

# NaCl 盐度和 NaHCO<sub>3</sub> 碱度对松浦镜鲤、方正鲫的孵化及其仔鱼存活的影响

徐敏<sup>①②</sup> 王思泽<sup>①②</sup> 耿龙武<sup>①</sup> 姜海峰<sup>①</sup> 曹顶臣<sup>①</sup>  
李晨宇<sup>①</sup> 徐伟<sup>①\*</sup>

① 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所 哈尔滨 150070; ② 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306

**摘要:** 研究了 NaCl 盐度 (0、1、3、5、7、9) 和 NaHCO<sub>3</sub> 碱度 (1.00 mmol/L、10.00 mmol/L、15.85 mmol/L、25.12 mmol/L、39.81 mmol/L、63.10 mmol/L) 对松浦镜鲤 (*Cynipus carpio*) 与方正鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 的孵化率、畸形率以及仔鱼 24 h 和 48 h 存活率的影响。① 盐度实验结果, 松浦镜鲤在盐度为 0、1 时, 受精卵的孵化率较高, 平均为 72.40% ± 6.09%; 在盐度 0 ~ 3 时, 孵出仔鱼畸形率较低, 平均为 6.02% ± 1.87%, 48 h 存活率较高, 平均为 94.99% ± 6.44%。方正鲫在盐度 0 ~ 3 时, 受精卵的孵化率较高, 平均为 68.03% ± 15.44%; 在盐度 0 ~ 5 时, 孵出仔鱼畸形率较低, 平均为 7.95% ± 3.24%, 48 h 存活率较高, 平均为 88.52% ± 9.19%。② 碱度实验结果, 这两种鱼的孵化率在碱度 1.00 ~ 25.12 mmol/L 时较高, 松浦镜鲤平均为 47.96% ± 8.43%, 方正鲫平均为 66.23% ± 18.11%。畸形率在碱度 1.00 ~ 15.85 mmol/L 范围内较低, 松浦镜鲤平均为 12.47% ± 3.77%, 方正鲫平均为 12.46% ± 8.44%。48 h 存活率在碱度 1.00 ~ 15.85 mmol/L 时较高, 松浦镜鲤平均为 96.16% ± 5.04%, 方正鲫平均为 85.62% ± 3.73%。综合各项指标, 松浦镜鲤和方正鲫人工孵化用水建议盐度控制在 3 以内, 碱度控制在 15 mmol/L 以内。

**关键词:** 松浦镜鲤; 方正鲫; 盐度; 碱度; 受精卵; 仔鱼

中图分类号: Q955 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2015) 04-643-06

## Impacts of NaCl Salinity and NaHCO<sub>3</sub> Alkalinity on Hatching Rate and Larval Vitality of Songpu Mirror Carp (*Cynipus carpio*) and Gibel Carp (*Carassius auratus gibelio*)

XU Min<sup>①②</sup> WANG Si-Ze<sup>①②</sup> GENG Long-Wu<sup>①</sup> JIANG Hai-Feng<sup>①</sup> CAO Ding-Chen<sup>①</sup>  
LI Chen-Yu<sup>①</sup> XU Wei<sup>①\*</sup>

① Heilongjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070;

**基金项目** “十二五”科技支撑计划项目 (No. 2012BAD25B09), 农业科技成果转化项目 (No. 2013GB23260584), 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (No. HSY201403), 哈尔滨市科技攻关计划项目 (No. 2012AA6CN037);

\* 通讯作者, E-mail: xwsc23@163.com;

**第一作者介绍** 徐敏, 女, 硕士研究生; 研究方向: 水产遗传育种; E-mail: xumin0028@163.com。

收稿日期: 2014-12-04, 修回日期: 2015-05-05 DOI: 10.13859/j.cjz.201504018

② College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

**Abstract:** The effects of different NaCl salinities (0, 1, 3, 5, 7, 9) and NaHCO<sub>3</sub> alkalinities (1.00 mmol/L, 10.00 mmol/L, 15.85 mmol/L, 25.12 mmol/L, 39.81 mmol/L, 63.10 mmol/L) on hatching rate, deformity rate of embryos, and survival rate of newly hatched larvae (24h, 48h) of Songpu mirror carp (*Cynipus carpio*) and gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) were investigated in this study. The significant difference was analyzed with Duncan's multiple comparison by using SPSS 17.0 software. A high hatching rate (72.40% ± 6.09% on average) of Songpu mirror carp was observed when the salinity ranged from 0 to 1. The deformity rate (6.02% ± 1.87%) of Songpu mirror carp was obviously lower at salinities 0 to 3 than other groups, and the mean survival rate at 48h was 94.99% ± 6.44%. For Gibel carp, a high hatching rate (68.03% ± 15.44% on average) was observed at salinities 0 to 3, the deformity rates (7.95% ± 3.24%) was obviously low at salinities 0 to 5, and the mean survival rate at 48 h reached 88.52% ± 9.19% (Fig. 1). High hatching rates of these two fishes were observed when the alkalinity ranged from 1.00 to 25.12 mmol/L, 47.96% ± 8.43% for Songpu mirror carp and 66.23% ± 18.11% for Gibel carp on average. The deformity rates of these two fishes were significantly lower when the alkalinity ranged from 1 to 15.85 mmol/L, 12.47% ± 3.77% for Songpu mirror carp and 12.46% ± 8.44% for Gibel carp on average. When the alkalinity ranged from 1 to 15.85 mmol/L, the mean 48 h survival rate of Songpu mirror carp was 96.16% ± 5.04%, and that of Gibel carp was 85.62% ± 3.73% (Fig. 2). In conclusion, for Songpu mirror carp and Gibel carp, the suitable salinity for the hatching of fertilized eggs and the survival of larvae should be lower than 3, and the suitable alkalinity should be lower than 15 mmol/L.

**Key words:** *Cynipus carpio*; *Carassius auratus gibelio*; Salinity; Alkalinity; Fertilized eggs; Larvae

我国内陆约有  $4.6 \times 10^7$  hm<sup>2</sup> 碳酸型盐碱水资源, 这些水体有 pH 高、水中碳酸盐含量高、主要离子比例失调等特点 (耿龙武等 2011), 多数水体中的生物资源较贫瘠。研究表明, 水产养殖是人类利用盐碱水土资源的有效途径, 近年来, 我国在耐盐碱养殖品种推广、水质改良以及鱼类耐盐碱机理等方面取得了多项成果 (李吉方等 2002, 郑岚萍 2006)。

盐度和碱度对鱼类受精卵发育及早期仔鱼活力有较大影响, 在高盐碱条件下孵化率会显著降低, 如盐度对赤点石斑鱼 (*Epinephelus akaara*) (王涵生等 2002)、绿背菱鲽 (*Rhombosolea tapirina*) (Hart et al. 1995), 碱度对咸海卡拉白鱼 (*Chalcalburnus chalcoides aralensis*) (姜秋俚等 2008)、青鳉 (*Oryzias latipes*) (Yao et al. 2010) 胚胎发育及仔鱼活力的影响。松浦松浦镜鲤 (*Cynipus carpio*) 和方

正鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 是我国北方重要的经济鱼类, 本实验以其为对象, 研究盐度和碱度对其受精卵孵化和仔鱼活力的影响, 期为盐碱水体中苗种的生产提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

2013年5月至7月在黑龙江水产研究所呼兰养殖基地进行松浦镜鲤和方正鲫的人工繁殖, 注射催产药物, 待雌性亲鱼产卵时, 将雄性亲鱼取出麻醉, 轻压亲鱼腹部收集精液至冰浴的 5 ml 离心管中, 收集卵子至冰浴的培养皿中, 使精卵充分混合后将卵分别拨入盛有各实验组溶液的塑料容器 (容积 1 000 ml) 中。

### 1.2 实验方法

使用分析纯 NaCl、分析纯 NaHCO<sub>3</sub> 和曝气后的自来水 (盐度 0.28、碱度 1.04 mmol/L) 配

制溶液。盐度设为 0、1、3、5、7、9 的 6 个梯度组,配好的溶液用 M179997 数字盐度计(北京中西公司)测定水体盐度。碱度梯度参照等对数间距法(沈建忠 2004)设为 1.00 mmol/L、10.00 mmol/L、15.85 mmol/L、25.12 mmol/L、39.81 mmol/L、63.10 mmol/L 共 6 个梯度,溶液配好后用盐酸滴定法标定。每个梯度设 3 平行组。将受精卵放于不同盐度和碱度的塑料容器(容积 1 000 ml)中孵化,每组的 100 粒受精卵,水温保持在 21~24℃,微充气孵化。待鱼孵化出膜后,记录孵化率、畸形率及 24 h 和 48 h 仔鱼存活率。孵化率以成形的仔鱼为准计算;畸形仔鱼指尾部弯曲、油球异位或异数(正常个体有油球 1 个,位于卵黄囊的后部。畸形个体的油球位于卵黄囊的中部或前部或数目多于 1 个)、脊柱弯曲的个体(彭俊等 2011)。孵化率 = (孵出鱼苗数/受精卵数) × 100%, 畸形率 = (畸形仔鱼数/孵出鱼苗数) × 100%, 24 h (48 h) 仔鱼存活率 = [24 h (48 h) 仔鱼存活

数/孵出鱼苗数] × 100%

### 1.3 统计分析

实验所得数据均用 SPSS17.0 软件进行统计学分析,采用 Duncan 法进行多重比较以检验盐度和碱度与孵化率、畸形率以及仔鱼 24 h 和 48 h 存活率之间的差异显著性。所有数据均以平均值 ± 标准差 (Mean ± SD) 表示。

## 2 结果

### 2.1 盐度对松浦松浦镜鲤和方正鲫受精卵孵化的影响

随着盐度的升高,两种鱼的孵化率呈先升后降的趋势(表 1)。松浦镜鲤的孵化率在盐度 0~1 时较高,平均为 72.40% ± 6.09%,在盐度 3~9 时显著下降,平均为 8.68% ± 2.12%。方正鲫在盐度 0~3 时孵化率较高,平均为 68.03% ± 15.44%,在盐度 5~9 时,孵化率显著下降,平均为 15.16% ± 13.55%。

表 1 不同盐度下松浦松浦镜鲤和方正鲫的孵化情况

Table 1 The hatching of Songpu mirror carp and gibel carp at different salinities

品种 Breed	盐度 Salinity	孵化率 (%) Hatching rate	畸形率 (%) Deformity rate	24 h 存活率 (%) Survival rate at 24 h	48 h 存活率 (%) Survival rate at 48 h
松浦松 浦镜鲤 Songpu mirror carp	0	51.47 ± 4.87 <sup>b</sup>	2.02 ± 0.43 <sup>a</sup>	99.80 ± 2.06 <sup>a</sup>	99.80 ± 2.06 <sup>a</sup>
	1	93.32 ± 7.31 <sup>a</sup>	1.29 ± 0.82 <sup>a</sup>	98.75 ± 3.57 <sup>a</sup>	98.56 ± 0.00 <sup>a</sup>
	3	26.17 ± 2.54 <sup>c</sup>	14.76 ± 4.37 <sup>a</sup>	87.54 ± 2.97 <sup>a</sup>	86.60 ± 17.27 <sup>a</sup>
	5	6.52 ± 4.76 <sup>d</sup>	58.33 ± 52.04 <sup>b</sup>	37.50 ± 27.32 <sup>b</sup>	15.28 ± 16.84 <sup>b</sup>
	7	1.79 ± 0.88 <sup>d</sup>	—	—	—
	9	0.22 ± 0.28 <sup>d</sup>	—	—	—
方正鲫 Gibel carp	0	62.50 ± 18.22 <sup>a</sup>	6.79 ± 5.51 <sup>a</sup>	98.85 ± 1.99 <sup>a</sup>	92.63 ± 4.28 <sup>a</sup>
	1	72.62 ± 9.75 <sup>a</sup>	7.18 ± 1.91 <sup>a</sup>	98.48 ± 2.62 <sup>a</sup>	95.42 ± 2.08 <sup>a</sup>
	3	68.96 ± 18.34 <sup>a</sup>	6.33 ± 3.82 <sup>a</sup>	98.03 ± 0.24 <sup>a</sup>	88.89 ± 19.25 <sup>a</sup>
	5	31.18 ± 24.15 <sup>b</sup>	11.50 ± 1.70 <sup>a</sup>	97.92 ± 3.61 <sup>a</sup>	77.14 ± 11.16 <sup>a</sup>
	7	13.03 ± 15.29 <sup>bc</sup>	50.00 ± 43.03 <sup>b</sup>	66.67 ± 57.74 <sup>a</sup>	33.33 ± 33.34 <sup>b</sup>
	9	1.26 ± 1.22 <sup>c</sup>	—	—	—

同种鱼同一列数据上标字母不同表示差异显著,  $P < 0.05$ ; 表格中“—”表示对应指标因孵化率过低而无法测定。

Different letters on the parameters in each column of the same fish show significant difference,  $P < 0.05$ . The “—” in the table means that the relevant indexes were unable to be determined because of the low hatching rates.

仔鱼畸形率随盐度的升高而升高(表1),松浦镜鲤在盐度0~3时畸形率较低,平均为 $6.02\% \pm 1.87\%$ ,但盐度为5时,畸形率显著上升到 $58.33\% \pm 52.04\%$ 。方正鲫在盐度0~5范围内畸形率较低,平均为 $7.95\% \pm 3.24\%$ ,但盐度为7时,畸形率显著上升至 $50.00\% \pm 43.03\%$ 。

两种鱼的48 h存活率随盐度的升高呈下降趋势(表1),松浦镜鲤在盐度0~3时48 h存活率较高,平均为 $94.99\% \pm 6.44\%$ ;松浦镜鲤在盐度0~5时48 h存活率较高,平均为 $88.52\% \pm 9.19\%$ 。

## 2.2 碱度对松浦镜鲤和方正鲫受精卵孵化的影响

松浦镜鲤和方正鲫的孵化率随碱度的升高呈下降趋势(表2),在碱度1.00~25.12 mmol/L时较高,且各组之间无显著差异( $P > 0.05$ ),松浦镜鲤平均为 $47.96\% \pm 8.43\%$ ,方正鲫平均

为 $66.23\% \pm 18.11\%$ ;在碱度39.81~63.10 mmol/L时两种鱼的孵化率均明显下降。

两种鱼的畸形率随碱度的升高呈显著上升趋势(表2),且在碱度1.00~15.85 mmol/L范围内较低,松浦镜鲤平均为 $12.47\% \pm 3.77\%$ ,方正鲫平均为 $12.46\% \pm 8.44\%$ 。当碱度为25.12 mmol/L时,两种鱼的畸形率升高到30%以上。

在碱度1.00~15.85 mmol/L范围内,两种仔鱼的48 h存活率随碱度的升高而降低,但各组之间差异不显著( $P > 0.05$ ),存活率松浦镜鲤平均为 $96.16\% \pm 5.04\%$ ,方正鲫平均为 $85.62\% \pm 3.73\%$ 。

## 3 讨论

### 3.1 盐度对松浦镜鲤和方正鲫受精卵孵化的影响

表2 不同碱度下松浦镜鲤和方正鲫的孵化情况

Table 2 The hatching of Songpu mirror carp and gibel carp at different alkalinities

品种 Breed	碱度 (mmol/L) Alkalinity	孵化率 (%) Hatching rate	畸形率 (%) Deformity rate	24 h 存活率 (%) Survival rate at 24 h	48 h 存活率 (%) Survival rate at 48 h
松浦镜鲤 Songpu mirror carp	1.00	$51.47 \pm 4.87^a$	$2.02 \pm 0.43^a$	$99.80 \pm 2.06^a$	$99.80 \pm 2.06^a$
	10.00	$48.23 \pm 5.31^a$	$15.30 \pm 4.43^b$	$99.02 \pm 3.27^a$	$98.87 \pm 1.40^a$
	15.85	$47.83 \pm 8.49^a$	$20.09 \pm 6.44^b$	$95.83 \pm 7.22^a$	$89.81 \pm 11.65^a$
	25.12	$47.83 \pm 11.49^a$	$32.56 \pm 2.26^c$	$95.83 \pm 7.22^a$	$86.78 \pm 11.65^a$
	39.81	$38.10 \pm 11.35^a$	$52.68 \pm 6.85^d$	$96.08 \pm 6.79^a$	$69.71 \pm 11.07^b$
	63.10	$10.98 \pm 13.32^b$	—	—	—
方正鲫 Gibel carp	1.00	$62.50 \pm 18.22^a$	$6.79 \pm 5.51^a$	$99.00 \pm 1.73^a$	$92.33 \pm 4.04^a$
	10.00	$74.07 \pm 17.14^a$	$8.79 \pm 6.98^a$	$97.70 \pm 3.98^a$	$85.49 \pm 0.50^{ab}$
	15.85	$62.13 \pm 18.96^a$	$21.80 \pm 12.83^{ab}$	$95.39 \pm 4.39^a$	$79.05 \pm 6.64^b$
	25.12	$58.22 \pm 13.15^a$	$34.80 \pm 26.08^b$	$87.91 \pm 0.38^a$	$78.89 \pm 4.12^b$
	39.81	$7.82 \pm 8.71^b$	$37.27 \pm 29.05^b$	$64.21 \pm 8.70^b$	$53.89 \pm 3.62^c$
	63.10	$4.61 \pm 4.28^b$	$39.56 \pm 5.40^b$	$11.00 \pm 11.36^c$	$5.33 \pm 5.03^d$

同种鱼同一列数据上标字母不同表示差异显著,  $P < 0.05$ ; 表格中“—”表示对应指标因孵化率过低而无法测定。

Different letters on the parameters in each column of the same fish show significant difference,  $P < 0.05$ . The “—” in the table means that the relevant indexes were unable to be determined because of the low hatching rates.

盐度是直接影响鱼类胚胎发育与仔鱼存活的重要因素之一,不同鱼类的胚胎发育对盐度的耐受范围存在很大差异,适合海水鱼及一些广盐性鱼类胚胎发育的盐度通常较高,环境盐度过低会增加海水鱼胚胎及仔鱼的死亡率(Nissling et al. 1991, 王涵生等 2002, Gracia-López et al. 2004, Sampaio et al. 2007),而淡水鱼胚胎发育只能耐受较低的盐度。本实验中,松浦镜鲤胚胎的最高临界盐度为 5,适宜松浦镜鲤受精卵孵化的盐度范围为 0~1;方正鲫胚胎的最高临界盐度为 7,但当盐度大于 3,孵化率显著降低,因此适宜盐度范围为 0~3,方正鲫受精卵的盐度耐受能力相对高于松浦镜鲤受精卵的盐度耐受能力,且盐度偏高条件下,均不利于松浦镜鲤和方正鲫受精卵的孵化,这与其他淡水种类的研究结论是一致的。如大鳞鲃(*Barbus capito*)的受精卵孵化的盐度不宜超过 3.2(徐伟等 2011),广东鲂(*Megalobrama hoffmanni*)胚胎发育的最高临界盐度为 11,适宜盐度范围为 1~7(叶星等 1998),斑马鱼(*Brachydanio rerio*)胚胎发育的最高临界盐度为 4(Sawant et al. 2001),白鲢(*Coregonus lavaretus*)胚胎的最适盐度为 4.8(Albert et al. 2004),倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)胚胎孵化的最高盐度为 9,适宜的盐度为 1~5(谢刚等 2003)。这可能与鱼类受精卵自身的渗透压调节机制有关,盐度主要影响鱼类卵内渗透压的稳定性,当盐度超出受精卵自身的调节范围,可能导致因受精卵失水收缩变小而引起的受精卵活力减弱或停止发育(沈和定等 2006,冯广朋等 2009),也可能导致卵细胞受损或破裂(彭俊等 2011),从而使孵化率降低。

### 3.2 碱度对松浦镜鲤和方正鲫受精卵孵化的影响

NaHCO<sub>3</sub> 碱度对鱼类的影响主要与酸碱调节(Perry et al. 2006,么宗利等 2012)和分解的 CO<sub>2</sub>(Truchot et al. 1998, Randall et al. 2006)有关。鱼类对碱度的耐受能力与不同种类、不

同生长阶段、不同细胞类型的代谢活动有关(Kurihara et al. 2008, Egilsdottir et al. 2009)。在本研究中,松浦镜鲤受精卵的孵化率随碱度的升高而下降,其受精卵能够耐受的临界碱度为 39.81 mmol/L,适宜碱度范围为 1.00~15.85 mmol/L;方正鲫受精卵能够耐受的临界碱度为 25.12 mmol/L,适宜碱度范围为 1.00~15.85 mmol/L。大鳞鲃胚胎的适宜碱度范围为 1.00~14.32 mmol/L,临界碱度为 30.89 mmol/L(徐伟等 2011),青鳉受精卵孵化的适宜碱度范围为 1.5~16.5 mmol/L,临界碱度为 31.4 mmol/L(Yao et al. 2010),威海卡拉白鱼胚发育的适宜碱度为 3.42~37.81 mmol/L,临界碱度为 57.31 mmol/L(姜秋俚等 2008)。由此得出,不同鱼类的胚胎对碱度的耐受性差别较大。这可能是由于,在一定碱度范围内,胚胎的绒毛膜和卵黄膜能够阻止 NaHCO<sub>3</sub> 的侵入,当碱度过高则会破坏卵膜对胚胎的保护作用(Yao et al. 2010)。碱性物质还可以通过离子作用间接影响离子调控和细胞渗透调控,当环境碱度升高,会导致 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 离子的调控失衡而降低受精卵孵化率(Godfrey et al. 2004)。

结合孵化率、畸形率、仔鱼 24 h 和 48 h 存活率指标,建议松浦镜鲤和方正鲫人工孵化用水盐度应控制在 3 以内,碱度应控制在 15 mmol/L 以内。本实验仅研究了松浦镜鲤、方正鲫受精卵及仔鱼对盐度和碱度单因子的耐受能力,盐度和碱度的联合作用对松浦镜鲤、方正鲫胚胎及其仔鱼的影响,以及浦镜鲤、方正鲫受精卵孵化的最适盐碱度还有待于进一步研究。

### 参 考 文 献

- Albert A, Vetema M, Saat T. 2004. Effects of salinity on the development of Peipsi whitefish *Coregonus lavaretus maraenoides* Poljakow embryos. *Annales Zoologici Fennici*, 41(1): 85-88.
- Egilsdottir H, Spicer J I, Rundle S D. 2009. The effect of CO<sub>2</sub> acidified sea water and reduced salinity on aspects of the

- embryonic development of the amphipod *Echinogammarus marinus* (Leach). *Marine Pollution Bulletin*, 58(8): 1187–1191.
- Godfrey E W, Sanders G E. 2004. Effect of water hardness on oocyte quality and embryo development in the African clawed frog (*Xenopus laevis*). *Comparative Medicine*, 54(2): 170–175.
- Gracia-López V, Kiewek-Martínez M, Maldonado-García M. 2004. Effects of temperature and salinity on artificially reproduced eggs and larvae of the leopard grouper *Mycteroperca rosacea*. *Aquaculture*, 237(1/4): 485–498.
- Hart P R, Purser G J. 1995. Effects of salinity and temperature on eggs and yolk sac larvae of the greenback flounder (*Rhombosolea tapirina* Günther, 1862). *Aquaculture*, 136(3/4): 221–230.
- Kurihara H, Ishimatsu A. 2008. Effects of high CO<sub>2</sub> seawater on the copepod (*Acartia tsuensis*) through all life stages and subsequent generations. *Marine Pollution Bulletin*, 56(6): 1086–1090.
- Nissling A, Westin L. 1991. Egg mortality and hatching rate of Baltic cod (*Gadus morhua*) in different salinities. *Marine Biology*, 111(1): 29–32.
- Perry S F, Gilmour K M. 2006. Acid-base balance and CO<sub>2</sub> excretion in fish: Unanswered questions and emerging models. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 154(1/2): 199–215.
- Randall D J, Tsui T K N. 2006. Tribute to R. G. Boutilier: Acid-base transfer across fish gills. *The Journal of Experimental Biology*, 209(7): 1179–1184.
- Sampaio L A, Freitas L S, Okamoto M H, et al. 2007. Effects of salinity on Brazilian flounder *Paralichthys orbignyanus* from fertilization to juvenile settlement. *Aquaculture*, 262(2/4): 340–346.
- Sawant M S, Zhang S, Li L. 2001. Effect of salinity on development of zebrafish, *Brachydanio rerio*. *Current Science*, 81(10): 1347–1350.
- Truchot J P, Forgue J. 1998. Effect of water alkalinity on gill CO<sub>2</sub> exchange and internal P<sub>CO2</sub> in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 119(1): 131–136.
- Yao Z L, Lai Q F, Zhou K, et al. 2010. Developmental biology of medaka fish (*Oryzias latipes*) exposed to alkalinity stress. *Journal of Applied Ichthyology*, 26(3): 397–402.
- 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 2009. 长江口纹缟虾虎鱼胚胎发育及早期仔鱼生长与盐度的关系. *水生生物学报*, 33(2): 170–176.
- 耿龙武, 徐伟, 李池陶, 等. 2011. 盐碱对大鳞鲃血清渗透压、离子含量及鳃丝 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATP 酶活力的影响. *中国水产科学*, 18(2): 458–465.
- 姜秋俚, 蔺玉华, 王信海, 等. 2008. 威海卡拉白鱼胚胎及仔鱼对盐碱耐受性的研究. *吉林农业大学学报*, 30(2): 219–225.
- 李吉方, 董双林. 2002. 盐碱地池塘 4 种养殖模式的鱼产量及负荷力. *中国水产科学*, 9(4): 340–345.
- 么宗利, 应成琦, 周凯, 等. 2012. 碳酸盐碱度胁迫下凡纳滨对虾基因的差异表达. *中国水产科学*, 19(1): 1–12.
- 彭俊, 王辉, 强俊, 等. 2011. 温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼受精率和孵化率的联合影响. *中国水产科学*, 18(4): 847–856.
- 沈和定, 陈汉春, 陈贤龙, 等. 2006. 盐度对石磺胚胎发育的影响. *上海水产大学学报*, 15(3): 297–302.
- 沈建忠. 2004. *动物毒理学*. 北京: 中国农业出版社, 83–87.
- 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.
- 谢刚, 陈焜慈, 胡隐昌, 等. 2003. 倒刺鲃胚胎发育与水温 and 盐度的关系. *大连水产学院学报*, 18(2): 95–98.
- 徐伟, 耿龙武, 李池陶, 等. 2011. 大鳞鲃的人工繁殖、胚胎发育和耐盐碱测定. *水产学报*, 35(2): 255–260.
- 叶星, 潘德博, 许淑英, 等. 1998. 水温和盐度对广东鲂胚胎发育的影响. *水产学报*, 22(4): 322–327.
- 郑岚萍. 2006. 高盐碱区草鱼鱼种养殖存在的问题. *中国水产*, (4): 35–37.