

## 盐度对淡水鱼类的毒性效应\*

臧维玲 王武 叶林 俞政  
(上海水产大学)

倪国范 赵斌  
(崇明县水产技术推广站,上海)

**提要** 本文报道了盐度对淡水鱼类毒性效应的研究结果。试验获得了 pH 与盐度(S‰)对鱼种半致死浓度 [LC<sub>50</sub>(S‰)]、鱼苗生长速度(V)与盐度,以及鱼卵粒径(d)与盐度的相互关系。几种家鱼的耐盐能力顺序为: 鳊鱼 > 草鱼 > 团头鲂 > 鲢鱼。草鱼和鲢鱼胚胎正常发育的盐度上限为 1.4‰ 左右。鲢鱼种的盐度安全浓度为 1.51‰ 左右 (pH = 8.98)。根据试验结果,我国淡水渔业用水的盐度指标 NaCl 含量可定为 S‰ ≤ 1.5g/L。

为扩展养鱼面积,不少地区在滩涂、盐碱地等处开掘鱼塘,发展淡水养鱼业。但这些地区水质不同于一般的天然淡水,特别是盐度与 pH 值较高,是影响鱼产量的重要因素<sup>[6,7]</sup>。为深入了解养殖鱼类对盐度的耐受能力,盐度对鱼的毒性效应与其他水质条件(如 pH 等)的关系,我们以鲢、鳊、草鱼和团头鲂为试验对象,研究了 pH 对盐度毒性的影响及其相互关系,探讨了不同鱼的耐盐能力及盐度对鱼苗生长速度、胚胎和鱼苗发育的影响。

### 一、材料与方法

本试验于 1985~1986 年在上海市崇明岛滨海新民三场等养殖场进行。

各项试验用鱼均经暂养驯化,自来水预先经曝气处理。每项试验设有 8 个以上盐度组和 1 个对照组,试验过程予以适当连续曝气并及时吸去试液中污物。试液盐度值以电导盐度计(WUS 型)测量相对电导率,据 1978 年电导盐度公式由电子计算机计算求得<sup>[3,4]</sup>。所用化学试剂(NaCl, NaOH 和 HCl)均为分析纯。

#### 1. pH 对盐度毒性影响的试验

试验鱼取自新民三场,鲢 *Hypophthalmichthys molitrix* (C. et V.) (全长: 5.6 ± 0.5cm)、鳊 *Aristichthys nobilis* (Richardson) (全长: 7.6 ± 0.8cm),夏花鱼种。该场池塘水硬度(H<sub>T</sub>)为 7.5~7.9me/L, 碱度(ALK)为 4.8~5.2me/L, 试验器皿为 44 × 35 × 20cm 水族箱及 90L 塑料桶(直径为 50cm)。据盐碱地可能出现的 pH 高值范围(例如崇明岛北

\* 本文为国家计委下达的“上海市郊区池塘养鱼高产技术大面积综合试验”研究课题的部分结果。谭玉钧教授曾对本文提出宝贵意见,崇明县新民三场等对本试验曾给予大力支持,特此志谢。本校学生董建忠、施顺昌、陆锦天和陈迪虎曾参加本试验部分工作。

收稿日期: 1987年12月10日。

沿滩涂地鱼塘水 pH 周年最高值可达 9.90)<sup>1)</sup>, 将澄清池塘水以 0.1mol/L HCl 和 NaOH 溶液调配成 8 个 pH 系列的试验液, 再据资料与试验预估各 pH 系列的盐度取值范围, 按等对数间距以 NaCl 配制各 pH 系列的 7 个不同盐度的试液。各试验液分别放入鲢、鳙鱼种各 10 尾, 水温为 26~27℃。观察 24, 48 和 96 小时内受试鱼死亡数, 然后以直线内插法求得不同 pH 时鱼种的半致死盐度。试验期间, 为维持良好水质及 pH 稳定性, 每日更换部分试液, 并反复调整 pH 值。各试液 pH 值取试验过程的平均值。

## 2. 鱼的耐盐能力试验

分别取池水盐度相差较大的陈镇一场(I 组)和汲浜场(II 组)的鲢、鳙、草鱼 *Ctenopharyngodon idllus* (C. et V.) 及团头鲂 *Megalobrama amblycephala* Yih 夏花鱼种为试验鱼。稀释水为崇明南门港的脱氯自来水, 其 pH = 7.8 ~ 8.0, ALK = 2.0 ~ 3.0me/L, H<sub>T</sub> = 4.0 ~ 5.0ml/L, 水温为 14~15℃, 试验器皿为 90L 塑料桶, 各桶放入 10 尾鱼。然后观察各种鱼在相同饲养水中(S‰ = 12.90)的半数死亡时间(LT<sub>50</sub>)。

## 3. 鱼苗生长速度与盐度的关系测定试验

试验鱼为崇明县水产良种场的鲢(全长: 7.56 ± 0.26mm)、鳙(全长: 9.09 ± 0.10mm)苗, 稀释水为南门港脱氯自来水。每水族箱(40 × 30 × 18cm)放鱼苗 50 尾。试验期间水温为 18℃; 每天投喂两次, 饲料为蛋黄、轮虫和水蚤; 每天换水一次, 共饲养 16 天。由于轮虫和水蚤在盐度较高(S‰ ≥ 6 ~ 7)试液中仅能存活 1h 左右, 为此适当增加投喂次数。最终测量鱼苗全长。

## 4. 盐度对胚胎发育影响的试验

采用崇明县水产良种场的授精后尚未吸水膨胀的鲢、草鱼卵, 稀释水为该场的脱氯自来水, pH = 7.8 ~ 8.0, ALK = 2.0 ~ 3.0me/L, H<sub>T</sub> = 4.5 ~ 5.0me/L, 水温为 19~20℃, 试验器皿为 1000ml 标本缸。各缸放入鲢、草鱼卵各 100 粒, 每隔半小时充气 2 分钟, 每 8h 换水一次。观察胚胎与鱼苗发育情况。当卵膜充分吸水膨胀后, 以显微镜抽样测量各试验组 20 粒卵的粒径。

# 二、结果与讨论

## 1. 盐度对鱼的毒性作用

(1) pH 对盐度毒性作用的影响 表 1 为不同 pH 时, 盐度对鲢、鳙夏花鱼种的半致死浓度[LC<sub>50</sub>(S‰)]。以表 1 的 pH 值和相应 LC<sub>50</sub>(S‰) 作散点图, 表明两者之间基本呈直线关系(见图 1, 2)。回归方程如下:

- 鲢: (1) 24h LC<sub>50</sub> = 39.75 - 3.78pH, n = 8, r = 0.999 5, S = 0.125 3,  
 (2) 48h LC<sub>50</sub> = 31.18 - 2.89pH, n = 8, r = 0.997 4, S = 0.217 2,  
 (3) 96h LC<sub>50</sub> = 23.18 - 2.06pH, n = 8, r = 0.982 8, S = 0.401 7;  
 鳙: (1) 24h LC<sub>50</sub> = 49.25 - 4.78pH, n = 8, r = 0.989 3, S = 0.731 2,  
 (2) 48h LC<sub>50</sub> = 44.24 - 4.35pH, n = 8, r = 0.934 2, S = 0.585 0,  
 (3) 96h LC<sub>50</sub> = 38.58 - 3.69pH, n = 8, r = 0.996 7, S = 0.313 3。

1) 臧维玲等, 1987。养殖池塘盐碱水质变化规律与改造的研究。上海水产大学科技文集, 35 周年校庆特辑(水产增养殖), 34~35 页。

表 1 不同 pH 时盐度(S‰)对鲢和鳙夏花鱼种的 LC<sub>50</sub>(S‰)

Tab. 1 LC<sub>50</sub>(S‰) of Silver carp and Big head carp fingerlings at different pH

pH	LC <sub>50</sub> (S‰)					
	24h		48h		96h	
	鲢	鳙	鲢	鳙	鲢	鳙
7.00	13.36	16.59	10.79	14.60	8.60	13.05
7.58	11.14	13.20	9.22	11.84	7.32	10.50
8.00	9.55	10.80	8.06	9.94	6.50	9.06
8.46	7.90	8.30	7.10	7.80	6.30	7.22
8.70	6.82	6.91	6.23	6.30	5.62	6.02
8.98	5.60	5.65	5.40	5.45	5.02	5.06
9.45	4.10	4.32	3.83	4.00	3.71	3.93
9.90	2.50	3.00	2.33	2.40	2.24	2.32

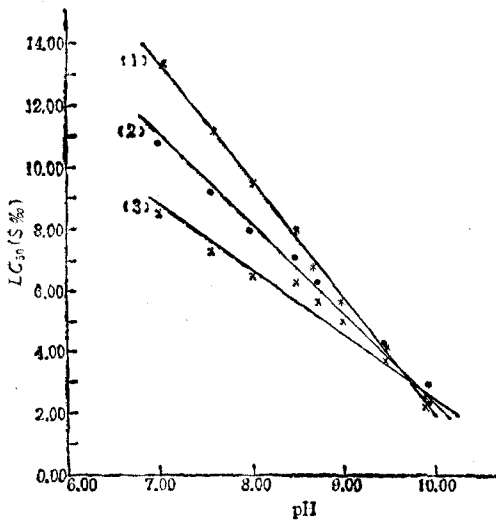


图 1 鲢鱼种 24,48 与 96h LC<sub>50</sub>(S‰) 与 pH 之间的关系

Fig. 1 Relationships between pH and LC<sub>50</sub> (S‰) for Silver carp fingerling in 24, 48 and 96h respectively

(1) 24h LC<sub>50</sub> = 39.75 - 3.78pH; (2) 48h LC<sub>50</sub> = 44.24 - 4.35pH; (3) 96h LC<sub>50</sub> = 23.18 - 2.06pH。

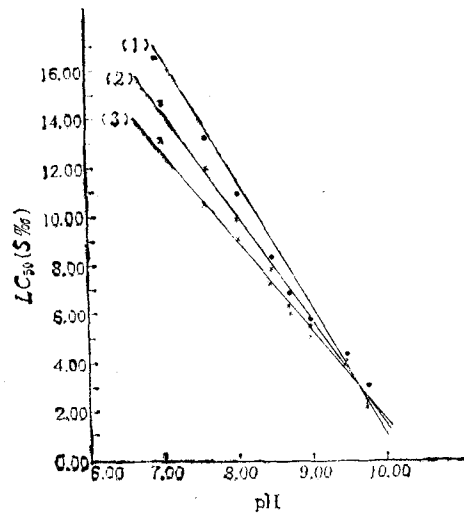


图 2 鳙鱼种 24,48 与 96 小时 LC<sub>50</sub>(S‰) 与 pH 之间的关系

Fig. 2 Relationships between pH and LC<sub>50</sub> (S‰) for Big head carp in 24, 48, and 96h respectively

(1) 24h LC<sub>50</sub> = 49.25 - 4.78pH; (2) 48h LC<sub>50</sub> = 44.01 - 4.26pH; (3) 96h LC<sub>50</sub> = 38.58 - 3.70pH。

S 为回归方程标准差, r 为相关系数。

从表 2 可知,在不同 pH 时,盐度的半致死浓度随 pH 增高而递减,说明 pH 的增加能增强盐度对鱼的毒性作用。

(2) 盐度对鱼苗生长速度的影响 据测定结果(见表 3),得到了鱼苗的日平均增长值 V(mm/d)与盐度(S‰)之间的回归方程:

鲢:  $V = 0.43 - 0.03S‰$ ,  $n = 9$ ,  $r = -0.966$ ,  $S_V = 0.026$ ;

鳙:  $V = 0.65 - 0.05S\%$ ,  $n = 9$ ,  $r = -0.942$ ,  $S_V = 0.047$ 。

经显著性检验,两方程均在  $\alpha = 0.01$  水平上显著,从标准差  $S_V$  可知,方程稳定性较好。由以上可看出,两种鱼苗的平均生长速度与盐度的关系为负相关。据鲢、鳙鱼苗生长速度下降为各自对照组的 50% 左右时相应的盐度分别约为 6.8‰ 与 7.1‰,表明鳙鱼耐盐能力强于鲢鱼。

表 2 不同 pH 时盐度(S‰)对鲢、鳙夏花鱼种的毒性

Tab. 2 The toxicity of salinity for Silver carp and Big head carp fingerlings at different pH

盐 度 (S‰)	24 小时成活百分数 (%)			
	pH = 8.20		pH = 8.70	
	鲢	鳙	鲢	鳙
3.40	100	100	100	100
3.84	100	100	100	100
4.42	90	100	80	90
5.86	80	90	70	80
7.20	60	70	20	30
8.00	40	60	0	10

表 3 盐度对鲢、鳙鱼苗的平均生长速度  $V(\text{mm/d})$  的影响

Tab. 3 The effect of salinity on the mean growth rates  $V(\text{mm/d})$  of Silver carp and Big head carp fries

盐度 (S‰)	平均生长速度 $V(\text{mm/d})$	
	鲢 苗	鳙 苗
0.35(对照组)	0.39	0.63
0.87	0.40	0.59
1.39	0.40	0.59
2.46	0.39	0.57
3.51	0.33	0.49
4.56	0.26	0.38
5.61	0.22	0.48
6.69	0.23	0.35
7.78	0.16	0.24

(3) 盐度对胚胎和鱼苗发育的影响 盐度对草、鲢胚胎与鱼苗发育影响的观察结果列于表 4,5。从表 4,5 可见,两种胚胎的耐盐能力相近,耐盐上限约为 1.4‰,当  $S\% \geq 3\%$  时,则产生滞育或畸形。

以两种卵粒径  $d$  与相应盐度  $S\%$  (见表 6) 分别作散点图,散点分布大致呈直线关系(见图 3)。回归方程为:

$$\text{鲢鱼: } d(\text{mm}) = 5.39 - 0.23S\%, n = 9, r = 0.942;$$

$$\text{草鱼: } d(\text{mm}) = 6.36 - 0.37S\%, n = 9, r = 0.753。$$

从图 3 可看出,当盐度增加,两种鱼卵的粒径均下降,显然是由于试液渗透压变化所致。当盐度约为 6.5‰ 时,两种卵粒径彼此的大小差异发生了变化。

表 4 盐度(S‰)对草鱼胚胎和鱼苗发育的影响①

Tab. 4 The effect of salinity on embryonic development and fry growth of Grass carp

S‰	0.4 (对照)	1.0	1.4	2.5	3.0	3.5	4.0	4.6	5.1	5.6
5.25, 18:30	全出膜	全出膜	全出膜	70%出膜	60%出膜	50%出膜	耳石期全死亡			尾芽期全死亡
5.26, 9:00	全出膜	全出膜	全出膜	全出膜	全出膜	全死亡		—		—
5.27, 1:20	鳔形成期	鳔形成期	鳔形成期	鳔形成期	畸形(尾弯曲), 头大, 身体小	—		—		—

① 1986.5.24, 6:40 开始试验。

表 5 盐度(S‰)对鲢鱼胚胎和鱼苗发育的影响①

Tab. 5 The effect of salinity on embryonic development and fry growth of Silver carp

S‰	0.4 (对照)	1.0	1.4	3.5	4.6	5.6	6.7	7.8	8.8	11.0
86.5.21, 11:15	体节出现期	体节出现期	体节出现期	体节出现期	体节出现期	少数发育为体节出现期	停止发育, 卵膜分解融化不透明			停止发育, 卵膜分解融化不透明
86.5.25 0:25	鳔形成期	鳔形成期	鳔形成期	尾发育至鳔形成期	全死亡	全死亡	全死亡			全死亡

① 1986.5.20, 15:30 开始试验。

表 6 盐度对鲢、草鱼卵膜吸水膨胀的影响

Tab. 6 The effect of salinity on the water absorbing expansion of egg membranes of Silver carp and Grass carp

盐度 (S‰)	卵 粒 径 $d(\text{mm})$	
	鲢 鱼 卵	草 鱼 卵
0.35(对照组)	5.40±0.05	6.80±0.04
1.4	5.25±0.04	5.40±0.05
2.5		5.35±0.04
3.0		5.10±0.03
3.5	4.20±0.04	5.10±0.06
4.0		4.60±0.06
4.6	4.50±0.07	3.80±0.03
5.0		4.20±0.04
5.6	4.30±0.06	4.40±0.12
6.7	3.70±0.08	
7.8	4.00±0.05	
8.8	3.40±0.04	
11.0	4.30±0.10	

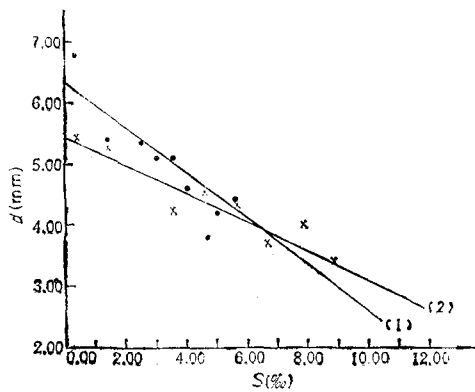
(4) 鱼耐盐能力的驯化 表 7 所列两组试验鱼的原饲养水盐度差异较大, I 组为 II 组的两倍以上。两组鱼各在原地饲养一年后取作受试鱼。从半数死亡时间可知, I 组鱼的耐盐能力明显强于 II 组相应种类的鱼。这说明淡水鱼在适当高的盐度水体中经一

表 7 盐度 12.90% 时不同鱼类的  $LT_{50}$ 

Tab. 7 The half lethal time (h) of various fishes at 12.90‰ salinity

名称	项目	全长 (cm)	试验水盐度 (‰)	$LT_{50}$ (h)	原池塘水盐度 (‰)
I 组	鲢鱼	9.0±1.6	12.90	25.46	1.20
	鳙鱼	9.3±1.2	12.90	29.47	1.20
	草鱼	9.4±0.7	12.90	29.00	1.20
	团头鲂	8.9±0.8	12.90	28.75	1.20
II 组	鲢鱼	9.0±1.9	12.90	18.82	0.58
	鳙鱼	9.4±0.8	12.90	27.33	0.58
	草鱼	9.2±0.6	12.90	27.08	0.58
	团头鲂	9.0±1.1	12.90	24.33	0.58

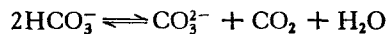
定时间的饲养驯化,其耐盐能力可有明显提高。这一事实表明,生物适应环境的能力可以受到环境的影响而有所强化。从表 1,3,7 可发现,几种鱼的耐盐能力顺序为:鳙鱼>草鱼>团头鲂>鲢鱼,鲢鱼对盐度的毒性效应最为敏感。

图 3 鲢鱼和草鱼卵粒径  $d$ (mm) 和盐度  $S$ (‰) 的关系Fig. 3 The relationships between  $S$ (‰) and egg ball diameters  $d$ (mm) of Silver carp and Grass carp respectively

(1) 草鱼; (2) 鲢鱼。

50% (见表 1)。由此可见,当 pH 和盐度各达到一定值时,两者对鱼的毒性互有加强作用。

水中  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$  及  $CO_3^{2-}$  之间存在下列平衡<sup>[6]</sup>:



此平衡随 pH 的升高将向右移动,  $HCO_3^-$  与  $CO_2$  含量相应减少, 而  $CO_3^{2-}$  与  $OH^-$  含量则相应增加。由此推知, 相应于一定的盐度, 当 pH 升高, 试液对鱼的致毒作用加强, 可能是通过  $OH^-$  和  $CO_3^{2-}$  与盐度对鱼的毒性互起加强作用的结果<sup>[5,6]</sup>。

试验中曾配制 pH 为 9.5~10.0, 盐度为 4.5~8‰ 的试液, 其它水质条件不变。当鱼一放入这些试液中, 便马上狂游、惊跳、浮头, 鳃及体表迅速分泌大量粘液, 水体迅即泛起大量泡沫, 鱼很快死去。结合表 2 结果, 可明显看出, pH 是影响盐度毒性的主要因素, 而其中  $OH^-$  与  $CO_3^{2-}$  则是产生这种影响的主要因子。

## 2. 盐度和 pH 毒性作用的相互影响

试液的 pH 为 7.00~8.98 时(见表 1), 虽在淡水鱼安全生存的适应范围内 (6.5~9.0)<sup>[7]</sup>, 但  $LC_{50}$  (‰) 却随 pH 的增高而下降; 当盐度为定值, pH 由 8.20 升到 8.70 时, 鱼种成活率明显下降(见表 2)。另外, 也有人提出<sup>[5,6]</sup>, 当 pH 为 7.5 时, NaCl 浓度高达 7.9g/L, 一龄鲢鱼种在 96 小时内存活率为 95%。本试验的 pH 范围为 7.58~9.90 时, 大部分试液的 NaCl 浓度低于 7.9g/L, 但鱼在 24, 48 及 96 小时之内仅能存活

### 3. 盐度的水质指标

根据鱼生存的 pH 安全上限为 9.0<sup>[7]</sup>及盐碱池水可能的 pH 范围<sup>1)</sup>, 将表 1 中 pH 为 8.98 时, 耐盐能力最差的鲢鱼种的 LC<sub>50</sub>(S‰) 代入公式:

$$\text{安全浓度}^{[1]} = \frac{0.3 \times 48\text{h LC}_{50}}{(24\text{h LC}_{50}/48\text{h LC}_{50})^2}$$

所求得 pH 安全上限为 1.51‰, 参考日本与美国渔业水质标准所规定的 NaCl 含量分别为 <2.5—5.0g/L 和 ≤1.5g/L, 作者建议我国淡水养殖用水盐度指标可定 NaCl 含量为 ≤1.5g/L。

### 4. 盐碱池水的淡化问题

滩涂等盐碱地的水质具有盐度、pH 和碱度较高的特点, 特别是江水的枯水期和蒸发作用强烈的季节, 这些指标均趋向高值。又鉴于 pH 与盐度对鱼的毒性互有加强作用, 所以在盐碱地开塘养鱼必须严加注意水质的淡化与 pH 的降低两大问题。为此可在开塘后、养鱼前, 尽量以淡水浸泡, 冲洗池塘, 并在塘坡与塘埂植被, 以熟化、固定土质, 防止盐分上提, 同时, 向池塘施有机肥作为基肥。放养后, 尽量排咸水引淡水。养殖过程中, 再适当施有机肥料, 以减弱 pH 的上升。事实证明, 采取这些措施后的崇明岛北沿滩涂鱼塘产量逐年上升, 且亩产已达千斤以上<sup>1)</sup>。鉴于鱼胚胎、鱼苗耐盐能力低于鱼种与成鱼, 在盐碱地池塘进行家鱼人工繁殖时, 应尽量使用淡水, 切忌引用含盐量较高的水体。

## 参 考 文 献

- [1] 吴新儒, 1980. 淡水养殖水化学. 农业出版社, 57~59 页。
- [2] 张礼善, 1960. 青草鲢鳙对 H<sup>+</sup> 浓度的生存适应性. 水生生物集刊 1962(2): 1140。
- [3] 陈国华, 1985. 实用盐度公式延伸应用于低盐度海水的可行性. 山东海洋学院学报 15(4): 38~46。
- [4] 陈瞬年, 1982. 贯彻 1978 年实用盐标. 海洋技术(新盐标专辑), 2~7 页。
- [5] 雷衍之, 1985. 碳酸盐碱度对鱼类毒性作用的研究. 水产学报 9(2): 171~183。
- [6] 雷衍之, 1986. 化学基础与水化学. 农业出版社, 331~336 页。
- [7] 美国环境保护局, 1976. 水质评价标准. 许宗仁译, 1981. 中国建筑工业出版社, 237~245 页。
- [8] Stumm, W. and J. J. Morgan, 1970. Aquatic Chemistry. Printed the United States of America, pp. 118~128.

1) 国家工业性试验项目协作组, 1987. 上海市郊区池塘养鱼高产技术大面积综合试验, 技术总结报告。

## TOXIC EFFECTS OF SALINITY ( $S_{\text{‰}}$ ) ON SOME FRESHWATER FISHES

Zang Weiling, Wang Wu, Ye Ling, Yu Zheng  
(*Shanghai Fisheries University*)

Ni Guofan and Zhao Bin  
(*Popularization Centre of Fisheries Technique of Chongming County, Shanghai*)

### ABSTRACT

This paper deals with the toxic effects of salinity ( $S_{\text{‰}}$ ) on some freshwater fishes, the relationships between pH and  $LC_{50}$  of salinity for Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* C. et V.) fingerlings, between the growth rates of fries of Silver carp and Big head carp (*Aristichthys nobilis* Richardson) and salinity, between the egg ball diameters of Grass carp (*Ctenopharyngodon ilellus* C. et V.) and Silver carp and salinity.

Their correlation equations are:

Silver carp:

$$\begin{aligned} 24h LC_{50} &= 39.75 - 3.78pH, & 48h LC_{50} &= 31.18 - 2.89pH, \\ 96h LC_{50} &= 23.18 - 2.06pH; \end{aligned}$$

Big head carp:

$$\begin{aligned} 24h LC_{50} &= 49.25 - 4.78pH, & 48h LC_{50} &= 44.24 - 4.35pH, \\ 96h LC_{50} &= 38.58 - 3.69pH; \\ V &= 0.43 - 0.03S_{\text{‰}} \text{ (mm/d)} & & \text{(Silver carp),} \\ V &= 0.65 - 0.05S_{\text{‰}} \text{ (mm/d)} & & \text{(Big head carp),} \\ d &= 6.36 - 0.37S_{\text{‰}} \text{ (mm/d)} & & \text{(Grass carp),} \\ d &= 5.39 - 0.23S_{\text{‰}} \text{ (mm/d)} & & \text{(Silver carp).} \end{aligned}$$

According to our study, the order of tolerance to salinity for some freshwater fishes is as follows:

Big head carp > Grass carp > Blunt snout bream (*Megalobrama ambly-cephala* Yih) >

Silver carp

Upper tolerant limit of Silver carp fingerling to salinity was about 1.5‰.