

塔里木河叶尔羌高原鳅盐碱耐受性研究

陈生熬¹, 姚娜¹, 江春雨¹, 王帅¹, 程勇¹, 谢从新^{2*}

(1. 塔里木大学动物科学学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070)

摘要: 采用急性毒理试验方法对塔里木河中叶尔羌高原鳅 *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) 分别在不同盐、碱度下进行了盐、碱耐受性试验, 分析盐、碱胁迫对叶尔羌高原鳅毒性影响。结果显示: pH6.5 ~ 7.5, 水温 (20 ± 1) °C, 盐度对叶尔羌高原鳅 12 h、24 h、48 h、72 h、96 h 的半致死浓度分别为 15.490 ‰、13.979 ‰、12.920 ‰、12.117 ‰、10.770 ‰, 安全值为 3.785 ‰; 碱度对叶尔羌高原鳅 12 h、24 h、48 h、72 h、96 h 的半致死浓度分别为 6.5516 g · L⁻¹、5.1645 g · L⁻¹、4.0047 g · L⁻¹、3.6017 g · L⁻¹、2.9524 g · L⁻¹, 安全值为 0.9316 g · L⁻¹。研究表明, 塔里木河水盐碱化严重影响了叶尔羌高原鳅的生长和发育, 造成其资源锐减。本研究旨在为叶尔羌高原鳅驯化养殖和苗种培育提供科学依据。

关键词: 叶尔羌高原鳅; 盐度; 碱度; 半致死浓度; 耐受性

中图分类号: S917.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-7083(2016)04-0523-05

Studies on the Tolerance of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) to Salinity and Alkalinity

CHEN Shengao¹, YAO Na¹, JIANG Chunyu¹, WANG Shuai¹, CHENG Yong¹, XIE Congxin^{2*}

(1. College of Animal Sciences, Tarim University, Alar, Xinjiang Uygur Autonomous Region 843300, China;
2. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The tolerance of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) against gradient concentrations of salinity (S)/alkalinity (Alk) were studied by acute toxicology method. The results showed that when Alk was around pH6.5 ~ 7.5 with water temperature (20 ± 1) °C, the median lethal concentration (LC₅₀) of S to *T. (H.) yarkandensis* (Day) were 15.490 ‰, 13.979 ‰, 12.920 ‰, 12.117 ‰ and 10.770 ‰ at 12 h, 24 h, 48 h, 72 h and 96 h, respectively. And the safe concentration of S was 3.785 ‰. The LC₅₀ of Alk to *T. (H.) yarkandensis* (Day) were 6.5516 g · L⁻¹, 5.1645 g · L⁻¹, 4.0047 g · L⁻¹, 3.6017 g · L⁻¹ and 2.9524 g · L⁻¹ at 12 h, 24 h, 48 h, 72 h and 96 h, respectively; and the safe concentration of Alk was 0.9316 g · L⁻¹. In conclusion, the S/Alk stress of Tarim water salinization seriously influenced the growth and development of *T. (H.) yarkandensis* (Day), and therefore resulting a sharp drop in its population. The present study provided scientific basis for domesticated breeding and larval rearing of *T. (H.) yarkandensis* (Day).

Key words: *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day); salinity; alkalinity; median lethal concentration; tolerance

叶尔羌高原鳅 *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day), 地方名为狗头鱼、小大头, 隶属于鲤形目 Cypriniformes 鳅科 Cobitidae 条鳅亚科 Nemachilinae 高原鳅属 *Triplophysa* 鼓鳔亚属 *Hedinichthys*, 为塔里木河水系土著优势鱼类(朱松泉, 1989; 武云飞, 吴翠珍, 1992; 乐佩琦, 陈宜瑜, 1998)。关于塔里木河水系渔业的研究多数集中在渔业环境

调查、外来物种、新种、裂腹鱼类及鳅科鱼类生物学等方面(乐佩琦, 陈宜瑜, 1998; 樊自立等, 2002; 吐尔逊·艾山, 塔西甫拉提·特依拜, 2007; 曾霖, 唐文乔, 2010; Huo *et al.*, 2012; Nie *et al.*, 2013; 陈生熬等, 2013, 2014)。

近年来, 塔里木河干流水量日益减少, 盐碱度加剧(樊自立等, 2002; 吐尔逊·艾山, 塔西甫拉提·特

收稿日期: 2015-10-08 接受日期: 2016-05-11

基金项目: 国家科技基础性工作专项(2012FY112700); 国家自然科学基金项目(31360635); 新疆生产建设兵团基本科技计划项目(2013BA005); 新疆生产建设兵团塔里木畜牧科技重点实验室项目(201505); 塔里木大学校长基金项目(TDZKGG201604)

作者简介: 陈生熬(1980—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事鱼类生态学方面的研究, E-mail: chenshengao@163.com

* 通信作者 Corresponding author, 教授, E-mail: congxinx@sohu.com

依拜,2007;王建,2013;陈生熬等,2014),环境因子对渔业资源的影响颇大,导致多种土著鱼类资源锐减,前景令人堪忧,叶尔羌高原鳅可能会成为塔里木河水系继扁吻鱼 *Aspiorhynchus laticeps* 和塔里木裂腹鱼 *Schizothorax biddulphi* 之后的第三种濒危鱼类(武云飞,吴翠珍,1992;乐佩琦等,1998;陈生熬等,2013)。鉴于此,开展河水盐碱化对叶尔羌高原鳅生长和发育胁迫方面的研究已迫在眉睫。

本研究在叶尔羌高原鳅驯化成功的基础上,采用急性毒性试验方法,系统地阐述叶尔羌高原鳅对河水盐碱变化,以期为在内陆盐碱水或半咸水中人工驯养提供理论依据,为本物种的增殖保护和苗种培育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用鱼于 2013 年 9 月采自塔里木河干流阿拉尔段,并活体运到塔里木大学水产实验基地暂养,养殖用水采用曝气 48 h 以上的自来水, pH 为 6.5 ~ 7.5,溶解氧保持 $8.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,水温控制为 $(20 \pm 1) \text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度为 0.645‰,碱度为 $0.035 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。30 d 后,挑选健康无病的鱼类进行预试验,再按照预试验浓度范围进行盐、碱试验,且试验前 48 h 停食,试验鱼体长均值 $7.450 \text{ cm} \pm 0.891 \text{ cm}$,体质量均值 $4.800 \text{ g} \pm 0.453 \text{ g}$ 。

1.2 方法

试验用水(自来水曝气 48 h 以上,水温 $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度为 0.645‰,碱度为 $0.035 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$);盐度依据塔里木河水体范围(5‰ ~ 19‰),分别设置为 8‰、10‰、12‰、14‰、16‰、18‰、20‰等 7 个梯度,使用 NaCl 分析纯(天津致远化学试剂有限公司)配置,采用盐度计(HANNAHI931101,意大利)矫正。碱度(NaHCO_3 分析纯,天津致远化学试剂有限公司)按预试验结果进行设置,范围 $3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \sim 6.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。为确保 pH 和碱度均在设定的范围内,当 pH 为 6.5 ~ 7.5 时采用酸度计(pH-3C,上海雷磁)校正,碱度设置为 $3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $3.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $4.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $5.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $6.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $6.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

盐度和碱度试验各设置 3 个平行组和 1 个对照组,每组用叶尔羌高原鳅 30 尾。采用水族箱(长 60 cm × 宽 30 cm × 高 45 cm)作为试验容器,微充气增氧(电磁式空气泵,ACO-004,0.75 ~ 1.1 kw)。

依据文献(臧维玲等,1989;章征忠等,1999a;池炳杰等,2011)中的方法,试验过程保证溶液浓度稳定和水质清洁,所有浓度梯度 24 h 更换 30% 水量,不间断增氧,不投饵,及时捞出死亡个体(用玻璃棒触动不能游动、鳃盖未见扇动为死亡)。每组分别在 12 h、24 h、48 h、72 h、96 h 记录死亡数。

按照 Bliss 法(雷衍之等,1985;雷衍之,2004)求出概率单位与试验溶液浓度的回归方程,盐、碱度半致死浓度(LC_{50})和安全浓度(SC) = $48 \text{ h-LC}_{50} \times 0.3 / (24 \text{ h-LC}_{50} / 48 \text{ h-LC}_{50})$ 。

1.3 数据分析

所得数据经 SPSS 16.0 处理,用多重比较法进行组间差异检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义,结果用平均值 ± 标准差(Mean ± SD)表示。

2 结果和分析

2.1 叶尔羌高原鳅的盐度耐受性

在整个试验过程中,对照组的游泳、呼吸等行为均无显著变化,且水质清洁无杂物。

7 个盐度下叶尔羌高原鳅表现有所不同(表 1,表 2):高盐度下,试验初期,试验组的死亡率较大,经过高盐度缓慢适应和机体对试验浓度的缓冲,死亡率稍有降低,但最终无法耐受高盐度,无法调节渗透而死;低盐度下,试验组的死亡率较低。总体而言,当盐度超过一定浓度时,饲养时间和浓度与叶尔羌高原鳅的死亡率成正比关系,尤其是浓度和死亡率密切相关。

在不同盐度胁迫下,叶尔羌高原鳅表现出的行

表 1 叶尔羌高原鳅对不同盐度、碱度的耐受性
Table 1 The salinity/alkalinity toxicity of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)

	浓度 Concentration	死亡率 Mortality/%				
		12 h	24 h	48 h	72 h	96 h
盐度/‰	8	0	0	0	0	17
	10	3.3	6.7	13	27	33
	12	6.7	23	37	50	50
	14	20	27	47	53	93
	16	50	87	93	100	100
	18	87	97	100	100	100
	20	97	100	100	100	100
碱度/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.0	0	0	6.7	13	53
	3.5	0	3.3	40	53	80
	4.0	0	10	50	67	90
	4.5	0	40	53	87	97
	5.0	3.3	50	87	97	100
	5.5	17	50	93	97	100
	6.0	27	63	97	100	100
6.5	47	93	100	100	100	

为有所不同:盐度过高时,放入后即表现出跳跃、狂躁、急游等行为,且狂游和跳跃不止,直至力竭死亡;盐度较低时,放入后3~5 min 出现短时的急躁和狂游,而后平稳,约30 min 后,腹部出现红点或斑,直到死亡。盐度耐受性试验采用的是叶尔羌高原鳅成鱼,12 h 后,尾部充血,鳃丝发白,腹部充血,体表黏液增多,头部和腹部出现红点或斑,死亡行为加剧,

身体颤抖、抽搐失去平衡,不能自游,身体先行弯曲,而后僵硬,机体麻木,头向上,尾向下,腹部朝上,外界刺激下抽动,直到机体卷曲侧卧死亡。

在不同盐度下,叶尔羌高原鳅表现出不同的盐度耐受性,在12 h、24 h、48 h、72 h、96 h 下,LC₅₀分别为15.490 ‰、13.979 ‰、12.920 ‰、12.117 ‰、10.770 ‰;SC 为3.785 ‰。

表2 叶尔羌高原鳅对盐度的耐受性
Table 2 The salinity toxicity of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)

试验时间 Time/h	回归方程 Regression equation	相关系数 Relative coefficient	半致死浓度 LC ₅₀ /‰	95% 置信区间 Confidence interval for 95%	安全浓度 SC/‰
12	$Y = -11.3468 + 13.737X$	1.7891	15.4900	14.8510 ~ 16.1386	
24	$Y = -10.1040 + 13.186X$	2.0187	13.9790	13.3590 ~ 14.5841	
48	$Y = -9.2534 + 12.826X$	2.6347	12.9200	12.3144 ~ 13.5039	3.7852
72	$Y = -7.6236 + 11.652X$	3.0132	12.1170	11.4980 ~ 12.7100	
96	$Y = -5.8005 + 10.463X$	3.3528	10.7700	10.1272 ~ 11.3632	

2.2 叶尔羌高原鳅的碱度耐受性

在整个试验过程中,对照组的游泳、呼吸等行为均无显著变化,水质清洁无杂物。

当试验鱼进入到设置好的碱度中时,试验初期均出现了和盐度试验类似的行为特征,虽未能发现与不同盐度下极为明显的行为特征,但仍然出现了狂游、抽搐、黏液增多、红点等特征,说明叶尔羌高原鳅对碱度耐受性比盐度耐受性稍好。

碱度范围 $3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \sim 6.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 死亡率不同(表1,表3)。在 $4.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度中的死亡率差异有统计学意义,这可能是叶尔羌高原鳅对碱度耐受的一个临界点。

在不同碱度下,叶尔羌高原鳅表现出不同的碱度耐受性,在12 h、24 h、48 h、72 h、96 h,LC₅₀分别为 $6.5516 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $5.1645 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $4.0047 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $3.6017 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2.9524 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$;SC 为 $0.9316 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表3 叶尔羌高原鳅对碱度的耐受性
Table 3 The alkalinity toxicity of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)

试验时间 Time/h	回归方程 Regression equation	相关系数 Relative coefficient	半致死浓度 LC ₅₀ /(g · L ⁻¹)	95% 置信区间 Confidence interval for 95%	安全浓度 SC/(g · L ⁻¹)
12	$Y = -7.3379 + 15.114X$	0.8849	6.5516	6.2507 ~ 7.1587	
24	$Y = -2.2408 + 10.155X$	2.6043	5.1645	4.9427 ~ 5.4128	
48	$Y = -1.1672 + 10.235X$	3.7161	4.0047	3.8009 ~ 4.1918	0.9316
72	$Y = -1.5479 + 11.766X$	4.0660	3.6017	3.4083 ~ 3.7697	
96	$Y = -0.0221 + 10.681X$	5.0741	2.9524	2.5972 ~ 3.1711	

3 讨论

3.1 叶尔羌高原鳅的盐度耐受性

国内外有诸多学者发现鲢 *Hypophthalmichthys molitrix* 对盐度的耐受性最低,其值为1.51‰,臧维玲等(1989)曾建议淡水养殖中盐度应该 ≤ 1.5‰。本实验中,叶尔羌高原鳅盐度 SC 为3.785 ‰,高于淡水养殖建议标准,说明叶尔羌高原鳅栖息水域盐度过

高。从试验数据可知,随盐度升高,叶尔羌高原鳅死亡率持续升高,但在48 h 时,出现先行适应后续毒性积累死亡的现象。在盐度胁迫适应的试验中,多数鱼类能够良好地适应有限的(一定盐度)新水体环境,这与鱼类本身具有完善的生理调节机制密切相关,如果超出其耐受的极限则会导致鱼类生理失调甚至威胁到鱼类生命(臧维玲等,1989;章征忠,1999b;雷衍之,2004;林浩然,2007);在本试验中,对叶尔羌高原鳅采

用先行选择暂养模式和驯养模式来让其适应,以便提高成活率和更为合理有效地完成本试验内容。

本试验中,叶尔羌高原鳅在 24 h 内盐度 20‰ 的死亡率最高,这说明将一个淡水水域鱼类移入盐度较大水体中,由于渗透无法完成,“保水排盐”不能及时进行,导致其快速死亡,这与诸多研究的结果一致(臧维玲等,1989;章征忠,1999b;雷衍之,2004;林浩然,2007)。相同 pH 下,24 h 时鲢仔鱼 LC_{50} 为 13.36‰,48 h 时为 10.79‰,96 h 时为 8.60‰,本试验中 13.979 0‰、12.920 0‰、10.770 0‰ 等 3 个稍小,比鳙 *Aristichthys nobilis* 仔鱼稍小,但基本相差不大,这与试验结果规律相符合。相比达里湖鲫 *Carrasius auratus* (周伟江等,2013),其 48 h LC_{50} 为 11.14‰,SC 为 3.10‰,本试验结果较大,但相差较小。鲢(章征忠等,1999b)对盐度的耐受性为 0.14‰~9.5‰,且成活率可以达到 94%,这说明长期的盐度耐受使鱼类适应这类水体,这与本试验结果相似。塔里木河干流阿拉尔段的盐度为 4.58‰,为叶尔羌高原鳅主要洄游产卵区域之一(王建等,2013;陈生熬等,2014),这可能是其资源减少的原因之一。叶尔羌高原鳅应对盐度时基因等是否发生变化,还有待研究。

3.2 叶尔羌高原鳅的碱度耐受性

碱度试验通常采用 $NaHCO_3$,但对于碱度的单位有 3 种不同表示, $mmol \cdot L^{-1}$ 、 $^{\circ}H_C$ 、 $g \cdot L^{-1}$,其中 $mmol \cdot L^{-1}$ 和 $g \cdot L^{-1}$ 比较常用,两者也可相互转换(高仁先,1994;雷衍之,2004)。碱在鱼类养殖中具有重要作用,可以有效结合水体中的金属离子,降低游离重金属离子以便开展养殖,但在一定 pH 下,碱度达到一定量即会降低转化金属离子的能力;通常碱度过大或过小均会影响中毒死亡率,所以碱度对鱼类等水生生物的毒性具有时间和剂量效应(雷衍之,2004;林浩然,2007;Saraswat *et al.*,2015)。

不同盐碱水体中鱼类区系和主要经济鱼类的生长性状有所不同,盐碱越高,种类越少,生长越慢(黎道丰,蔡庆华,2000);因为在高碱下鱼类可能会得一种“碱病”,出现烂鳍、瞎眼、肌肉溃疡和坏疽等,致使鱼类死亡或是高盐碱下基因发生变化(章征忠等,1999a;Xu *et al.*,2013)。

本试验中,在 24 h 内,除了碱度为 $3.0 g \cdot L^{-1}$,其他碱度都有死亡现象,48 h 后碱度 $4.0 g \cdot L^{-1}$ 以

上均死亡半数以上。当碱度为 $6.5 g \cdot L^{-1}$ 时,死亡率最高,可达 100%。雷衍之等(1985)认为 $0.71 g \cdot L^{-1}$ ($10 mmol \cdot L^{-1}$) 是鲢和鳙碱度耐受危险标准,本试验中叶尔羌高原鳅 LC_{50} 均高于此标准,且 SC 是 $0.931 6 g \cdot L^{-1}$ ($12.573 0 mmol \cdot L^{-1}$),也略高于这个标准,这说明这个标准也比较适合于叶尔羌高原鳅。花鲈 *Lateolabrax japonicus* 和银鲫 *C. auratus gibelio* (郑伟刚等,2001,2005)、滩头雅罗鱼 *Tribolodon brandti* (Dybowski) (池炳杰等,2011)、达里湖鲫(周伟江等,2013)和尼罗罗非鱼 *Oreochromis niloticus* (赵丽慧等,2014) 等鱼类应对的碱度远高于叶尔羌高原鳅。杨建(2014)报道的 5 种鱼类碱度耐受性中,鲢 96 h LC_{50} 为 $5.60 g \cdot L^{-1}$ ($86.246 mmol \cdot L^{-1}$),和本试验中 12 h LC_{50} 为 $6.551 6 g \cdot L^{-1}$ ($87.725 1 mmol \cdot L^{-1}$) 相差不大,但小于草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* $5.94 g \cdot L^{-1}$ ($91.825 mmol \cdot L^{-1}$)。泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus* Cantor 对碱度的 SC 为 $2.1 g \cdot L^{-1}$ (李洪涛等,2006),比本试验中叶尔羌高原鳅 SC ($0.961 3 g \cdot L^{-1}$) 高 1 倍多,这可能与叶尔羌高原鳅为底层无鳞鱼类,栖息水域不同,适应性不同等密切相关。

农田、水利等原因导致塔里木河盐碱度急剧升高,严重超过了叶尔羌高原鳅正常栖息生活的盐碱耐受极限,影响其生长与发育,导致资源衰竭。

参考文献:

- 陈生熬,程勇,范镇明,等. 2014. 塔里木河上游阿拉尔段水质的时空特征[J]. 水生态学杂志, 35(5): 15-21.
- 陈生熬,马春晖,丁慧萍,等. 2013. 塔里木河叶尔羌高原鳅繁殖生物学研究[J]. 水生生物学报, 34(5): 810-816.
- 池炳杰,梁利群,刘春雷,等. 2011. 滩头雅罗鱼幼鱼对 NaCl 浓度和碱度的适应性分析[J]. 中国水产科学, 18(3): 689-694.
- 樊自立,马英杰,张惠,等. 2002. 塔里木河水质盐化及改善途径[J]. 水科学进展, 13(6): 719-725.
- 高仁先. 1994. 试论天然水矿化度 $mmol/L$ 与 g/L 的换算[J]. 水资源保护, 10(2): 36-40.
- 乐佩琦,陈宜瑜. 1998. 中国濒危动物红皮书: 鱼类[M]. 北京: 科学出版社.
- 雷衍之,董双林,沈成钢. 1985. 碳酸盐碱度对鱼类毒性作用的研究[J]. 水产学报, 9(2): 171-183.
- 雷衍之. 2004. 养殖水环境化学(水产养殖专用)[M]. 北京: 中国农业出版社: 49-56.
- 黎道丰,蔡庆华. 2000. 不同盐碱度水体的鱼类区系结构及主要经济鱼类生长的比较[J]. 水生生物学报, 24(5): 493-501.

- 李洪涛, 周文宗, 高红莉, 等. 2006. 运用均匀设计法检验盐度和碱度对泥鳅的联合毒性作用[J]. 水产科学, 25(11): 563-566.
- 林浩然. 2007. 鱼类生理学[M]. 广州: 广东高等教育出版社: 116-216.
- 吐尔逊·艾山, 塔西甫拉提·特依拜. 2007. 塔里木河水水质现状综合评价[J]. 水土保持通报, 27(5): 174-178.
- 王建, 韩海东, 赵求东, 等. 2013. 塔里木河流域水化学组成分布特征[J]. 干旱区研究, 30(1): 10-15.
- 武云飞, 吴翠珍. 1992. 青藏高原原鱼类[M]. 成都: 四川科学技术出版社: 256-259.
- 杨建. 2014. 盐碱胁迫下5种鱼类的耐受性和免疫应激反应[D]. 上海: 上海海洋大学.
- 臧维玲, 王武, 叶林, 等. 1989. 盐度对淡水鱼类的毒性效应[J]. 海洋与湖沼, 20(5): 445-452.
- 曾霖, 唐文乔. 2010. 叶尔羌高原鳅的年龄、生长与繁殖特征[J]. 动物学杂志, 45(5): 29-38.
- 章征忠, 张兆琪, 董双林, 等. 1999a. pH、盐度、碱度对淡水养殖种类影响的研究进展[J]. 中国水产科学, 6(4): 95-98.
- 章征忠, 张兆琪, 董双林. 1999b. 鲢鱼幼鱼对盐、碱耐受性的研究[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, (3): 441-446.
- 赵丽慧, 筵金华, 张艳红, 等. 2014. 3种品系尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)盐碱耐受性和生长比较[J]. 渔业科学进展, 35(5): 26-32.
- 郑伟刚, 张兆琪, 张美昭, 等. 2001. 盐碱水 NaCl 浓度和碱度对银鲫(*Carassius auratus gibelio*)幼鱼毒性的初步研究[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 31(4): 513-517.
- 郑伟刚, 张兆琪, 张美昭, 等. 2005. 盐度与碱度对花鲈幼鱼的毒性研究[J]. 中国生态农业学报, 13(3): 116-118.
- 周伟江, 常玉梅, 梁利群, 等. 2013. 氯化钠盐度和碳酸氢钠碱度对达里湖鲫毒性影响的初步研究[J]. 大连海洋大学学报, 28(4): 340-346.
- 朱松泉. 1989. 中国条鳅志[M]. 南京: 江苏科学技术出版社: 68-132.
- Huo TB, Jiang ZF, Karjan A, et al. 2012. Length-weight relationships of 16 fish species from the Tarim River, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 28(1): 152-153.
- Nie Z, Wu H, Wei J, et al. 2013. Length-weight relationship and morphological studies in the Kashgarian loach *Triplophysa yarkandensis* (Day, 1877) from the Tarim River, Tarim River Basin, north west China[J]. Indian Journal of Fisheries, 60(1): 15-19.
- Saraswat R, Kouthanker M, Kurtarkar SR, et al. 2015. Effect of salinity induced pH/alkalinity changes on benthic foraminifera: a laboratory culture experiment[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 153: 96-107.
- Xu J, Li Q, Xu L, et al. 2013. Gene expression changes leading extreme alkaline tolerance in Amur ide (*Leuciscus walechii*) inhabiting soda lake[J]. BMC Genomics, 14(1): 682.