

盐度胁迫对红耳龟 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶及消化酶活性的影响

张珂¹, 洪美玲¹, 史海涛^{1,2}, 崔雪芹¹, 江萌萌¹, 林多丽¹

(1. 海南师范大学 生命科学学院, 海南 海口 571158; 2. 中国科学院 成都生物研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 将体质量(125.60 ± 19.84) g 的红耳龟饲养在盐度为 5、15、25、35 和自来水的水泥池中, 进行了 90 d 的盐度对其胁迫试验。试验结果表明, 除胃组织中的 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶活性随盐度的升高而显著下降($P < 0.05$)外, 红耳龟的肠、肝脏及肌肉组织中的 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶活性均随时间的延长先升后降, 在盐度为 5 时达到最大值; 胃蛋白酶活性随盐度的升高呈先升后降的趋势, 在盐度 5 时活性最高, 盐度 25 时酶活性不及对照组的 1/2; 肝脏脂肪酶活性随盐度的升高呈现下降—升高—下降的趋势, 且在盐度 15 时活性最高, 肠脂肪酶和肠淀粉酶活性随着盐度的升高而下降。高盐(>15)显著抑制红耳龟消化酶和 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶的活性, 影响其生长存活, 但低盐(5 以下)环境在一定程度上激活红耳龟消化酶和 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶的活性, 可正常存活 3 个月以上。红耳龟有可能入侵到更多水域包括半咸水水域。

关键词: 红耳龟; 盐度胁迫; 消化酶; $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶

中图分类号: S966.5

文献标识码: A

文章编号: 1003-1111(2014)08-0520-05

红耳龟(*Trachemys scripta elegans*), 又称巴西龟、红耳彩龟等, 是世界最危险的 100 个外来入侵物种之一^[1], 目前已成功入侵世界五大洲^[2-3]。红耳龟属淡水龟类, 但可生活在含盐量较高的河口或入海口等水域中^[4], 在美国南卡罗来纳州基洼和刺山柑群岛的盐池(盐度 < 10)中也有生存^[5]。野外调查发现, 红耳龟在我国海南的南渡江(半咸水)流域有分布^[6]。这说明红耳龟对盐度有一定的耐受性, 能生活在淡水和半咸水中。但在此生境下其皮质醇水平明显升高, 显示机体处于一定的胁迫状态^[4]。

盐度的改变会影响机体的 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶活性, 渗透压的变化影响生物的生理状态^[7-8]。已有研究表明, 保持细胞内环境中各种离子浓度相对稳定以及细胞内环境与体外环境的渗透压平衡最关键的为 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶。如沈永龙等^[9]研究了盐度对软体动物瘤背石磺(*Onchidium struma*)不同部位 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶活性的影响, 发现随着盐度的升高, 除肌肉的 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶活性呈明显的下降趋势外, 肝胰腺、贲门胃和表皮的 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶活性均表现出先升后降的情况。

舒超华等^[10]研究表明, 红耳龟在盐度为 10 和 20 的水域中可存活 70 d 以上, 主要通过调节血糖的含量及代谢所需的酶活性以提高自身代谢水平, 提供胁迫所需能量; 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。但该试验并未研究红耳龟在盐度胁迫过程中离子调节的内因。

笔者在前期研究中发现, 红耳龟随着盐度胁迫时间的延长摄食量明显降低, 最终导致体质下降。本研究设计了 4 个不同的盐度梯度(5、15、25、35), 检测红耳龟在 90 d 内的存活以及不同盐度下肌肉、胃、肠和肝组织中 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶、胃蛋白酶、肠脂肪酶、肝脂肪酶、肠淀粉酶的活性, 探讨盐度对红耳龟消化生理和离子转运酶的影响, 研究红耳龟盐度胁迫的机理, 并为其评估可能入侵的适生区提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用红耳龟购自海口鸿旺龟鳖养殖场, 在

收稿日期: 2013-10-16; 修回日期: 2014-01-07。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30910103916); 教育部科技重点项目(211145); 海南省自然科学基金资助项目(303148)。

作者简介: 张珂(1988—), 女, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态学、动物学。E-mail: kaka19881189@163.com。通讯作者: 洪美玲(1976—), 女, 教授; 研究方向: 动物学。E-mail: meilinghong_cenu@aliyun.com。

试验室饲养 30 d 后,挑选出健康的个体[体质量 (125.60 ± 19.84) g, $n=115$],随机分为 5 个组,每组 23 只,饲养于海南师范大学龟类养殖室的 $190 \text{ cm} \times 65 \text{ cm} \times 32 \text{ cm}$ 水泥池中。试验以速溶海水晶(海龙牌)分别配制盐度 5、15、25、35,4 个盐度(按照半咸水的最低和海水的平均盐度设置上限和下限),对照组加等体积经曝晒的自来水,水深 5 cm;每个水池中放数个倒置的瓦盆供试验龟隐蔽、晒壳及摄食。每隔 3 d 定时投喂一定量典丰牌甲鱼饲料(以相应盐度的盐水 1:1 配制),24 h 后取出剩余食物并称量质量,同时全部换水。光照为室内自然光。每日采用数显高精度电子盐度计测量水中盐度,及时加速溶海水晶或加水以调控所需的盐度;每次换水后立即测量并及时调整盐度。

1.2 样品制备

在试验的第 31、61、91 d 对试验组和对照组的红耳龟进行取样,每次随机取样 6 只,称量质量,取样前 24 h 停喂。经海南省生态环境教育中心动物伦理委员会批准,红耳龟经 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 低温冷冻麻醉 35~45 min 后,断颈法处死。取出消化器官,剔除脂肪,分别将肠、胃、肝脏称量质量,剖开胃和肠道,用预冷重蒸水快速冲洗,用脱脂棉吸净水分,放入 $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱保存。

测定时, $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 下将组织解冻,在冰盘上将样品剪碎,称量质量,按 4 倍量加入预冷生理盐水,用玻璃匀浆器在低温下匀浆。将匀浆倒入离心管中, $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 2500 r/min 离心 10 min,所得上清液即为粗酶液,置于 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 冰盒中保存待用,24 h 内完成酶活性的测定。

1.3 酶活性测定

1.3.1 Na^+/K^+ -ATP 酶活性的测定

用南京建成生物工程公司生产的试剂盒检测 Na^+/K^+ -ATP 酶的活性。以每小时每毫克组织蛋白的组织中三磷酸腺苷酶分解三磷酸腺苷产生 $1 \mu\text{mol}$ 无机磷的量为一个酶活力单位(U/mg)。

1.3.2 消化酶活性的测定

脂肪酶、淀粉酶及胃蛋白酶活性均用南京建成生物工程公司生产的试剂盒进行检测。

$37 \text{ }^\circ\text{C}$ 时每毫克组织蛋白在本反应体系中与底物反应 1 min,每消耗 $1 \mu\text{mol}$ 底物为一个脂肪酶活力单位。

组织中每毫克蛋白 $37 \text{ }^\circ\text{C}$ 与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活力。

每毫克组织蛋白 $37 \text{ }^\circ\text{C}$ 每分钟分解蛋白生成 $1 \mu\text{g}$ 氨基酸相当于 1 个胃蛋白酶活力单位。

1.4 数据处理

数据用 Excel 2003 和 SPSS16.0 统计软件进行处理和分析,所有试验数据均以 \bar{X} 表示。采用双因素方差分析和单因素方差分析相关数据,同一取样时间不同盐度处理组之间的比较和同一盐度组不同取样时间之间的比较用 Duncan 法进行,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 不同盐度和不同时间下死亡

不同盐度及不同时间红耳龟的死亡数量见 1。由表 1 可知,盐度影响红耳龟的存活。盐度为 35 时,在 30 d 红耳龟内就大量死亡,60 d 时除了在第 31 d 时取样的 6 只,其余红耳龟均已死亡。在盐度 25 组中也有龟死亡,但死亡数显著低于盐度 35 组。在盐度 5 和 15 组中 120 d 内均未见死亡。根据死亡率来判断,红耳龟在 25 的较高盐度水域中不能长时间存活,在低于 15 的盐度水域中能长时间存活。

试验发现,在盐度 35 时红耳龟可存活一个月,盐度 15 以下可存活 3 个月以上,说明红耳龟在低盐度下,具有一定的渗透压调节能力。

表 1 不同盐度和不同时间下红耳龟的死亡数量 ($n=23$) 只

时间/d	对照组	5	15	25	35
0~30	0	0	0	2	14
30~60	0	0	0	2	3
60~90	0	0	0	1	—

2.2 盐度胁迫对红耳龟 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响

盐度胁迫对红耳龟 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响见表 2。由表 2 可见,红耳龟肌肉、肠及肝脏组织中的 Na^+/K^+ -ATP 酶活性随着盐度的升高先升后降,在盐度 5 时达最大值;30 d 时胃中的 Na^+/K^+ -ATP 酶活性随着盐度的升高降低,60 d 时随盐度的升高呈“下降—升高—下降”的趋势,90 d 时随盐度的升高呈现下降—升高的趋势,且对照组活性显著高于盐度组 ($P < 0.05$)。胃组织中的 Na^+/K^+ -ATP 酶活性随盐度的升高呈下降趋势。盐度为 5 时,肌肉和肠组织中的 Na^+/K^+ -ATP 酶活性显著高于对照组 ($P < 0.05$),盐度 25 时显著低于对照组 ($P < 0.05$);盐度为 5 时肝脏和胃组织中的 Na^+/K^+ -ATP 酶活性显著高于对照组 ($P < 0.05$),盐度为 15 及和 25 时却显著低于对照组 ($P > 0.05$)。取样时间不同,胃中的 Na^+/K^+ -ATP 酶活性差异不

显著($P>0.05$);肌肉的 Na^+/K^+ -ATP 酶活性 60 d 和 90 d 显著低于 30 d($P<0.05$)。说明红耳龟的四种组织中 Na^+/K^+ -ATP 酶活性不仅与盐度不同有关,还与胁迫时间有关。

表2 盐度胁迫对红耳龟 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响 U/mg

时间 d	盐度	Na^+/K^+ -ATP 酶活性			
		肌肉	肠	肝	胃
30	0	5.44 ^a	3.37 ^a	2.08 ^{ab}	3.25 ^a
	5	7.20 ^b	6.45 ^b	3.69 ^c	4.71 ^b
	15	5.52 ^a	3.40 ^a	2.41 ^a	4.62 ^c
	25	2.56 ^c	2.27 ^c	1.82 ^b	2.98 ^a
60	0	3.61 ^a	3.90 ^a	2.96 ^a	4.66 ^a
	5	5.52 ^b	5.05 ^b	3.86 ^b	3.09 ^b
	15	3.34 ^a	3.69 ^a	2.88 ^a	4.11 ^a
	25	2.89 ^c	3.64 ^a	2.97 ^a	3.18 ^b
90	0	3.88 ^a	4.65 ^a	2.92 ^a	4.62 ^a
	5	5.77 ^b	5.76 ^b	4.88 ^b	3.56 ^b
	15	3.42 ^c	4.53 ^a	3.35 ^c	2.64 ^c
	25	3.14 ^c	4.35 ^a	3.23 ^c	3.10 ^{bc}
时间 ^e					
	30 d	4.81 ^a	3.78 ^a	2.45 ^a	3.90
	60 d	3.85 ^b	4.06 ^b	3.17 ^b	3.76
	90 d	3.99 ^b	4.82 ^c	3.59 ^c	3.48
	P-value	0.000	0.000	0.000	0.103
盐度					
	CK	4.17 ^a	4.12 ^a	2.77 ^a	4.21 ^a
	5	5.88 ^b	5.61 ^b	4.25 ^c	3.74 ^b
	15	3.95 ^a	3.97 ^a	2.97 ^b	3.76 ^b
	25	2.89 ^c	3.65 ^c	2.84 ^{ab}	3.10 ^c
	P-value	0.000	0.000	0.000	0.000
P-value ^f (时间×盐度)		0.000	0.000	0.000	0.000

注:同一列中上标不同字母间表示差异显著($P<0.05$), $n=6$ 。上标^e为双因素分析中主效应结果;上标^f为双因素分析中交互效应。下同。

2.3 盐度胁迫对红耳龟消化酶活力的影响

30 d 时,红耳龟消化道胃蛋白酶和肝脂肪酶活性随盐度的升高呈现先升后降的趋势,肠脂肪酶和肠淀粉酶活性随着盐度的升高而下降;60 d 时,胃蛋白酶、肝脂肪酶、肠脂肪酶和肠淀粉酶活性均随着盐度的升高而下降;90 d 时,除肝脂肪酶活性随盐度的升高呈下降—升高的趋势,且盐度 5 的活性显著低于其他各种($P<0.05$)外,其余三种酶活均随着盐度的升高而下降。盐度 15 组、25 组胃蛋白酶活性盐度在显著低于对照组($P<0.05$),25 组酶活性不到对照组的 1/2;在盐度 5 组、15 组和 25 组肠脂肪酶活性、肝脂肪酶、肠淀粉酶活性显著低于对照组($P<0.05$),盐度 25 组肠脂肪酶活性不到对照组的 1/2,肠淀粉酶活性仅为对照组的 1/3。在第 30 d 时发现,在盐度 5 组胃蛋白酶活性显著高于对照组($P<0.05$),但随着盐度的增加酶活性下降;盐

度 5 组肝脂肪酶活性高于对照组,但不显著($P>0.05$),随着盐度的增加酶活性显著下降($P<0.05$)。除肠脂肪酶活性和肠淀粉酶活性的胁迫时间与不同盐度间存在显著交互效应($P<0.001$),其他试验组不存在交互效应($P>0.001$)(表 3)。

表3 盐度胁迫对红耳龟消化酶活力的影响 U/mg

时间 d	盐度	蛋白酶			脂肪酶		淀粉酶
		胃	肠	肝	肠		
30	0	6.56 ^a	76.42 ^a	27.81 ^a		0.396 ^a	
	5	9.14 ^b	55.19 ^b	29.75 ^a		0.304 ^b	
	15	5.81 ^a	41.39 ^c	19.19 ^b		0.246 ^c	
	25	4.48 ^c	36.74 ^c	17.45 ^b		0.165 ^d	
60	0	6.62 ^a	81.55 ^a	26.32 ^a		0.327 ^a	
	5	5.99 ^a	50.75 ^b	23.22 ^{ab}		0.236 ^b	
	15	3.87 ^b	38.35 ^c	19.89 ^b		0.160 ^c	
	25	1.87 ^c	32.24 ^c	15.80 ^c		0.151 ^c	
90	0	6.50 ^a	74.94 ^a	25.81 ^a		0.337 ^a	
	5	5.96 ^a	43.55 ^b	17.57 ^b		0.209 ^b	
	15	4.25 ^b	31.55 ^c	29.37 ^a		0.197 ^b	
	25	3.60 ^b	29.76 ^c	29.04 ^a		0.124 ^c	
时间 ^e							
	30 d	6.65 ^a	51.22 ^a	23.28 ^{ab}		0.279 ^a	
	60 d	4.59 ^b	50.72 ^a	21.31 ^a		0.216 ^b	
	90 d	5.07 ^c	44.95 ^b	25.45 ^b		0.221 ^b	
	P-value	0.000	0.000	0.000		0.000	
盐度							
	CK	6.56 ^a	77.93 ^a	26.41 ^a		0.348 ^a	
	5	6.96 ^a	48.54 ^b	22.01 ^b		0.237 ^b	
	15	4.51 ^b	36.24 ^c	23.54 ^b		0.196 ^c	
	25	3.14 ^c	32.15 ^d	21.42 ^b		0.142 ^d	
	P-value	0.000	0.000	0.000		0.000	
P-value ^f (时间×盐度)		0.000	0.260	0.000		0.169	

3 讨论

研究表明,消化酶活是生物代谢机制的组成部分^[11],除与物种本身有关外,还受诸多因素的影响,如不同的生长发育阶段,外界环境(盐度、温度、季节、光照、pH 等)^[12]。当外界盐度改变时,机体通过改变酶的活性来改变新陈代谢的能力来适应环境^[13]。Asaro 等^[14]研究发现,广盐性的颗粒新厚蟹(*Neohelice granulata*)淀粉酶活性在低盐环境中较高。提高消化酶的活性可以提高机体的消化能力,为渗透调节提供能量^[11]。本试验也发现,在第 30 d 时,盐度 5 试验组胃蛋白酶活性显著高于对照组。因此,提高消化酶的活性是动物在低盐环境中的有利应答,从食物中获得更多的能量来满足渗透压调节的能量需求。而且 Dunson 等^[15]研究还发现,25%海水可促进淡水古巴彩龟(*Trachemys decussate*)初生幼龟的生长。但本研究中的盐度增加至 15 和 25 时,胃蛋白酶活性均显著低于盐度 5 试验

组,这说明在高盐度下机体消化酶活性受抑制,这与 Wang 等^[11] 研究结果一致。外界环境盐度的增大,体内水分外渗,红耳龟大量吞饮含盐的水以补充体内水分的流失,导致胃及消化道内的 pH 值升高^[16],超过了蛋白酶的适宜 pH 值范围,使消化酶活力下降。盐度通过影响水生动物消化道内的 pH 值来影响消化酶的活性^[17]。

吞饮的盐水使红耳龟消化道内无机离子浓度增加,而许多无机离子是消化酶的激活剂或抑制剂。生活环境中的盐度变化直接影响无机离子浓度的变化,进而影响消化酶的活性^[18]。研究发现黄鳝 (*Monopterus albus*) 淀粉酶活性在未加入 NaCl 时,仅为 NaCl 存在时的 15%^[19],说明盐度的增加激活了淀粉酶的活性。而本试验发现,红耳龟在盐度胁迫下,消化酶活性呈下降趋势,说明环境中过多的无机离子抑制了消化酶活性,影响红耳龟对食物的消化吸收和能量的摄取,影响了其生长发育甚至存活。试验观察发现,随着胁迫时间的延长,高盐度组的红耳龟活动量减少,几乎不进食,最终死亡。

此外,盐度的变化影响离子在动物体内的自我平衡。为了对抗这种不平衡,动物体内的 Na^+/K^+ -ATP 酶活性会发生相应的变化,以维持体内的渗透压平衡及离子稳态^[20]。当环境盐度变化时,鱼鳃的氯细胞以及 Na^+/K^+ -ATP 酶的分泌活动变化以调节维持体内环境的稳定,而 Na^+/K^+ -ATP 酶活性变化适应鳃对体内外 Na^+ 、 Cl^- 等离子运输的需要^[21]。这一变化由盐度变化引起体内激素水平的调节,从而对 Na^+/K^+ -ATP 酶活性引起变化,最终导致血清渗透压及血清离子变化^[22]。本试验发现,盐度胁迫下红耳龟消化组织及肌肉中的 Na^+/K^+ -ATP 酶活性随时间的延长均呈先升后降的趋势,在盐度 5 组达到最大值,这可能是由于红耳龟对盐度胁迫的响应不仅是通过改变 Na^+/K^+ -ATP 酶活性实现,也可能是通过改变调控机制来完成,如遮目鱼 (*Chanos chanos*)^[23] 等。

综上所述,红耳龟在盐度 35 下可存活 25 d,在盐度 25 有 2 只可存活 90 d 以上,盐度 15 和 5 组正常存活 120 d 以上,说明红耳龟可以适应较低盐度的水环境。红耳龟体内 Na^+/K^+ -ATP 酶活性随盐度的变化而变化,调节离子的平衡来适应盐度环境。Dunson^[24] 研究发现,钻纹龟 (*Malaclemys terrapin*) 在 28 °C 盐度为 8.75 的水环境中比淡水中增长率更高。红耳龟在盐度 15 以下可存活 3 个月以上,尤其是盐度 5 试验组,其部分消化酶活性显著高于对照组,说明低盐度刺激可激活红耳龟的消化

机能。因此可以推测,在低盐度(5 以下)环境中红耳龟有较强的适应能力,如不对其入侵采取必要措施,有可能入侵到更多水域包括半咸水水域。

致谢:海南师范大学生命科学学院教师傅丽容、王力军和汪继超对试验提出了宝贵意见;舒超华、谢迪、梁婷婷、赵龙辉、徐彤津、田丹丹、夏欢、张豪、陈鹏、赵俊芳等同学在养殖红耳龟和试验取样中给予了大力帮助,再此一并感谢。

参考文献

- [1] ISSG/SSC. 100 of the world's worst invasive species [J]. *Species*, 2001(35):5.
- [2] Newberry R. The American red-eared terrapin in South Africa [J]. *African Wildlife*, 1984(38):186-189.
- [3] O'Keeffe S. Investing in conjecture: eradicating the red-eared slider in Queensland [G]//Te Papa Wellington. Proceedings of 13th Australasian Vertebrate Pest Conference, Landcare Research, Lincoln; New Zealand, 2005:169-176.
- [4] Thompson J A, Franck L, Valverde R A. Effects of salinity on the endocrine stress response of *Trachemys scripta* in the Lake Pontchartrain Basin [G]//Evans R D, Cary N C. Integrative and comparative biology. USA: Oxford Univ Press INC, 2011:257.
- [5] Gibbons W J. Life History and Ecology of the Slider Turtle [M]. Washington: Smithsonian Institution Press, 1990. 3-18.
- [6] 刘丹,史海涛,刘宇翔,等. 红耳龟在我国分布现状的调查 [J]. *生物学通报*, 2011, 46(6):18-21.
- [7] Lucu C, Pavicic J, Ivankovic D. Changes in Na^+/K^+ -ATPase activity, unsaturated fatty acid and metallo-thioneins in gills of the shore crab *Carcinus aestuarii* after dilute seawater acclimation [J]. *Comparative Biochemistry Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2008, 149 (4):362-372.
- [8] Masui D C, Mantelatto F L, Mcnamara J C. Na^+/K^+ -ATPase activity in gill microsomes from the blue crab, *Callinectes danae*, acclimated to low salinity: novel perspectives on ammonia excretion [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2009, 153(2):141-148.
- [9] 沈永龙,戈贤平,黄金田,等. 盐度对瘤背石磺不同部位 Na^+/K^+ -ATPase 酶活性、围心腔液和腹腔液渗透压及离子含量的影响 [J]. *水产学报*, 2013, 37(6):851-857.
- [10] 舒超华,张珂,洪美玲,等. 盐度胁迫对红耳龟生长与血液生化指标的影响 [J]. *四川动物*, 2012, 31(6):912-917.
- [11] Wang R F, Zhuang P, Feng G P, et al. The response

- of digestive enzyme activity in the mature Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (Decapoda; Brachyura), to gradual increase of salinity[J]. *Scientia Marina*, 2013, 77(2):323-329.
- [12] 胡毅. 三疣梭子蟹消化酶性质的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.
- [13] Hochachka P W, Somero G N. Biochemical adaptation [M]. Princeton: Princeton University Press, 1984.
- [14] Asaro A, López Mañanes A A, Del Valle J C. Sucrase and maltase activities in hepatopancreas of *Neohelice granulata*: post-ingesta response[J]. Abstracts X Annual Meeting of Argentine Biology Society, Buenos Aires, Argentina, Biocell, 2009(33):197.
- [15] Dunson W A, Seidel M E. Salinity tolerance of estuarine and insular Emydid turtles (*Pseudemys nelsoni* and *Trachemys decussata*) [J]. *Journal of Herpetology*, 1986, 20(2):237-245.
- [16] Noda M, Murakami K. Studies of proteinases from the digestive organs of sardine; purification and characterization of two acid proteinase from the stomach[J]. *Biochem Biophys Acta*, 1981, 658(1):27-32.
- [17] 陈品健, 王重刚, 郑森林. 盐度影响真鲷幼鱼消化酶活力的研究[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 1998, 37(5):754-756.
- [18] 江振莹, 贾志海, 郭锁云, 等. 稀土元素对鲤鱼肠道发育及消化酶活性的影响[J]. *水产学报*, 2007, 19(1):86-90.
- [19] Babkin B P. Secretory mechanism of the digestive glands, Second edition[M]. New York: Paul B Hoeber Inc, 1963:54.
- [20] 袁锦芳, 陈叙龙, 张毓琪. 环境因素对海洋动物 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 的影响概述[J]. *海洋环境科学*, 1999, 18(3):76-79.
- [21] McCormick S D. Hormonal control of gill $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ and chloride cell function[J]. *Fish Physiology*, 1995(14):285-315.
- [22] 于娜. 盐度对鲮鱼消化生理和渗透调节生理的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- [23] Lin Y M, Chen C N, Lee T H. The expression of gill $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ in milkfish, *Chanos chanos*, acclimated to seawater, brackish water and freshwater[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2003, 135(3):489-497.
- [24] Dunson W A. Effect of water salinity and food salt content on growth and sodium efflux of hatchling diamondback terrapins (*Malaclemys*) [J]. *Physiological Zoology*, 1985, 58(6):736-747.

Effects of Salinity on $\text{Na}^+ / \text{K}^+ - \text{ATPase}$ and Digestive Enzyme Activities of Turtle *Trachemys scripta elegans*

ZHANG Ke¹, HONG Mei-Ling¹, SHI Hai-Tao^{1,2}, CUI Xue-Qin¹, JIANG Meng-Meng¹, LIN Duo-Li¹

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

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

Abstract: Turtle *Trachemys scripta elegans* with initial body weight of (125.60 ± 19.84) g were reared in a concrete tank at a salinity of 5, 15, 25, and 35 and freshwater for 90 days. The $\text{Na}^+ / \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activities in intestine, liver and muscle were found to be increased firstly and then decreased with elapse of salinity stress, the maximum at a salinity of 5. In the stomach, however, $\text{Na}^+ / \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activity was weakened with increase in salinity significantly ($P < 0.05$). The pepsin activities were consistent with the changes of ambient salinity and all increased firstly then decreased, the maximum at a salinity of 5, and the hepatic lipase activity was decreased firstly and increased secondly, and then decreased, the maximum at a salinity of 15. Intestinal lipase and amylase activities were weakened with increase in salinity. It is concluded that high salinity (over 15) led to inhibit $\text{Na}^+ / \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activity, thus mortality of the turtle. However, since low salinity (below 5) promoted $\text{Na}^+ / \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activity, and hence the turtle can survive in low salinity (a salinity of below 5) waters more than 3 months. It is speculated that the turtle could invade in a wide range of waters, even brackish water.

Key words: *Trachemys scripta elegans*; salinity stress; digestive enzyme; $\text{Na}^+ / \text{K}^+ - \text{ATPase}$