铬胁迫对拟穴青蟹组织器官中ATPase和 SOD活性的影响^{*}

蒋云霞1 徐 华2 艾春香^{2**} (南方医科大学公共卫生与热带医学院 广州 510515)

(2厦门大学海洋与环境学院 厦门 361005)

摘 要 采用毒性实验方法研究水体中铬离子Cr⁶⁺(0.5、1.0、2.0、4.0、8.0 mg L⁻¹)胁迫1、3、5、7、9 d后对拟穴青蟹组织 器官中ATPase、SOD活性的影响,以未添加Cr⁶⁺的自然海水组为对照组.结果表明,拟穴青蟹鳃中Ca²⁺-ATPase、Na⁺,K⁺-ATPase活性在Cr⁶⁺暴露1 d后即被显著抑制(*P*<0.05),随胁迫时间延长,Cr⁶⁺又可诱导拟穴青蟹鳃中Ca²⁺-ATPase、Na⁺,K⁺-ATPase活性升高.Cr⁶⁺胁迫下拟穴青蟹鳃、肝胰腺、肌肉中SOD活性均可被显著诱导升高(*P*<0.05),其中尤以鳃中SOD活性受影响更大.可见铬胁迫对拟穴青蟹生理生化影响显著.图2表1参36 关键词 拟穴青蟹;铬胁迫;ATPase;SOD

CLC X174 : S917.4

Effects of Cr⁶⁺ Stress on ATPase and SOD Activities in Different Tissues and Organs of Mud Crab *Scylla paramamosain**

JIANG Yunxia¹, XU Hua² & AI Chunxiang^{2*}

(^ISchool of Public Health and Tropical Medicine, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China) (²College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China)

Abstract A toxic experiment was conducted to investigate the effects of different concentrations of water-borne Cr^{6+} (0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 mg L⁻¹) stress on the activities of ATPase in gill and superoxide dimutase (SOD) in gill, hepatopancreas and muscle of mud crab *Scylla paramamosain*. Each treatment was conducted in triplicate. The results showed that the activities of Ca^{2+} -ATPase and Na⁺,K⁺-ATPase in gills of *S. paramamosain* decreased significantly by Cr^{6+} exposure to gills after 1 d (*P*<0.05), but stimulated with time. The SOD activities in gills, hepatopancreas, muscle of *S. paramamosain* increased significantly under Cr^{6+} stress (*P*<0.05), and the effect of Cr^{6+} stress on the SOD activity in gill was greater than those in hepatopancreas and muscle. Therefore, The effects of Cr^{6+} stress on the physiological and biochemical responses of *Scylla paramamosain* were significant. Fig 2, Tab 1, Ref 36

Keywords *Scylla paramamosain*; chromium (Cr⁶⁺) stress; ATPase; SOD CLC X174 : S917.4

铬(Chromium, Cr)与汞、镉、铅并列为四大污染重 金属,是水体和底泥沉积物中常见的污染物^[1-3],能够被水 生动物所蓄积并引发一系列损害效应^[4-6]. Cr⁶⁺和Cr³⁺是环 境中铬的主要存在形式, Cr⁶⁺毒性较Cr³⁺高100~1 000倍, 受到许多研究者关注^[7]. 研究表明,重金属胁迫可影响虾 蟹机体的免疫与抗氧化酶活性^[8-10]. Cr⁶⁺进入细胞后在其 还原为无毒Cr³⁺的过程中,伴有自由基产生,并引发脂质 过氧化(Lipid peroxidation, LPO)^[10]. 迄今有关Cr⁶⁺胁迫 对我国东南沿海主要养殖海水蟹类——拟穴青蟹[*Scylla paramamosain*(Estampador, 1949)]生理生化的影响尚未见 报道.本试验研究了Cr⁶⁺胁迫下拟穴青蟹体内腺苷三磷酸酶 (Adenosinetriphosphatase, ATPase, EC.36.1.3)、超氧化物歧 化酶 (Superoxide dismutase, SOD, EC 1.15.1.1) 活性的影响, 以探讨重金属胁迫对拟穴青蟹生理生化的影响机制,为蟹类 环境生理学研究积累资料,同时为蟹类健康养殖水环境中 Cr⁶⁺监测与调控提供依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

2006年10月中旬从厦门市第八菜市场采购附肢完整、体 色鲜艳、活动力强、无病无伤、大小均匀、平均壳长为(5.72± 0.61) cm、平均壳宽为(7.05±0.73) cm、平均体重为(112.9±19.4) g 的拟穴青蟹为试验对象.试验用Cr⁶⁺源为分析纯的K₂CrO₄.

1.2 试验方法

1.2.1 Cr⁶⁺浓度梯度的设定与分组 Cr⁶⁺浓度梯度按《中华人 民共和国渔业水质标准》中Cr⁶⁺ \leq 0.1 mg L⁻¹的5倍、10倍、20 倍、40倍、80倍设置(表1),未添加Cr⁶⁺的自然海水为对照组 (C₀),本试验所用自然海水的Cr⁶⁺浓度为7.8 μ g L⁻¹. 试验前 将拟穴青蟹于自然海水中适应性驯养7~10 d,然后随机移入 各Cr⁶⁺浓度梯度组进行试验.

按表1浓度设置,每处理组18只蟹,每组设3平行,分养

收稿日期: 2009-10-19 接受日期: 2010-01-07

^{*}国家"863"计划项目(No. 2007AA091406)和公益性行业(农业) 科研专项(No. nyhyzx07-043)资助 Supported by the National High -Tech Research and Development Program of China (863 Program, No. 2007AA091406) and the National Public Benefit Research Foundation of China for Agriculture (No. nyhyzx07-043-14)

^{**}通讯作者 Corresponding author (E-mail: chunxai@xmu.edu.cn)

表1 试验处理组						
Table 1 Treatments of the experiment						
处理组 Treatment	C ₀	C ₅	C ₁₀	C ₂₀	C ₄₀	C ₈₀
Cr^{6+} ($\rho/mg L^{-1}$)	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0

于0.80 m×0.58 m×0.45 m的无毒塑料箱中,盛水体积50 L/箱. 1.2.2 试验条件 每一个箱加盖防逃网,箱中设置隐蔽物, 试验期间养殖水体溶解氧(DO)为(6.8±0.3) mg L⁻¹, pH为7.5± 0.3,温度为(21±1)℃,盐度为29.5±0.5.试验采用半静态法,每 天更换1/3 Cr⁶⁺溶液,连续充气.

1.2.3 **样品制备** 试验开始后各Cr⁶⁺浓度组于d1、d3、d5、d 7、d9随机取样,每组随机选取3只拟穴青蟹.迅速取出其鳃、 肝胰腺、肌肉,分别装入1.5 mL的Eppendorf管,放入-80 ℃冰 箱保存待测.

组织匀浆:取0.2g 鳃丝置于9倍体积的冰冷($0{\sim}4 \ C$)匀 浆缓冲液($0.25 \ mmol \ L^{-1} \ mmol \ L^{-1} \ EDTA-Na_2$; 10 mmol L⁻¹ Tris; 0. 1%脱氧胆酸钠; pH=7.5),于高速匀浆器冰水浴 中10 000 r min⁻¹匀浆5 min.匀浆液在高速冷冻离心机中($0{\sim}4 \ C$, 8 000 r min⁻¹)离心30 min,取上清液在同样条件下重复 离心10 min两次,取上清液待测.分别取拟穴青蟹的鳃、肝胰 腺、肌肉,经PBS缓冲液冲洗,用洁净的吸水纸吸去表面水 分并称重,取各种组织块0.2 g,加入组织块重9倍体积的匀 浆缓冲液(pH=6.4; 0.25 mol L⁻¹ 蔗糖; 0.025 mol L⁻¹ Tri-HCl; 0.1 mmol L⁻¹ EDTA-2Na溶液),冰浴匀浆后经冷冻高速离心机 ($0{\sim}4 \ C$, 4 000 r min⁻¹)离心15 min,取上清粗酶液待测.

1.2.4 检测指标及其测定方法 Na⁺,K⁺-ATPase、Ca²⁺-ATPase 和SOD的活性测定:均采用南京建成生物工程研究所研制的 试剂盒测定,具体操作分别按试剂盒说明书进行.

Na⁺,K⁺-ATPase、Ca²⁺-ATPase活性定义: 以每mg组织蛋白的组织中ATPase分解ATP产生1 µmol无机磷的量为一个酶活性单位[1 µmol(Pi)/mg⁻¹(protein) h⁻¹].

SOD活性定义:每mg组织蛋白在1 mL反应液中SOD抑制率达50%时所对应的SOD量为一个SOD活性单位(U).

1.2.5 **匀浆粗提液中蛋白含量测定** 采用考马斯亮蓝G-250 比色法进行蛋白定量,参照Bradford方法^[11]稍加改进后进 行测定.牛血清白蛋白(Bovine serum albumin, BSA, 购于 AMRESCO公司)作为标准蛋白.

1.3 数据的处理与分析

所有数据以3个重复组数据的平均值±标准差(Means±SD)表示,并采用单因素方差分析(ANOVA)和Duncan检验 法统计分析.

2 结 果

2.1 铬胁迫对拟穴青蟹鳃中Ca²⁺-ATPase和Na⁺,K⁺-ATPase活性的影响

铬胁迫下拟穴青蟹鳃中Ca²⁺-ATPase、Na⁺,K⁺-ATPase活性 变化见图1. 从图1-a中可知, 拟穴青蟹暴露于不同Cr⁶⁺浓度组 1 d后,各组拟穴青蟹鳃中Ca²⁺-ATPase活性均显著低于对照组 (P<0.05),但其降幅与Cr⁶⁺浓度不相关; 3 d后 2.0 mg L⁻¹、4.0 mg L⁻¹、8.0 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度组拟穴青蟹鳃Ca²⁺-ATPase活性仍 显著低于对照组(P<0.05),而0.5 mg L⁻¹、1.0 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度 组拟穴青蟹鳃Ca²⁺-ATPase活性已恢复至与对照组差异不显 著的水平(P>0.05);随着铬胁迫时间延长,各Cr⁶⁺浓度组拟 穴青蟹鳃Ca²⁺-ATPase活性逐渐恢复,d9时1.0 mg L⁻¹和8.0 mg L⁻¹Cr⁶⁺浓度组拟穴青蟹鳃Ca²⁺-ATPase活性较对照组显著升高 (P<0.05).

从图1-b中可以看出, 拟穴青蟹暴露于不同Cr⁶⁺浓度1 d 后, 除0.5 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度组外, 其余组拟穴青蟹鳃中Na⁺,K⁺-ATPase活性均显著低于对照组(*P*<0.05);随着胁迫时间延 长, 鳃中Na⁺,K⁺-ATPase活性抑制效应逐渐减弱, 7 d后4.0 mg L⁻¹、8.0 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度组拟穴青蟹鳃中Na⁺,K⁺-ATPase活性显 著升高(*P*<0.05), d 9 除8.0 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度组拟穴青蟹鳃中 Na⁺,K⁺-ATPase活性显著高于对照组(*P*<0.05)外, 其余组与对 照组差异不显著(*P*>0.05).



图1 铬胁迫对拟穴青蟹鳃中Ca^{2*}-ATPase(a)和Na^{*},K^{*}-ATPase(b)活性的影响

Fig. 1 Effect of chromium stress on Ca²⁺-ATPase (a) and Na⁺,K⁺-ATPase (b) activities in gills of *S. paramamosain*

2.2 铬胁迫对拟穴青蟹鳃、肝胰腺、肌肉中SOD活性的 影响

铬胁迫下拟穴青蟹鳃、肝胰腺、肌肉中SOD活性变化见 图2-a、b、c. 从图2-a中可以看出, 拟穴青蟹暴露于不同Cr⁶⁺浓 度组3 d后, 2.0 mg L⁻¹、4. 0mg L⁻¹、8.0 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度组拟穴 青蟹鳃中SOD活性均显著高于对照组(*P*<0.05), 5 d后0.5 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度组拟穴青蟹鳃中SOD活性达到最大值(*P*<0.05), 8.0 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度组也一直显著高于对照组(*P*<0.05), 1.0 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度组在胁迫9 d后达到最大值, 且显著高于对照 组(*P*<0.05).

从图2-b中可知, 拟穴青蟹暴露于不同Cr⁶⁺浓度组5 d后, 各Cr⁶⁺浓度组拟穴青蟹肝胰腺中SOD活性均显著高于对照组 (*P*<0.05),随后各处理组间趋于一致.

从图2-c中可以看出, 拟穴青蟹暴露于不同Cr6+浓度组7 d

16卷



酶活性的影响 Fig. 2 Effect of chromium stress on SOD activity in gills (a), hepatopancreas

3 讨论

3.1 铬胁迫对拟穴青蟹鳃中Ca²⁺-ATPase和Na⁺,K⁺-ATPase活性的影响

ATPase是一类重要的膜结合酶,有Na⁺,K⁺-ATPase、Ca²⁺-ATPase、Mg²⁺-ATPase、H⁺-ATPase等类型,它们在甲壳动物的 渗透调节、物质运输、能量转换以及信息传递方发挥着重要 作用^[12-13].研究表明,蟹类在低渗环境中鳃是激活离子吸收 的主要部位^[14], 鳃中各种ATPase在离子调控过程中发挥重要 作用, 重金属对ATPase活性的影响将危及机体细胞正常的代 谢功能, 如Na⁺,K⁺-ATPase活性受到抑制将使细胞外Na⁺顺离 子浓度梯度不可控地涌入细胞内, 改变细胞渗透压、细胞体 积, 严重时可导致细胞膜破裂, 破坏鳃渗透调节功能^[15-18].

Cr6+在水体中主要是以阴离子[CrO_]2-的形式存在, [CrO₄]²·阴离子能够借助无特异性阴离子通道快速通过细胞 膜,在细胞内被还原为Cr³⁺.本试验发现Cr⁶⁺对拟穴青蟹鳃 Ca2+-ATPase、Na+,K+-ATPase的抑制效应非常显著,暴露1 d后 即可观测到,但不呈现剂量效应.随着Cr6+胁迫时间延长,0.5 mg L-1、1.0 mg L-1 Cr6+浓度组Ca2+-ATPase的抑制效应逐渐减 弱, 而2.0 mg L⁻¹、4.0 mg L⁻¹、8.0 mg L⁻¹ Cr⁶⁺浓度组Ca²⁺-ATPase 仍呈显著抑制状态,这表明较高浓度的Cr6+对拟穴青蟹鳃中 Ca2+-ATPase抑制效应的持续性较强,这与相关研究结果较 相似. 研究表明, Cr⁶⁺胁迫可以降低金鳟 (Salmo gairdneri) 体 内Na+浓度和渗透压^[19],可造成鲤鱼(Cyprinus carpio)血浆 中Na+浓度上升, Cl-浓度下降^[20],导致了Na⁺,K⁺-ATPase活性 降低, 预示着Cr⁶⁺胁迫造成机体离子调控机制失衡. Cr⁶⁺胁迫 对弹涂鱼(Periophthalmus dipes)鳃、肾、肠内的总ATPase、 Na+, K+-ATPase、Ca²⁺-ATPase、Mg²⁺-ATPase和Ca²⁺/HCO₂-ATPase均被Cr⁶⁺所抑制,且Na⁺,K⁺-ATPase活性与在其组织 中Cr⁶⁺的积累浓度密切相关^[21].大弹涂鱼(Boleophthalmus dentatus)脑中Na⁺,K⁺-ATPase活性受Cr⁶⁺暴露浓度和时间的 影响显著,浓度越高和暴露时间越长,脑中Na+,K+-ATPase活 性抑制增强,暴露于Cr6+浓度为50 mg L⁻¹的水体中2 d,脑中 Na+,K+-ATP活性受抑率为18% [22].

Cr⁶⁺在机体内还原为Cr³⁺后,Cr³⁺可与ATP以共价键结合 形成结构稳定的核苷类似物CrATP,CrATP与ATPaseLATP 结合位点结合,对细胞膜Na⁺,K⁺-ATPase^[23-26]、Ca²⁺-ATPase^[27] 的活性产生了抑制作用.本试验除观测到Cr⁶⁺对鳃中Ca²⁺-ATPase、Na⁺,K⁺-ATPase活性的抑制作用外,还发现Cr⁶⁺胁迫 同样能导致拟穴青蟹鳃中Ca²⁺-ATPase、Na⁺,K⁺-ATPase活性 升高,这种升高也可能与活性氧对拟穴青蟹鳃中Ca²⁺通道 和Ca²⁺-ATPase的调控有关,因为在Cr⁶⁺胁迫对拟穴青蟹鳃 中SOD活性影响的研究中也发现了SOD活性的升高同Ca²⁺-ATPase活性的升高相互对应,也有可能拟穴青蟹鳃中Ca²⁺-ATPase活性的升高相互对应,也有可能拟穴青蟹鳃中Ca²⁺-ATPase、Na⁺,K⁺-ATPase活性的升高也伴随着具有类似鱼类鳃 氯细胞生理功能的细胞数量的增加.

3.2 铬胁迫对拟穴青蟹不同组织器官中SOD酶活性的 影响

重金属胁迫可诱导动物体内产生活性氧自由基,导致脂质过氧化^[28-30].为抵御过氧化损伤,机体启动各种抗氧化物质来维持正常的生理状态,SOD就是其中一种重要的抗氧化酶,它可以将O²⁻⁻转换成O₂和H₂O₂,H₂O₂可进一步被CAT等转化为H,O.

研究均证实Cr⁶⁺具有诱导基因突变的能力,Cr³⁺比较稳定,但仍可还原为Cr²⁺,并产生自由基^[31-32].Cr⁶⁺和Cr⁵⁺都是具有生物氧化活性的状态,能够进行氧化还原反应,并伴随活性氧的产生^[32-33],大量活性氧自由基(O²⁻⁻,•OH,H₂O₂等)的生成将引发一系列负面效应,造成机体氧化损伤、基因突变

⁽b) and muscle (c) of *S. paramamosain*

等[34]. 活性氧自由基还可以导致生物膜的脂质过氧化, 破坏 细胞膜及膜上酶的结构功能[35]. 试验发现Cr6+胁迫下拟穴青 蟹鳃、肝胰腺、肌肉中SOD活性均可被显著诱导升高,尤其 是鳃中SOD活性升高更为显著,这可能是鳃直接接触水体, 这样受外界环境污染的影响较大,再加上鳃较肝胰腺、肌 肉具有更高蓄积铬的能力所导致.已有研究证实,红树林蟹 (Ucides cordatus)的鳃具有较肝胰腺、肌肉更高的蓄积铬的 能力^[36]. 与鳃相比, 肝胰腺中SOD活性被诱导升高后很快即 可恢复,这可能与肝胰腺行使的生理功能有关,它是主要的 解毒器官和代谢中心. 高浓度的Cr6+(50 mg L-1)对克氏原螯 虾(Procambarus clarkii)抗氧化酶系统影响的研究发现,克 氏原螯虾肝胰腺中SOD活性对Cr⁶⁺的敏感性高于鳃中SOD活 性,且肝胰腺SOD活性受抑制程度较深^[10],这一结果与本研 究结果不同,可能与试验动物不同以及Cr6+浓度存在较大差 异有关.关于Cr6+对拟穴青蟹各组织器官中SOD活性影响的 作用机制,还有待进一步研究.

References

- Choi S, Wai O, Choi TWH, Li XD, Tsang CW. Distribution of cadmium, chromium, copper, lead and zinc in marine sediments in Hong Kong waters. *Environ Geol*, 2006, **51** (3): 455~461
- 2 Martello L, Fuchsman P, Sorensen M, Magar V, Wenning RJ. Chromium geochemistry and bioaccumulation in sediments from the lower Hackensack River, New Jersey. *Arch Environ Contam & Toxicol*, 2007, 53 (3): 337~350
- 3 Pouran HM, Fotova TA, Haghnia G Chamsaz M. A case study: Chromium concentration and its species in a calcareous soil affected by leather industries effluents. *World Appl Sci J*, 2008, 5 (4): 484~489
- 4 Bryan GW. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *Proc R Soc Lond B*, 1971, **177** (48): 389~410
- 5 Hare L. Aquatic insects and trace metals: Bioavailability, bioaccumulation, and toxicity. *Crit Rev Toxicol*, 1992, **22** (5/6): 327~369
- 6 Timmermans KR, Peeters W, Tonkes M. Cadmium,zinc, lead and copper in *Chironomus riparius* (Meigen) larvae (Diptera, Chironomidae): Uptake and effects. *Hydrobiologia*, 1992, **241** (2): 119~134
- Grabarczyk M, Korolczuk M, Tyszczuk K. Extraction and determination of hexavalent chromium in soil samples. *Annl Bioanal Chem*, 2006, 386 (2): 357~362
- 8 Jing G, Li Y, Xie L, Zhang RQ. Different effects of Pb²⁺ and Cu²⁺ on immune and antioxidant enzyme activities in the mantle of *Pinctada fucata*. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2007, 24 (2): 122~128
- 9 Liu XL (刘晓玲), Zhou ZL (周忠良), Chen LQ (陈立侨). Effect of cadmium on antioxidant enzyme activities of the juvenile *Eniocheir sinensis. Mar Sci* (海洋科学), 2003, **27** (8): 59~62
- 10 Tan SH (谭树华), Deng XY (邓先余), Jiang WM (蒋文明), He FL (贺凤丽). Effects of high level chromium on antioxidant enzyme system in gill and hepatopancreas of *Procambarus clarkia*. J Agro-Environ Sci (农业环境科学学报), 2007, 26 (4): 1356~1360
- 11 Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*, 1976, **72** (1/2): 248~254

- 12 Péqueux A, Gilles R. Na⁺ fluxes across isolated perfused gills of the Chinese crab *Eriocheir sinensis*. J Exp Biol, 1981, **92** (1): 173~186
- 13 Gilles R, Péqueux A, Bianchini A. Physiological aspects of NaCl movements in the gills of the euryhaline crab, *Eriocheir sinensis*, acclimated to fresh water. *Comp Biochem Physiol*, 1988, **90A** (1): 201~207
- 14 Siebers D, Lucu C, Winkler A, Grammerstorf U, Wille H. Active uptake of sodium in the gills of the hyperregulating shore crab *Carcinus* maenas. Helgoländer Meeresunters, 1986, 40 (1): 151~160
- 15 Silvestre F, Trausch G, Devos P. Hyper-osmoregulatory capacity of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) exposed to cadmium; acclimation during chronic exposure. *Comp Biochem Physiol*, 2005, 140C (1): 29~37
- 16 Tucker RK, Matte A. In vitro effects of cadmium and lead on ATPases in the gill of the rock crab, Cancer irrogatus. Bull Envirion Contam Toxic, 1980, 24 (2): 847~852
- Flik G, Jeanne H, Sjoerd E. Evidence for high-affinity Ca²⁺-ATPase activity and AT-driven Ca²⁺-transport in membrane preparations of the gill epithelium of the cichlid fish *Oreochromis mossambicus*. *J Exp Biol*, 1985, **119** (2): 335~347
- 18 Jernelov A, Beijer K, Soderland. General aspects of toxicology. In: Butler GC ed. Principles of Ecotoxicology. New York, USA: Wiley, 1978. 151~168
- 19 Van der PI, Laurier MBHK, van Eijk GJM. Respiration and osmoregulation in rainbow trout (*Salmon gairdneri*) exposed to hexavalent chromium at different pH values. *Aquat Toxicol*, 1982, 2 (1): 99~112
- 20 Subashini P, Manavalaramanujam R, Ramesh, M, Geetha N. Changes in selected biomarkers in freshwater teleost fish, *Cyprinus carpio* var. *communis* exposed to sublethal concentrations of chromium sulphate toxicity. *J Environ Sci Eng*, 2005, **47** (1): 65~68
- 21 Thaker J, Chaya J, Nuzhat S, Mittal R,Mansuri AP, Kundu R. Effects of chromium (VI) on some ion-dependent ATPases in gills, kidney and intestine of a coastal teleost, *Periophthalmus dipes. Toxicology*, 1996, 112 (2): 237~244
- 22 Kundu R, Lakshmi R. Effect s of Cr (VI) on ATPases in the brain and muscle of mudskipper, *Boleophthalmus dentatus*. *Bull Environ Contam Toxico1*, 1995, 55 (5): 723~729
- Pauls H, Bredenbröcker B, Schoner W. Inactivation of (Na⁺,K⁺)-ATPase by chromium (III) complexes of nucleotide triphosphates. *Eur J Biochem*, 1980, **109**: 523~533
- 24 Gantzer ML, Klevickis C, Grisham C. Interaction of Co (NH₃)₄ATP and Cr (H₂O)₄ATP with CaATPase from SR and Na, K-ATPase from kidney medulla. *Biochemistry*, 1982, **21** (17): 4083~4088
- 25 Hamer E, Schoner W. Modification of the E₁ATP binding site of Na⁺/ K^{*}-ATPase by the chromium complex of adenosine 5⁻-β, γ-methylene triphosphate blocks the overall reaction but not the partial activities of the E2 conformation. *Eur J Biochem*, 1993, **213** (2): 743~748
- 26 Linnertz H, Thönges D, Schoner W. Na⁺/K⁺-ATPase with a blocked E₁ATP site still allows backdoor phosphorylation of the E₂ATP site. Eur

J Biochem, 1995, 232 (2): 420~424

- 27 Otacilio CM, Priscila FR, Barrabin H. Inhibition of plasma membrane Ca²⁺-ATPase by CrATP. LaATP but not CrATP stabilizes the Ca²⁺occluded state. *Biochim Biophys Acta*, 2005, **1708** (3): 411~419
- 28 Pan LQ, Zhang HX. Metallothionein, antioxidant enzymes and DNA strand breaks as biomarkers of Cd exposure in a marine crab, *Charybdis japonica. Comp Biochem Physiol*, 2006, 144C (1): 67~75
- 29 Brouwer M, Brouwer TH. Biochemical defense mechanisms against copper-induced oxidative damage in the blue crab, *Callinectes sapidus*. *Arch Biochem Biophys*, 1998, **351** (2): 257~264
- 30 Company R, Serafim A, Cosson R, Camus L, Shillito B, Fiala-Medionia, Bebianno MJ. The effect of cadmium on antioxidantresponses and the susceptibility to oxidative stress in the hydrothermal vent mussel *Bathymodiolus azoricus. Mar Biol*, 2006, **148** (4): 817~825
- 31 Sala LF, Rizzotto MA, Frascaroli MI, Palopoli CM, Signorella SR. Contaminacion ambiental por el metal de transicion cromo. Estamos frente a un serio problema ecológico? *Quim Nova*, 1995, **18** (5): 468~474

- 32 Stohs SJ. Synthetic pro-oxidants: Drugs, pesticides and other environmental pollutants. In: Ahmad S ed. Oxidative Stress and Antioxidant Defenses in Biology. New York, USA: Chapman & Hall, 1995. 117~180
- 33 Jones P, Kortenkamp A, O'Brien P, Wang G, Yang G. Evidence for the generation of hydroxyl radicals from a chromium (V) intermediate isolated from the reaction of chromate with glutathione. *Arch.Biochem Biophys*, 1991, **286** (2): 652~655
- Halliwell B, Gutteridge JMC. Free Radicals in Biology and Medicine,
 3rd ed. New York, USA: Oxford, 1999
- 35 Cecchini R, Aruoma OI, Halliwell B. Liposomes or from DNA damage by bleomycin or phenanthroline. Artefacts in the thiobarbituricacid test. *Free. Radic Res Comms*, 1990, **10** (2): 245~258
- 36 José Dias Corrêa Jr, da Silva MR, da Silva ACB, de Lima SMA, Malm O, Allodi S. Tissue distribution, subcellular localization and endocrine disruption patterns induced by Cr and Mn in the crab Ucides cordatus. Aquat Toxicol, 2005, 73 (2): 139~154

欢迎订阅2011年《中国生态农业学报》

《中国生态农业学报》由中国科学院遗传与发育生物学研究所和中国生态经济学会主办,中国科学院主管,科学出版社出版。系中文核心期刊、中国科技核心期刊,被美国化学文摘、国际农业生物学文摘、哥白尼索引、美国乌利希国际期刊指南以及中国科学引文数据库、中国学术期刊网络出版总库等检索系统和数据库收录。荣获第三届、四届全国农业优秀期刊一等奖和首届北方优秀期刊奖,被评为2009年中国北方优秀期刊,连续三届获得河北省优秀期刊奖。

《中国生态农业学报》主要报道农业生态学、生态学、农业资源与环境保护、农业生态经济学及生态农业建 设等领域创新性研究成果。适于从事农业生态学、生态学、生态经济学以及环境保护等领域科技人员、高等院校有 关专业师生,农业及环境管理工作者和基层从事生态农业建设的技术人员阅读与投稿。

《中国生态农业学报》国内外公开发行,国内刊号CN13-1315/S,国际刊号ISSN1671-3990。双月刊,国际标准 大16开本,192页,每期定价35元,全年210元。邮发代号:82-973,全国各地邮局均可订阅。漏订者可直接汇款至编 辑部补订(需另加邮资24.00元)。

地址: (050021) 河北省石家庄市槐中路286号 《中国生态农业学报》编辑部 电话: (0311) 85818007 传真: (0311) 85815093 网址: http://www.ecoagri.ac.cn E-mail: editor@sjziam.ac.cn