

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7083.2012.06.014

## 盐度胁迫对红耳龟生长与血液生化指标的影响

舒超华<sup>1</sup>, 张珂<sup>1</sup>, 洪美玲<sup>1\*</sup>, 谢迪<sup>1</sup>, 刘启超<sup>1</sup>, 史海涛<sup>1,2\*</sup>

(1. 海南师范大学生命科学院, 海口 571158; 2. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

**摘要:** 为了解外来物种红耳龟在不同盐度水域中的生存状况, 本研究选用体重  $67.28 \text{ g} \pm 19.39 \text{ g}$  的红耳龟进行为期 70 d 的不同盐度胁迫实验, 分别测定红耳龟在对照组以及盐度为 10‰ 组和 20‰ 组 (以下简称为 10 组和 20 组) 的体重特定增长率和血液生化指标变化。结果表明, 盐度 10 组的体重特定增长率极显著高于对照组和盐度 20 组 ( $P < 0.01$ ), 而盐度 20 组的体重特定增长率略大于对照组, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 盐度 10 组的肌酸激酶 (CK)、谷草转氨酶 (AST)、乳酸脱氢酶 (LDH)、碱性磷酸酶 (ALP) 的活性显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ); 盐度 10 组和 20 组的血糖 (Glu) 含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ); 各盐度组血清渗透压 (Osmp)、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、血清尿素氮 (BUN)、尿酸 (UA) 含量差异显著 ( $P < 0.05$ ); 盐度 20 组  $\text{Ca}^{2+}$  显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。说明红耳龟可通过提高血液中血糖含量及代谢所需的酶活性使得其代谢水平升高, 从而为抵抗胁迫提供所需能量; 还可以通过提高血液渗透压及无机离子的浓度来适应外界渗透压的升高, 从而使其能够在不同盐度水域中生存。本研究为红耳龟对盐度的耐受生理及入侵机理研究提供生理学方面的依据。

**关键词:** 红耳龟; 盐度胁迫; 体重特定增长率; 血液生化组成

中图分类号: Q959.6; Q461; Q956 文献标识码: A 文章编号: 1000-7083(2012)06-0912-05

## Effect of Salinity Stress on *Trachemys scripta elegans* Growth and Blood Biochemical Ingredient

SHU Chao-hua<sup>1</sup>, ZHANG Ke<sup>1</sup>, HONG Mei-ling<sup>1\*</sup>, XIE Di<sup>1</sup>, LIU Qi-chao<sup>1</sup>, SHI Hai-tao<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, China;

2. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** In order to study the survival mechanisms of exotic *Trachemys scripta elegans* (TSE) in different ambient salinity, a 70-day experiment consist of control, salinity 10‰ and 20‰ groups (the below abbreviations for 10 or 20) was carried on this species (average weight  $67.28 \text{ g} \pm 19.39 \text{ g}$ ) to examine the changes of specific growth rate and blood biochemical ingredient. The results showed that the specific growth rate of salinity 10 group is highly-significantly higher than those of control and salinity 20 group ( $P < 0.01$ ), respectively. The activities of creatine kinase (CK), aspartate aminotransferase (AST), lactate dehydrogenase (LDH), alkaline phosphatase (ALP) in serum in salinity 10 group is significantly higher than those of control group ( $P < 0.05$ ). The levels of serum glucose (Glu) in salinity 10 and 20 groups are significantly higher than that of control group ( $P < 0.05$ ). The serum osmotic pressure (Osmp),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , serum urea nitrogen (BUN), uric acid (UA) levels are significantly distinct between different groups ( $P < 0.05$ ). The level of serum  $\text{Ca}^{2+}$  in salinity 20 group is significantly higher than that of control group ( $P < 0.05$ ). Therefore, we conclude that *T. s. elegans* increased serum glucose level; the activity of metabolized enzymes and the serum osmotic pressure by accumulation of ions, urea nitrogen and uric acid in serum when being subjected to ambient salinity stress, which provided the theoretical basis of salinity tolerance and physiological mechanism for invasion.

**Key words:** *Trachemys scripta elegans*; salinity stress; specific growth rate; biochemical ingredient in serum

红耳龟 *Trachemys scripta elegans*, 又名巴西龟、红耳彩龟等, 原产于美国密西西比河至墨西哥湾周

围地区 (Gibbons, 1990)。已在欧洲、非洲、澳洲、亚洲和美国原产地以外的美洲等世界范围内成功入侵

收稿日期: 2012-05-10 接受日期: 2012-08-01

基金项目: 国家自然科学基金重大国际合作项目 (No. 30910103916); 教育部科技重点项目 (211145)

作者简介: 舒超华 (1991~), 男, 2009 级生物科学专业本科生, 从事室内龟类养殖工作, E-mail: 1065495090@qq.com

\* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: haitao-shi@263.net; meilinghong\_ccnu@yahoo.com.cn

致谢: 海南师范大学生命科学院傅丽容老师和汪继超老师在实验中提出了宝贵意见; 黎吉鑫、李杰、贺鹏冲、赵龙辉、徐彤津、梁婷婷、魏朝军、杨志兵、柏天琦、梁茜茜等同学在实验取样及论文修改中给予了大力帮助, 在此一并感谢。

(Newberry, 1984; O'Keeffe, 2005), 被列入世界自然保护联盟(IUCN)公布的全球 100 种最具威胁的外来物种之一( ISSG/SSC, 2001)。研究发现红耳龟对环境的适应性极强, 具有很强的耐低温能力( Cadi & Joly, 2004) 和耐污染能力( Ferronato *et al.*, 2009), 与本地龟相比还具有更高的抗亚硝酸盐胁迫的能力( 张杰等, 2011)。由于其较强的竞争能力和逆境耐受能力, 严重危害土著龟的生存和繁殖, 甚至导致土著龟的灭绝( 徐婧等, 2006; 史海涛等, 2007, 2009; Perez-Santigosa *et al.*, 2008)。

在众多环境因子中, 盐度是影响生物生存、生长的重要环境因子, 水体的盐度通过影响生物对渗透压的调节, 进而影响生物的生理和生长( 阮成旭, 袁重桂, 2012)。有文献报道红耳龟可以生活在含盐量较高的环境中( Thompson *et al.*, 2011)。本课题组曾在海南岛南渡江入海口盐度为 20 的半咸水环境中对红耳龟开展了为期一年的研究( 刘丹等, 2011), 发现红耳龟能够在半咸水的环境中生存, 但由于半咸水环境对发射器功能的严重影响, 该研究没能证明红耳龟是否能够在这种环境中长期生存并正常繁殖。根据我们野外调查结果, 可推断红耳龟对环境盐度应具有一定的耐受性, 但其在不同盐度水域中的生存状态研究尚属空白。

血液在生物机体的生命活动中起着非常重要的作用, 一方面营养物质和代谢产物都要通过血液来运输, 另一方面在机体内稳态的维持中发挥作用, 并参与机体的免疫反应( Ellis, 1979)。鱼类血液生理生化指标被广泛用于评价鱼类的健康、营养及对环境的适应状况( 洪磊, 张秀梅, 2004)。因此本实验设计 3 种不同的盐度梯度, 研究盐度胁迫对红耳龟生长及血液生化指标的影响, 探讨其对盐度的渗透调节机理及渗透调节能力的大小, 旨在预测红耳龟入侵可能的盐度适生区, 为其生态危害的评估及该种入侵机制的研究提供生理学方面的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料及处理

实验所用红耳龟个体均购自海口鸿旺龟鳖养殖场, 在实验室饲养 60 d 使其适应实验室条件后, 挑选健康的个体( BW:  $67.28 \text{ g} \pm 19.39 \text{ g}$ ,  $n = 33$ ) 随机分为 3 个大组, 每组 11 只个体, 饲养于海南师范大学龟类养殖室的水泥池中(  $190 \text{ cm} \times 65 \text{ cm} \times 32 \text{ cm}$ ) 以速溶海水晶( 海龙牌) 配制浓度为 10‰ 和

20‰( 以下简称为 10 组、20 组) 两个盐度梯度, 对照组加等体积经暴晒的自来水, 水深 5 cm; 每个水池中放一倒置的瓦盆以提供实验个体的隐蔽场所、晒壳场所及摄食场所; 周一、周四定时投喂一定量食物( 饲料和水 1:1, 饲料品牌: 典丰牌甲鱼饲料), 于投喂 24 h 后取出剩余食物并称量, 同时将池水全部更换。光照为室内自然光。每日采用手持式折光仪( 成都泰华光学有限公司) 测量水中盐度, 并及时加速溶海水晶或加水以控制所需的盐度; 每次换水后立即测量盐度并及时做出调整。

在此条件下持续实验 70 d。经海南省生态环境教育中心动物伦理委员会批准, 实验结束前 24 h 对所有个体均不投喂食物, 称量体重后,  $-20^\circ\text{C}$  低温冷冻麻醉 20 ~ 25 min 后断颈法处死并取血, 血样保存在 10 mL 未加抗凝剂的离心管中, 经低温冷藏运输至医院血液分析室, 并在 4 h 内完成对血液生化指标的测量。

### 1.2 指标测定

体重采用电子分析天平( 型号: 美国奥豪斯 CAV212) 测量, 精度为 0.1 g。体重特定增长率采用公式:  $R = 100 \times (\ln[W_2] - \ln[W_1]) / D$  (张胜负, 乔振国, 2010) (R: 代表体重特定增长率;  $W_1$  表示初始体重, 单位: g;  $W_2$  表示终末体重, 单位: g; D 表示实验天数, 单位: d)。

血液生化指标均在海口市一八七医院采用血液生化自动分析仪( 型号: 日本奥林巴斯 AU640 全自动生化分析仪) 测定。将取得的血液在  $4^\circ\text{C}$  条件下经  $4000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 10 min, 取上清液用于测定肌酸激酶(CK)、谷草转氨酶(AST)、乳酸脱氢酶(LDH)、碱性磷酸酶(ALP)、谷丙转氨酶(ALT)、血糖(Glu)、尿素氮(BUN)、尿酸(UA)、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、渗透压( $\text{Osm}$ ) 共 14 个生化指标。

### 1.3 数据处理

数据用 Excel 2003 和 SPSS(16.0) 软件进行处理, 所有实验数据均以  $\bar{x} \pm S. D.$  表示。采用单因素方差分析(One-way ANOVA);  $\chi^2$  检验法检验各组死亡率差异显著性。设置差异显著临界值  $\alpha = 0.05$ , 差异极显著临界值为  $\alpha = 0.01$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐度胁迫对红耳龟生长的影响

不同盐度条件下各组红耳龟的体重特定增长率对照组为  $0.00 \text{ g/d} \pm 0.06 \text{ g/d}$ 、盐度 10 组为  $0.16 \text{ g/d}$

±0.08 g/d、盐度 20 组为 0.06 g/d ± 0.07 g/d。统计分析表明 不同盐度胁迫对体重特定增长率的影响 结果显示盐度 10 组的极显著大于对照组和盐度 20 组( $P < 0.01$ ) 盐度 20 组的略大于对照组但差异不显著( $P > 0.05$ )。

通过为期 70 d 的盐度胁迫 除盐度 20 组有 1 只个体死亡 其余两组均无死亡个体  $\chi^2$  检验表明 盐

度 20 组与其他两组差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.2 盐度胁迫对红耳龟血糖及其含氮代谢物的影响

不同盐度胁迫条件下红耳龟血糖及其含氮代谢物的含量见表 1。由表 1 可以看出血液中的含氮代谢产物尿酸和尿素氮在三组之间均存在显著差异( $P < 0.05$ )；盐度 10 组的血糖显著高于对照组( $P < 0.05$ )，但与盐度 20 组的差异不显著( $P > 0.05$ )。

表 1 不同盐度胁迫下红耳龟血糖及其含氮代谢物的含量  
Table 1 The glucose and nitrogen metabolites content in serum of *Trachemys scripta elegans* in different salinity stress

盐度	对照组	10 组	20 组
血糖( Glu) /mmol · L <sup>-1</sup>	2.33 ± 0.45 <sup>a</sup>	3.23 ± 0.05 <sup>b</sup>	2.7 ± 0.58 <sup>ab</sup>
尿酸( UA) /μmol · L <sup>-1</sup>	52.75 ± 9.54 <sup>a</sup>	79.25 ± 7.63 <sup>b</sup>	67.75 ± 13.06 <sup>c</sup>
尿素氮( BUN) /mmol · L <sup>-1</sup>	5.02 ± 1.25 <sup>a</sup>	30.91 ± 5.54 <sup>b</sup>	71.49 ± 9.46 <sup>c</sup>

注：同一指标中同行的不同字母表示具有显著差异，下同

Note: Values with different upper letters in the same line of the same indicator mean significant difference, the same as below

### 2.3 盐度胁迫对红耳龟血液主要酶类活性的影响

不同盐度胁迫条件下红耳龟血液主要酶类活性见表 2。由表 2 可以看出盐度 10 组红耳龟血液中肌酸激酶、乳酸脱氢酶、谷草转氨酶、碱性磷酸酶、谷丙

转氨酶等酶活性均显著高于对照组( $P < 0.05$ )；盐度 20 组的肌酸激酶、乳酸脱氢酶、谷草转氨酶、碱性磷酸酶、谷丙转氨酶等酶活性均略高于对照组，但差异不显著( $P > 0.05$ )。

表 2 不同盐度胁迫下红耳龟血清主要酶类活性  
Table 2 The activities of main enzymes in serum of *Trachemys scripta elegans* in different salinity stress

盐度( U · L <sup>-1</sup> )	对照组	10 组	20 组
肌酸激酶( CK)	3284.00 ± 718.97 <sup>a</sup>	7487.25 ± 562.55 <sup>b</sup>	4688.50 ± 1663.00 <sup>a</sup>
乳酸脱氢酶( LDH)	896.70 ± 200.49 <sup>a</sup>	1502.35 ± 47.76 <sup>b</sup>	1010.15 ± 193.90 <sup>a</sup>
谷草转氨酶( AST)	311.30 ± 21.75 <sup>a</sup>	529.00 ± 188.10 <sup>b</sup>	397.00 ± 70.06 <sup>ab</sup>
碱性磷酸酶( ALP)	124.00 ± 47.65 <sup>a</sup>	272.75 ± 119.37 <sup>b</sup>	162.50 ± 39.23 <sup>ab</sup>
谷丙转氨酶( ALT)	21.25 ± 4.35 <sup>a</sup>	43.67 ± 7.63 <sup>b</sup>	22.5 ± 3.87 <sup>a</sup>

### 2.4 盐度胁迫对红耳龟血液渗透压及无机离子组成的影响

不同盐度胁迫条件下红耳龟血液的渗透压及 Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup> 五种无机离子的浓度见表 3。由表 3 可以看出随着盐度的增加渗透压及 Na<sup>+</sup>、

Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup> 四种无机离子浓度均升高，除 Ca<sup>2+</sup> 浓度在盐度 10 组与盐度 20 组之间无显著差异( $P > 0.05$ ) 外，渗透压及 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup> 等四种无机离子浓度在各组之间均存在显著差异( $P < 0.05$ )。K<sup>+</sup> 浓度以盐度 10 组为最高，以对照组为最低。

表 3 不同盐度胁迫下红耳龟血液渗透压及无机离子浓度  
Table 3 The serum osmotic pressure and inorganic ions concentration of *Trachemys scripta elegans* in different salinity stress

盐度	对照组	10 组	20 组
渗透压( Osm) /mOsm · kg <sup>-1</sup>	221.85 ± 28.57 <sup>a</sup>	333.08 ± 16.64 <sup>b</sup>	455.52 ± 26.52 <sup>c</sup>
钠( Na <sup>+</sup> ) /mmol · L <sup>-1</sup>	105.40 ± 13.79 <sup>a</sup>	130.60 ± 4.62 <sup>b</sup>	151.23 ± 8.06 <sup>c</sup>
钙( Ca <sup>2+</sup> ) /mmol · L <sup>-1</sup>	1.78 ± 0.34 <sup>a</sup>	2.10 ± 0.09 <sup>ab</sup>	2.28 ± 0.22 <sup>b</sup>
氯( Cl <sup>-</sup> ) /mmol · L <sup>-1</sup>	79.80 ± 11.16 <sup>a</sup>	101.13 ± 2.41 <sup>b</sup>	121.60 ± 6.67 <sup>c</sup>
镁( Mg <sup>2+</sup> ) / mmol · L <sup>-1</sup>	1.31 ± 0.20 <sup>a</sup>	1.76 ± 0.16 <sup>b</sup>	2.06 ± 0.15 <sup>c</sup>
钾( K <sup>+</sup> ) / mmol · L <sup>-1</sup>	4.53 ± 0.33 <sup>a</sup>	8.03 ± 0.75 <sup>b</sup>	6.20 ± 1.26 <sup>c</sup>

## 3 讨论

当生物体处于胁迫时糖类作为首要和迅速的能源物质被用于供能，动用的碳水化合物以单糖形式

进入血液，导致血糖浓度升高( Sancho *et al.*, 1997)。血糖除了受胰岛素和肾上腺素控制外，还受机体的各种调节。血糖在机体总量中处于一种动态平衡状态，但易受其他胁迫因子的影响( 周玉等 2001; 董燕

等 2007)。王琨(2007)研究表明当动物处于不适生存环境时,在短时间内血液中所测得的血糖含量相对较高,这可能由于基础代谢水平升高所致。在本研究中,红耳龟处于不同盐度胁迫下的血糖含量显著高于对照组,这可能是由于红耳龟受到盐度胁迫后,可通过肾上腺素和去甲肾上腺素来促进儿茶酚胺的分泌,儿茶酚胺升高会促进肝糖元或肌糖元不断分解为葡萄糖并被运送至血液所致(Srivastava, 1985)。盐度胁迫下,机体为维持内环境的稳定,需要进行渗透调节和物质代谢的变化,这些调节需要消耗大量能量,而所需能量主要由血糖代谢提供(Soengasj *et al.*, 1995)。本研究中盐度 20 组的血糖含量要低于盐度 10 组,这可能是由于较高盐度胁迫导致红耳龟渗透调节以及呼吸需要消耗的能量增加,此时葡萄糖分解转化为能量以供机体所需,从而导致了盐度 20 组红耳龟血糖含量低于盐度 10 组。

大多数爬行动物排泄的含氮废物主要是尿酸和尿酸盐(刘凌云等, 2009)。本研究中的尿酸和尿素氮等代谢产物在盐度改变的情况下显著高于对照组,这与其在胁迫下机体代谢水平升高从而使代谢产物增加有关。此外,尿酸和尿酸盐还可作为血液渗透压的效应物(刘凌云等, 2009)。本研究中盐度胁迫组的红耳龟血液渗透压均显著高于对照组,这在一定程度上可说明红耳龟在高盐的水溶液中,血液可通过保存高浓度的尿酸和尿酸盐维持较高的渗透压以防止过分失水。

通常,谷草转氨酶和谷丙转氨酶含量在水生动物体内正常生理状态下都较低,当机体受胁迫时从肝细胞释放至血液中,常作为环境胁迫特别是毒性试验的检测指标(徐力文等, 2007),可用于指示水生生物健康及胁迫程度(洪磊, 张秀梅, 2004)。渗透应激可引起龟鳖类肾上腺的组织和分泌活性发生不同程度的变化(温安祥, 周定刚, 2009)。在本研究中,尽管盐度 10 和 20 并不影响红耳龟的生长和存活率,但红耳龟在不同盐度胁迫下血液中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性均显著升高,这是在胁迫环境中的一种生理性可逆变化还是由于肝、肾脏损害而引起的病理性升高,还有待于进一步的研究加以证实。碱性磷酸酶是一个重要的代谢调控酶,可为 ADP 磷酸化形成 ATP 提供无机磷酸(徐力文等, 2008)。Hosseini 等(1995)研究表明,红耳龟在缺氧胁迫下心脏磷酸酶的活性提高了 2~2.5 倍。在本研究中盐

度 10 组和 20 组的碱性磷酸酶均高于对照组,这可以使得 ATP 合成增加,从而支持由于胁迫引起的血细胞过多代谢对能量的需求。

当细胞外渗透压升高时,为达到等渗水平适应生理平衡状态,血清离子浓度和渗透压都有相应的升高(刘伟等, 2010)。大多数广盐性海洋硬骨鱼类血浆中  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  对盐度的变化趋势与渗透压变化趋势相似(Sakamoto *et al.*, 2001),尽管鱼类对盐的摄取主要是经过鳃,而红耳龟对盐的摄取主要是经过消化道,但这一现象在本研究中很明显。红耳龟在盐度为 10 和 20 时,渗透压、 $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  均显著高于对照组。渗透压随水体盐度和血清离子浓度的升高亦呈一定上升趋势,说明渗透压与红耳龟所处内外环境变化密切相关。LeBreton 和 Beamish(1998)研究认为,一般情况下,环境盐度上升,血清  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  浓度升高, $\text{K}^+$  浓度会下降。但在本实验中, $\text{K}^+$  浓度却显著升高,相关的调节机制还有待进一步研究。

综上所述,红耳龟对盐度具有一定的调节能力,其在不同盐度胁迫时可以通过血液中血糖的含量及代谢所需的酶活性以提高自身代谢水平,从而为抵抗胁迫提供所需能量;并通过提高血液渗透压及无机离子的浓度来适应外界渗透压的升高,从而使其能够在不同盐度水域中生存。与此同时,在为期 70 d 盐度胁迫过程中,发现红耳龟在不同盐度胁迫组中的活动能力、活动频率以及取食量都无显著差别,据此推测红耳龟对盐度的耐受期远大于 70 d,可能可以生活几个月到一年甚至更长时间。由于盐度胁迫对红耳龟的组织器官可能会造成一定程度的伤害,进一步研究盐度对红耳龟组织器官的影响以及长期盐度变化(包括高渗环境中)对红耳龟的生理生长、免疫功能、渗透调节机理、渗透调节能力的大小及表型可塑性等的影响能更好的为红耳龟生态入侵机制的研究提供依据。

#### 4 参考文献

- 洪磊, 张秀梅. 2004. 环境胁迫对鱼类生理的影响[J]. 海洋科学进展, 22(1): 114~121.
- 刘丹, 史海涛, 刘宇翔, 等. 2011. 红耳龟在我国分布现状调查[J]. 生物学通报, 46(6): 18~21.
- 刘丹. 2011. 海南岛外来物种红耳龟生境选择和食性研究[D]. 海口: 海南师范大学: 17~54.
- 刘凌云, 郑光美, 张正旺, 等. 2009. 普通动物学(第4版)[M]. 北京: 高等教育出版社: 397~398.

- 刘伟, 支兵杰, 战培荣, 等. 2010. 盐度对大麻哈鱼幼鱼血液生化指标及肝组织的影响[J]. 应用生态学报, 21(9): 2411~2417.
- 阮成旭, 袁重桂. 2012. 不同盐度对莫桑比克鳢黑仔苗生长的影响[J]. 水产养殖, 33(1): 1~3.
- 史海涛, Antoine Cadi, John Tucker, et al. 2007. 外来物种红耳龟 (*Trachemys scripta elegans*) 在我国的生态适应机制及防治对策研究应受到高度重视[A]. 生物入侵与生态安全——“第一届全国生物入侵学术研讨会”论文摘要集[C]: 80~81.
- 史海涛, 龚世平, 梁伟, 等. 2009. 控制外来物种红耳龟在中国野生环境蔓延的态势[J]. 生物学通报, 44(4): 1~3.
- 童燕, 陈立侨, 庄平, 等. 2007. 急性盐度胁迫对施氏鲟的皮质醇、代谢反应及渗透调节的影响[J]. 水产学报, 31: 38~44.
- 王琨. 2007. 氨氮对鲤 (*Cyprinus carpio* Linnaeus) 幼鱼部分组织及血液指标的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学: 32~35.
- 温安祥, 周定刚. 2009. 应激对龟鳖类动物的影响[J]. 经济动物学报, 13(2): 108~114.
- 徐婧, 周婷, 叶存奇, 等. 2006. 龟类外来种的生物入侵隐患及其防治措施[J]. 四川动物, 25(2): 420~422.
- 徐力文, 冯娟, 郭志勋, 等. 2008. 盐度对军曹鱼稚鱼血液生理生化及鳃  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  ATPase 活性的影响[J]. 海洋环境科学, 27(6): 602~606.
- 徐力文, 苏友禄, 刘广锋, 等. 2007. 急性盐度胁迫下军曹鱼稚鱼应激反应的血清学指标[J]. 华南农业大学学报, 27(2): 91~94.
- 张杰, 洪美玲, 廖广桥, 等. 2011. 亚硝酸盐暴露对红耳龟与中华条颈龟幼体的慢性毒性效应[J]. 四川动物, 30(2): 173~177.
- 张胜负, 乔振国. 2010. 凡纳滨对虾 F1 代、F2 代生长比较实验研究[J]. 现代渔业信息, 25(11): 11~16.
- 周玉, 郭文场, 杨振国. 2001. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. 上海水产大学学报, 10(2): 163~165.
- Cadi A, Joly P. 2004. Impact of the introduction of the red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) on survival rates of the European pond turtle (*Emys orbicularis*) [J]. Biodiversity and Conservation, 13: 2511~2518.
- Ellis AE. 1979. The leucocytes of fish[J]. Fish Biol, 11: 453~491.
- Ferronato BO, Marques TS, Guardia I, et al. 2009. The turtle *Trachemys scripta elegans* (Testudines, Emydidae) as an invasive species in a polluted stream of southeastern Brazil [J]. Herpetological Bulletin, 109: 29~34.
- Gibbons WJ. 1990. Life history and ecology of the slider turtle [M]. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Hosseini Mehrani, Kenneth B Storey. 1995. Enzymatic control of glycogenolysis during anoxic submergence in the Freshwater turtle (*Trachemys scripta*) [J]. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 27(8): 821~830.
- ISSG/SSC. 2001. 100 of the worlds worst invasive specieses [J]. Specieses, 35: 5.
- LeBreton GTO, Beamish WFH. 1998. The influence of salinity on ionic concentrations and osmolarity of blood serum in lake sturgeon, *Acipenser fulvescens* [J]. Environmental Biology of Fishes, 52: 477~482.
- Newberry R. 1984. The American red-eared terrapin in South Africa [J]. African Wildlife, 38: 186~189.
- O'Keeffe S. 2005. Investing in conjecture: eradicating the red-eared slider in Queensland [A]. In: Proceedings of 13th Australasian Vertebrate Pest Conference 4, Te Papa Wellington, New Zealand [C]. Landcare Research, Lincoln, New Zealand: 169~176.
- Perez-Santigosa N, Diaz-Paniagua C, Hidalgo-Vila J. 2008. The reproductive ecology of exotic *Trachemys scripta elegans* in an invaded area of southern Europe [J]. Aquatic conservation, 18(7): 1302~1310.
- Sakamoto T, Uchidak, Yokota S. 2001. Regulation of the ion-transporting mitochondrion-rich cell during adaptation of teleosts fishes to different salinities [J]. Zoological Science, 18: 1163~1174.
- Sancho E, Ferrando MD, Andreu E. 1997. Sublethal effects of an organophosphate insecticide on the European eel, *Anguilla anguilla* [J]. Ecotoxicol Environ, 36: 57~65.
- Soengasj L, Barcielapa P, Aldegunde M, et al. 1995. Gilcarbohydrate metabolism of rainbow trout is modified during gradual adaptation to seawater [J]. J Fish Biol, 46: 845~856.
- Sriwastava UMS, Srivastava DK. 1985. Effect of urea stress on fish [A]. In: Current Pollution Researches in India (ed. by R. K. Trivedy, K. Goe) [M]. Environmental Publication Karad India.
- Thompson JA, Franck L, Valverde RA. 2011. Effects of Salinity on the Endocrine Stress Response of *Trachemys scripta* in the Lake Pontchartrain Basin [C]. SICB 2011 Annual Meeting Abstracts: 257.