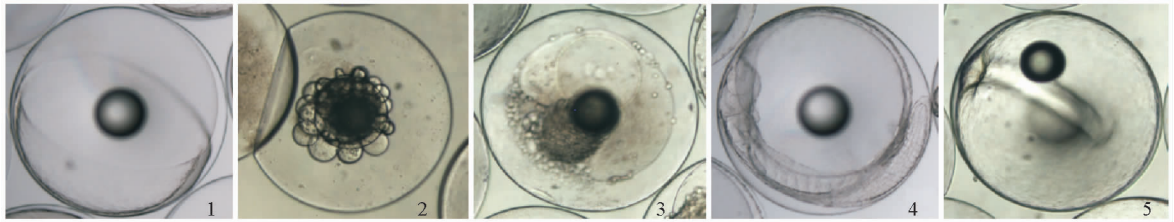
Note: Data within the same row with different superscript are significantly different ( $P < 0.05$ )

不同的盐度对受精卵发育以及孵化率和畸形率有着较为明显的影响。在盐度 5 的条件下,受精卵无法进行发育;盐度为 10~20 时,仅有少部分受精卵可进行正常发育至孵化出膜,发育至原肠中期时,大部分受精卵畸形、停止发育,卵膜变形,油球颜色加深并且破裂为多个较小的圆形小球(图版 1-2),发育至肌肉效应期时,有些停止发育,胚体边缘界限不清晰,出现模糊解体的现象;盐度为 35~45 的高盐度组,细胞界限不明显,胚体模糊不清(图版 1-5),孵化率降低,初孵仔鱼畸形率增高。

试验结果表明,在盐度为 10~45 的条件下,杂交子一代都可孵化出仔鱼。盐度为 30 时孵化率最高,畸形率最低;盐度为 10 时,孵化率最低,畸形率最高;盐度为 30 时,孵化率达到 90% 以上;盐度为 20~35 时,畸形率在 10% 以下。由表 1 可见,盐度在 30 以下时,盐度越低,孵化率越低,畸形率越高;盐度在 30 以上时,盐度越高,孵化率越低,畸形率越高。

### 2.3 不同盐度条件下杂交子一代初孵仔鱼的水层分布

初孵仔鱼全长平均为  $1.63 \pm 0.09$  mm,卵黄囊呈椭圆形,长径为  $0.97 \pm 0.03$  mm、短径为  $0.76 \pm 0.02$  mm,具



1. 盐度为 30 时,发育至原肠中期的正常受精卵;2~3. 盐度为 15 时的畸形受精卵;4. 盐度为 30 时,发育至肌肉效应期的正常受精卵;5. 盐度为 40 时的畸形受精卵

1. Normal fertilized egg of middle gastrula stage at salinity 30;2~3. Deformity of fertilized egg at salinity 15;4. Normal fertilized egg of muscle effect stage at salinity 30;5. Deformity of fertilized egg at salinity 40

图版 I 不同盐度下受精卵的发育

Plate I The development of fertilized eggs at different salinity

油球 1 个,直径为  $0.22 \pm 0.01 \text{mm}$ 。在不同的盐度条件下,初孵仔鱼分布在不同的水层。盐度高于 35 时,仔鱼全部上浮在水面;盐度 25~30 时,80% 的仔鱼上浮;盐度低于 25,仔鱼全部分布在中下层。

## 2.4 不同盐度对仔鱼生存活力指数(SAI)的影响

不同的盐度对仔鱼生存活力具有较为显著的影响。仔鱼存活率及 SAI 值如表 2 所示。盐度为 5~10 的条件下,仔鱼存活率最低,SAI 值最低,生存时间最短;盐度为 30 时,仔鱼存活率最高,SAI 值最高,仔鱼活力最强,生存时间最长;盐度为 35 时,仔鱼存活率及 SAI 值次于 30 盐度组。

表 2 不投饵、不同盐度条件下杂交子一代仔鱼的存活率及 SAI 值

Table 2 The survival rate and SAI value of crossbreed F1 larvae under different salinity without feeding

盐度 Salinity	各日龄杂交子一代仔鱼的存活率 Survival rate of crossbreed F1 larvae (%)											SAI	
	1dph	2dph	3dph	4dph	5dph	6dph	7dph	8dph	9dph	10dph	11dph		
5	87.7±2.5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.9±0.03
10	100.0±0.0	24.0±4.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	1.5±0.1
15	100.0±0.0	32.0±4.0	27.7±5.5	25.3±4.2	22.7±4.6	20.7±3.1	5.3±1.5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	6.2±0.9
20	100.0±0.0	57.7±2.5	42.7±2.5	40.3±2.1	38.3±1.5	37.7±2.5	19.3±2.1	5.7±1.5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	11.0±0.6
25	100.0±0.0	92.3±1.5	75.3±3.1	66.3±1.5	55.3±3.1	46.3±1.5	23.7±1.5	12.3±1.5	4.7±1.5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	16.4±0.6
30	100.0±0.0	100.0±0.0	100±0.0	96.3±1.5	94.3±0.6	91.7±1.5	78.7±2.5	58.7±3.5	25.3±2.5	7.3±2.1	0.0±0.0	0.0±0.0	33.3±0.8
35	100.0±0.0	98.7±1.2	91.3±1.2	88.0±2.0	83.3±1.5	76.0±1.0	52.3±1.5	20.7±1.5	9.3±1.5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	24.1±0.2
40	100.0±0.0	96.3±1.5	92.3±2.5	83.0±3.0	64.7±2.5	52.7±2.1	33.7±2.1	14.7±1.5	5.7±1.5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	19.5±0.4
45	100.0±0.0	84.3±2.1	73.7±2.5	53.7±2.1	43.7±3.1	22.0±1.0	6.0±1.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	11.0±0.3

试验结果表明,在 15~45 的盐度条件下,仔鱼均可存活至 7d 以上,盐度为 30 时,仔鱼的存活率及 SAI 值最高,为 33.3,生存时间最长,可生存至 10d,至 11d 时仔鱼全部死亡。SAI 值随盐度的变化关系如图 1 所示,盐度低于 30 时,盐度越低,仔鱼的存活率及 SAI 值越低;盐度高于 30 时,盐度越高,仔鱼的存活率及 SAI 值越低。

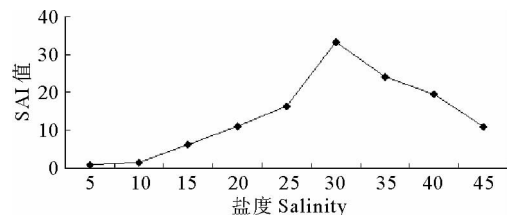


图 1 不同盐度条件下云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交仔鱼生存活力指数的变化

Fig. 1 Variation of survival activity index of crossbreed F1 larvae at different salinity

### 3 讨论

盐度对海水鱼类的生长和繁殖具有重要的影响,是海水鱼类胚胎发育及仔鱼生长的重要生态因子之一(王涵生等 2002; Yasuhisa *et al.* 1993),当盐度低于或高于鱼类胚胎发育和仔鱼生长的范围,就会对鱼类发育过程中器官或组织造成损伤,以致鱼类不能正常发育或死亡。

#### 3.1 盐度对云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交子一代胚胎发育的影响

从本研究结果看,不同盐度对云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交子一代受精卵孵化的影响主要体现在孵化率和畸形率方面。盐度太低或太高会影响其正常的胚胎发育,使孵化的仔鱼成活率降低、畸形率升高、耐受性差。本研究中 10~20、35~45 盐度组在胚胎发育过程中卵膜脆弱易变形、胚体边缘界限不清晰并出现模糊解体的现象,这是由于在极端盐度条件下,胚胎内渗透压调节失衡导致其停止发育(麦贤杰等 2005),盐度过高或过低时,卵膜难以调节细胞与周围介质之间的物质平衡而导致卵细胞损伤或破裂(王宏田等 1998),低盐条件下细胞骨架易解体,胚胎运动和心跳减弱,在高盐条件下胚胎细胞运动过程受到影响(吴贤汉等 1998)。从受精卵的发育周期、孵化率和畸形率来看,云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交子一代受精卵孵化时间需要 35h,云纹石斑鱼需要 38h17min,比杂交子一代慢 3h(宋振鑫等 2012);但七带石斑鱼仅需要 32h,比杂交子一代快 3h(赵明等 2011),杂交子一代居中,表现了其杂交各半的特性。其适宜盐度范围是 25~40,最适盐度范围是 30~35。不同鱼种对盐度的适宜范围也有所不同,据赵明等(2011)报道,七带石斑鱼受精卵孵化的适宜盐度范围是 25~40,最适盐度范围是 30~35;赤点石斑鱼的适宜盐度为 24~38,最适盐度为 27~35(王涵生等 2002);点带石斑鱼的适宜盐度为 26.7~41.1,最适盐度为 30.5~32.5(施兆鸿等 2008);斜带石斑鱼的适宜盐度为 15~45,最适盐度为 20~30(张海发等 2006);鞍带石斑鱼孵化的适宜盐度范围为 21.2~31.7,最适盐度为 25.6~31.7(曲焕韬等 2009)。与以上文献报道的几种海水石斑鱼类相比,杂交子一代受精卵孵化的适宜盐度范围与七带石斑鱼、赤点石斑鱼、点带石斑鱼相近,较鞍带石斑鱼广,比点带石斑鱼、斜带石斑鱼、鞍带石斑鱼更具有对高盐的适应性。

#### 3.2 盐度对杂交子一代仔鱼生存活力指数的影响

无投饵仔鱼生存活力指数(SAI)是观察在无投饵、无充气、无换水的情况下,仔鱼的耐受能力和存活天数,在相同条件下仔鱼存活时间越长,其 SAI 值就越高,仔鱼的活力就越好。SAI 值的高低与受精卵质量、卵黄营养物质的质量以及生态环境等因素有关。本研究用 SAI 值来判断不同盐度条件下仔鱼的适应性。

初孵仔鱼能够在很宽的盐度范围内存活,主要是由于它们的体壁结构与组分使其保持很低的渗透力,从而维护其体液组分的稳定。同时,神经内分泌系统的逐步完善,使鱼体能够主动调节渗透压,从而保持体内环境的稳定(郑剑辉等 2007)。

本研究结果表明,云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交的初孵仔鱼,其最适生存盐度为 30~35;盐度为 30 时仔鱼的 SAI 值最高,为 33.3,其次为盐度 35 时,SAI 值为 24.1;仔鱼在 11d 时全部死亡。据赵明等(2011)报道,七带石斑鱼仔鱼在水温  $22 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、盐度为 30 时 SAI 值最高为 24.7,仔鱼最长生存至 9d,10d 时全部死亡。与七带石斑鱼相比,杂交子一代仔鱼表现出一定的优势。关健等(2007)对褐牙鲆♀×犬齿牙鲆♂杂交子一代仔鱼进行盐度试验结果表明,温度为  $18 \pm 0.5^\circ\text{C}$  的条件下,盐度在 10~20 范围内,杂交子一代仔鱼 10d 后全部死亡,SAI 值高达 49.8~50.6;盐度在 10~30 范围内,褐牙鲆仔鱼在 7~9d 内全部死亡,SAI 值在 19.73~29.7 之间,杂交子一代仔鱼在生活力和抗逆性上表现出较为明显的杂交优势。王涵生等(2002)报道了温度在  $25^\circ\text{C}$  左右、不同盐度下赤点石斑鱼 *Epinephelus akaara* 的 SAI 值为 3.19~12.42;陈昌生等(1997)报道了高体鰺 *Seriola dumerili* 在不同盐度下的 SAI 值为 1.00~18.80。

综合以上分析,在苗种繁育过程中,云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交子一代受精卵孵化及初孵仔鱼的培育盐度最好控制在 30~35 范围内,以保证较高的孵化率和存活率。由于本研究周期较短,未能对不同盐度下杂交子一代仔稚幼鱼的存活发育情况做长期观察,对其生长特性及适应环境的能力等方面还不明确,有待

今后工作中进行更深入的研究,以掌握其综合特性。

## 参 考 文 献

- 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
- 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): 344-350
- 王新安, 马爱军, 陈超, 杨志, 曲江波. 2008. 七带石斑鱼(*Epinephelus septemfasciatus*)两个野生群体形态差异分析. 海洋与湖沼, 39(6): 655-660
- 朱元鼎. 1962. 东海鱼类志. 北京: 科学出版社, 642
- 关健. 2007. 褐牙鲆♀×犬齿牙鲆♂杂交育种的初步研究. 见: 中国海洋大学博士研究生毕业论文
- 曲焕韬, 李鑫渲, 何庆, 黎祖福. 2009. 温度和盐度对鞍带石斑鱼受精卵发育及仔鱼成活率的影响. 河北渔业, (8): 6-9
- 吴贤汉, 张宝禄, 曲艳梅. 1998. 温度和盐度对青岛文昌鱼胚胎发育的影响. 海洋科学, (4): 66-68
- 李炎璐, 陈超, 翟介明, 李波, 王清印. 2012. 鱼类杂交育种技术及其在石斑鱼类中的应用. 海洋渔业, 34(1): 102-109
- 麦贤杰, 黄伟健, 叶富良. 2005. 海水鱼类繁殖生物学和人工繁育. 北京: 海洋出版社, 345
- 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
- 陈超, 赵明, 柳学周, 王鲁, 杨志, 郭嘉琪. 2011. 七带石斑鱼胚胎及仔稚鱼形态观察. 渔业科学进展, 32(5): 24-31
- 陈昌生, 纪荣兴, 黄佳鸣, 何华武, 廖志强. 1997. 高体鲷胚胎、早期仔鱼发育与盐度的关系. 上海水产大学学报, 6(1): 5-9
- 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
- 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
- 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
- 郑剑辉, 丘继新, 何嘉, 黄珊晓. 2007. 盐度和pH对中巨石斑鱼仔鱼生长发育的影响. 海洋与渔业, (8): 17-18
- 新闻脩子ち. 1981. カサゴ親魚の生化学的性状と仔魚の活力について. 養殖研報, (2): 11-20
- Nagano N, Hozawa A, Fujiki W. 2007. Skeletal development and deformities in cultured larval and juvenile seven-band grouper, *Epinephelus septemfasciatus* (Thunberg). Aquaculture Res 38(2): 121-130
- Yasuhisa M, Tsuzumi M. 1993. Effects of salinity on the embryonic development and larval survival activity index of red spotted grouper *Epinephelus akaara*. Saibai Giken 22(1): 35-38