研究简报

DOI号：10.3724/SP.J.0000.2008.40602

镧暴露对鲤鱼脑和肌肉中酶和脂质过氧化水平的影响

张贵生
（菏泽学院生命科学系，菏泽　274015）

THE EFFECT OF LANTHANUM ON THE ENZYMES AND LIPID PEROXIDATION IN BRAIN AND MUSCLE OF CYPRINUS CARPIO LINNAEUS

ZHANG Gui-Sheng
（Department of Life Science, Heze College, Heze　274015）

关键词：镧；鲤鱼；酶活性；脂质过氧化；同工酶
Keywords: Lanthanum; Cyprinus carpio Linnaeus; Enzyme activities; Lipid Peroxidation; Isozymes
中图分类号：X530.225　　文献标识码：A　　文章编号：1000-3207(2008)04-0602-05

稀土元素是镧系元素和钇、钪两种元素的统称。自 20世纪 70年代人们揭示了稀土元素的作用效果后，稀土元素已被广泛应用于农、畜牧及水产养殖业。农业上适当使用微量稀土，能促进植物生长发育，作物增产。饲料里添加稀土，能促进畜、禽和水产养殖动物的生长，提高饲料利用率[1]等。但随着稀土元素的广泛应用，必定导致大量的可溶性稀土进入水生生态环境，因此研究稀土对水体的影响，特别是对水生动植物有机体的长期潜在影响，将显得极为重要。过氧化物酶（POD）、超氧化物歧化酶（SOD）广泛存在于鱼体中，是鱼体抗氧化作用的重要酶类，过氧化脂质（LPO）含量反映着机体脂质过氧化物形成速率的强度，SOD、POD活性以及 LPO含量都可以用来评价污染物对水生生物的影响[2]。目前稀土元素对动物 POD、SOD和 LPO影响的研究结果，主要是从哺乳类得来的，而对鱼类抗氧化物酶活性及脂质过氧化水平的研究则少见报道，特别是长期暴露的影响则未见报道。同工酶是在分子水平上检测有机体生理、生化变化非常灵敏的指标，能迅速反映出机体代谢过程的改变，是探索稀土元素对生物体代谢过程影响方式的重要手段。但至今为止，国内外尚未见稀土元素对鱼类超氧化物歧化酶和酯酶（EST）同工酶影响的报道。因此，本实验选择了养殖意义较大的鲤鱼为实验对象，将鲤鱼长期暴露于不同浓度的氯化镧溶液中 120d，深入研究了稀土元素镧对鲤鱼脑、肌肉 POD、SOD活性、LPO含量以及 SOD、EST同工酶的影响，期望能为稀土元素的科学应用，探索稀土元素的作用机理，评价稀土元素对水生生物及水环境的潜在影响提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　实验动物和试剂　鲤鱼由菏泽市刘寨乡刘寨种鱼养殖厂提供，体长（12.00±0.30）cm，体重（20.25±3.59）g。$LaCl_3$，国产分析纯。

1.2　实验动物的处理　实验前，将鲤鱼暂养在无离子水中，驯养 1周，再进行预实验。根据 96h $LaCl_3$的半致死浓度（11.49mg/L），设定 0.01、0.1、2.5mg/L等 4个处理组浓度及 1个无离子水对照组。每组处理液均为 10L，鲤鱼 10条。用充氧机充氧，每日上午喂金鱼饵料（不含稀土元素）1次，每 2天换水 1次，水温 10—15℃。暴露实验共进行 120d。然后从每个处理组各取鲤鱼 6条（3条用于酶活力测定，3条用于同工酶分析），擦干后测量体长，体重，分离出脑和肌肉。

1.3　酶液的提取　测定酶活性的提取液为 0.65%的生理盐水，测定同工酶的提取液为 Tris-甘氨酸电极缓冲液。组织质量与提取液体积之比为 w(g)∶v(mL)＝1∶4。匀浆、离心（4℃，10000r/min，20min）上清液置于 4℃的冰箱内备用。

1.4　蛋白质含量和酶活性的测定　蛋白质测量采用考马斯亮蓝法[3]，以牛血清白蛋白为标准。SOD酶活性的测定采用邻苯三酚法[4]。活力单位定义为每毫克蛋白，每分钟抑制邻苯三酚自氧化速率达 50%时的酶量为一个活力单位。

POD酶活性的测定采用愈创木酚法[5]，活力单位定义为每分钟 A_{470}变化 0.01为 1个过氧化物酶活力单位。

LPO的测定采用硫代巴比妥酸法[6]，按如下公式计算 LPO含量。

过氧化脂质（LPO）含量（μmol/mg pro）

收稿日期：2007-10-31；修订日期：2008-03-29
基金项目：菏泽学院动物学重点实验室课题资助
通讯作者：张贵生（1972—），男，汉族，山东定陶人；讲师，硕士；主要从事动物生态学方面的研究。E-mail: zgz2007hzxy@126.com

$=(A_{532}-A_{600})\times V/155\times M$

V为上清液, 即反应离心之后的上清液; 155为 1mmol三甲川在 532nm处的摩尔吸收系数; M为反应液内相对标准牛血清蛋白的蛋白质相对含量。

1.5 数据处理　利用 SPSS软件, 求出平均值 ±标准误差, 并在各实验处理组与对照组之间进行 t检验, 取显著性水平为 0.05。

1.6 超氧化物歧化酶(SOD)和酯酶(EST)同工酶的电泳和染色　采用不连续聚丙烯酰胺凝胶电泳法, 电泳液为 0.05mol/L Tris-甘氨酸(pH 8.3)缓冲液, 用前稀释 10倍。SOD、EST分离胶质量分数分别为 8%、7.5%, 浓缩胶质量分数均为 5%, 每点样孔点样 10μL。电泳完毕后, SOD同工酶染色采用活性负染色法[7]。EST同工酶染色按文献[8]进行。

2 结　果

2.1 镧对脑和肌肉超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性的影响

表 1为鲤鱼暴露于 $LaCl_3$溶液 120d后, 各处理组脑和肌肉 SOD活性值。从中可看出, 除 0.1mg/L组脑 SOD活性值略高于对照组外, 其余各浓度组脑 SOD活性值均低于对照, 但经 t检验, 差异不显著($p>0.05$)。肌肉 SOD活性值, 随 $LaCl_3$浓度的升高而降低, 但均显著低于对照, 即受到了明显的抑制作用($p<0.05$或 $p<0.01$)。这说明在镧离子的长期作用下, 镧对脑、肌肉 SOD活性的影响表现出了一定的组织差异性。

表 1　La^{3+}对鲤鱼脑和肌肉 SOD活性的影响

Tab.1　The effect of La^{3+} on activity of SOD in brain and muscle of C. carpio ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

La^{3+}浓度 Concentration(mg/L)	SOD酶活力 Enzyme activity(U/mg pro)	
	脑 Brain	肌肉 Muscle
对照 Control	105.321±11.006	104.920±25.942
0.01	101.710±18.715	50.180±16.042*
0.1	115.690±5.864	34.788±10.439*
2	87.004±9.363	17.948±10.802**
5	77.200±28.899	5.230±1.826**

*表示与对照组相比差异显著($p<0.05$); **差异极显著($p<0.01$); 下同

* difference was remarkable ($p<0.05$); ** difference was extremely remarkable ($p<0.01$); The same as follows

从表 2可看出, 脑 POD活性值随 $LaCl_3$浓度的升高而降低, 但均显著高于对照($p<0.05$), 而且 0.01mg/L组 POD活性值最高, 是对照组的 3.295倍。肌肉 POD活性值在 0.01、0.1mg/L组也显著高于对照($p<0.05$)。而且, 0.1mg/L组 POD活性值最高, 是对照组的 1.790倍。当 $LaCl_3$浓度升至 2mg/L、5mg/L时, POD活性值则由略高于对照转化为略低于对照, 但与对照组相比, 经 t检验, 相差并不显著($p>0.05$)。这说明在镧离子的长期作用下, 镧对脑和肌肉 POD活性的影响也表现出了一定的组织差异性, 较低浓度的镧能显著促进脑、肌肉 POD的活性。

表 2　La^{3+}对鲤鱼脑和肌肉 POD活性的影响

Tab.2　The effect of La^{3+} on activity of POD in brain and muscle of C. carpio ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

La^{3+}浓度 Concentration(mg/L)	POD酶活力 Enzyme activity(U/mg pro)	
	脑 Brain	肌肉 Muscle
对照 Control	52.641±7.167	49.724±12.989
0.01	173.481±28.135*	73.921±7.899*
0.1	158.352±16.148*	89.015±5.716*
2	107.716±4.539*	52.718±9.99
5	79.955±10.430*	33.536±9.894

2.2 镧对脑和肌肉过氧化脂质(LPO)水平的影响

从表 3可看出, 0.01、0.1mg/L组, 脑 LPO含量低于或等于对照组 LPO含量, 且与对照组相比无显著性差异($p>0.05$)。肌肉 LPO含量显著低于对照组 LPO含量($p<0.05$); 2mg/L组, 脑、肌肉 LPO含量均略高于相应对照组 LPO含量; 5mg/L组, 脑、肌肉 LPO含量均显著高于相应对照组 LPO含量($p<0.05$)。这说明在镧离子的长期作用下, 低浓度的镧能抑制脑、肌肉脂质过氧化, 但较高浓度的镧, 却能促进脂质过氧化, 表现出了对细胞膜的损伤作用。

表 3　La^{3+}对鲤鱼脑和肌肉 LPO含量的影响

Tab.3　The effect of La^{3+} on content of LPO in brain and muscle of C. carpio ($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

La^{3+}浓度 Concentration(mg/L)	LPO浓度 content of LPO(μmol/mg pro)	
	脑 Brain	肌肉 Muscle
对照 Control	0.0042±0.0005	0.0026±0.0002
0.01	0.0038±0.0004	0.0021±0.0003*
0.1	0.0042±0.0001	0.0021±0.0001*
2	0.0053±0.0007	0.0027±0.0003
5	0.0068±0.0012*	0.0044±0.0004*

2.3 镧对脑和肌肉超氧化物歧化酶(SOD)和酯酶(EST)同工酶的影响

图 1、图 2可看出, 脑、肌肉对照组及 $LaCl_3$各处理组均只有 SOD1一条酶带。除 0.1mg/L组脑 SOD1酶带强度与对照组无显著差别外, 0.01、2、5mg/L组, 脑 SOD1酶带强度均显著弱于对照。肌肉 SOD1酶带强度随镧浓度的升高而趋于减弱, 但均弱于对照。这与测定的脑和肌肉 SOD酶活性变化规律基本一致。这说明镧不能分别引起脑、肌肉 SOD同工酶酶带数目发生变化, 但能引起 SOD同工酶酶带强度发生变化。

图 3脑 EST同工酶酶谱可看出, 0.1、2、5mg/L组与对照组一样都有 4条酶带。从正极到负极依次为 EST1、EST2、EST3、EST4。而 0.01mg/L组, 缺少了 EST3酶带。从酶带强

弱看，各处理组与对照组相比，EST1和EST4酶带强弱无变化；0.1、2.5mg/L组EST2酶带，较对照组和0.01mg/L组弱；虽然0.01、0.1、2.5mg/L组，EST3酶带由无、到有、再变强，但其强度仍明显弱于对照。

从图4肌肉EST同工酶酶谱可看出，酶带共出现6条，从正到负极依次为EST1-EST6。对照组及0.01、2mg/L组都出现5条酶带，而0.1和5mg/L组均出现了6条酶带，新出现了EST5酶带。从酶带强弱看，EST6酶带，0.1mg/L组活性最弱。各LaCl3处理组EST4酶带活性强度基本相同，但均强于对照。随镧浓度的升高，EST3酶带强度趋于减弱，但均强于对照。

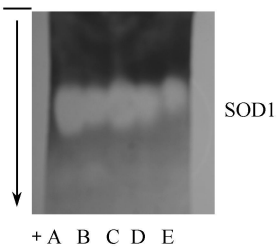

图1 鲤鱼脑中SOD同工酶电泳图谱

Fig.1 Electrophoretogram of SOD isozymes expressed in brain of C. Carpio

A、B、C、D、E分别代表对照组、0.01、0.1、2.5mg/L组；下同

A, B, C, D, E means control, 0.01, 0.1, 2, 5mg/L group respectively. The same as follows

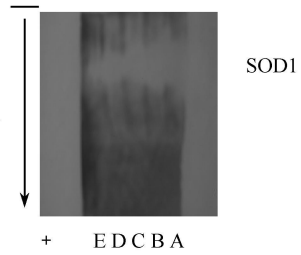

图2 鲤鱼肌肉中SOD同工酶电泳图谱

Fig.2 Electrophoretogram of SOD isozymes expressed in muscle of C. carpio

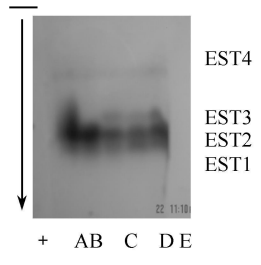

图3 鲤鱼脑中EST同工酶电泳图谱

Fig.3 Electrophoretogram of EST isozymes expressed in brain of C. carpio

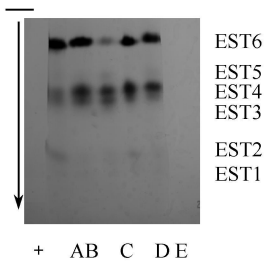

图4 鲤鱼肌肉中EST同工酶电泳图谱

Fig.4 Electrophoretogram of EST isozymes expressed in muscle of C. carpio

总之，镧能使脑酯酶酶带缺失，能使肌肉产生新的酯酶酶带，能分别使脑、肌肉酯酶酶带强度发生明显变化。

3 讨 论

目前的研究认为鱼类对外源物进行生物转化的过程中，可能生成危害性更大的活性氧中间体（ROIs），如·OH^-、·O_2^-、和H_2O_2，这些自由基若不及时消除，就会对机体造成氧化胁迫，引起酶失活、脂质过氧化（LPO），并进而引起DNA损伤及癌症等疾病[9]。SOD、POD都是组成抗氧化防御系统的重要酶类。鱼体中SOD是一类金属酶，含Cu、Zn原子，能催化超氧阴离子自由基（O_2^-）转化为过氧化物，POD等酶类又进一步催化组织中低浓度的过氧化物氧化其他底物，清除过氧化物和H_2O_2，从而降低自由基对机体的损害作用。

目前的研究还认为，稀土元素也具有抗氧化作用，其作用机制主要是从体外及哺乳类得来。有研究表明，稀土元素可能与SOD的作用相似，具有清除·OH^-、·O_2^-的作用[10,11]。较低浓度的稀土元素也能有效的防止膜脂质过氧化[12]。Zeng F[13]认为，La^{3+}是通过减少H_2O_2和O_2^-而减少·OH^-的生成进而缓解了膜脂质过氧化。关于稀土离子对SOD、POD的影响，有研究认为具有低促高抑的特点[14,15]，饲喂毒性最低，静脉注射毒性最高[16]，这可能与稀土离子在体内的累积量有关。冯志祥等[17]研究指出，Zn^{2+}、Cu^{2+}-SOD的活性并不受稀土元素的影响，但稀土原子可通过与活性中心外的天冬氨酸和谷氨酸残基配对而间接影响到Cu(Ⅱ)的配位环境，使之由菱形对称向轴对称方向转变，进而影响了SOD的活性。稀土元素对POD的作用机制目前尚不清楚。

本实验的研究结果表明，La对鲤鱼肌肉中SOD活性有明显的抑制作用，而对脑中SOD影响不显著，这与陈莹等[18]“La^{3+}对鲫鱼肝脏SOD酶活性的影响，在2—9d表现为抑制，第18天则表现为促进”的研究结果不相一致。原因可能与La^{3+}在脑、肌肉中的累积量有关。梁涛等[19]报道，鱼对La的累积量随水相游离La^{3+}浓度增高、暴露时间增长而增加。由于鲤鱼长期（120d）暴露在La^{3+}溶液中，肌肉中可能累积了大量的镧，导致肌肉中SOD构向发生变化，使局部结构变得松散，从而使SOD活性值降低，而且La^{3+}浓度越高，累积量越大，对SOD的抑制作用越强。而脑中镧的累积量相对较少，所以对脑SOD影响不显著。本研究的结果还表明，La^{3+}对鲤鱼脑和肌肉LPO具有低浓度抑制，高浓度促进的作用。原因可能是，较低浓度的镧具有清除自由基的作用。Wu G, et al[20]报道，Ce^{3+}能抑制Cd^{2+}诱导的银鲫DNA的损伤，原因是由于Ce^{3+}抑制了Cd^{2+}对DNase的激活作用，解除了Cd^{2+}对过氧化氢酶、POD及SOD的抑制作用，减少ROS的累积。本实验中，虽然鲤鱼长期暴露于La^{3+}溶液中，SOD活性值降低，减弱了对·O_2^-的清除作用，但较低浓度的镧可能具有清除·O_2^-、提高POD活性、减少ROS累积的作用。因此较低浓度组脑和肌肉LPO值不但未升高，而且还显著抑制了肌肉的脂质过氧化。较高浓度组，由于镧的累积量加大，肌肉SOD活性受到了显著抑制，对POD的促进作用减弱，清除·O_2^-的作用消失，导致了ROS的累积，从而使肌肉的膜脂质过氧化加重。脑的膜脂质过氧化加重，可能是镧的累积直接导致了细胞膜的损伤。这提示我们，稀土元素在

农、畜牧、水产等方面的长期应用, 有可能导致水环境的污染, 而最终危害人类。关于稀土元素与活性氧自由基的积累和 SOD、POD等酶的关系等都需要做进一步的深入研究, 以探索稀土元素的作用机制。四个处理组及对照组的 SOD同工酶谱相似, 只是活性发生了变化, 说明 La^{3+}并不能影响 SOD酶的表达。

酯酶 (EST)是一种重要的诊断酶, 广泛存在于动物的可溶性部分。它能催化水解大量非生理性存在的脂类化合物, 包括一些药物, 有去毒作用, 在酯代谢和生物膜的结构和功能方面发挥重要作用。有文献表明, 酯酶同工酶具有多态性, 由染色体上不同基因或共显性等位基因译制[21], 酯酶同工酶谱的变化灵敏地反映了机体代谢过程的改变。但关于稀土元素对鱼类 EST同工酶的影响至今未见报道。从本实验结果看, 镧不仅能使脑和肌肉 EST同工酶酶带数量发生变化, 而且也能使 EST同工酶酶带活性发生变化。从分子水平上说明了镧能明显改变 EST同工酶的基因表达。因此可以以 EST同工酶的变化作为稀土元素对鱼类毒性胁迫的一项生化指标来监测稀土元素镧对环境的污染状况。

总之, 通过本研究表明, 在镧离子的长期暴露下, 对鲤鱼脑和肌肉中, SOD、POD和 LPO均表现出了一定的组织差异性。La^{3+}对 SOD主要表现为抑制, 对 POD主要表现为激活, 对 LPO主要表现为低抑高促。La^{3+}对鲤鱼脑、肌肉 SOD和 EST同工酶主要表现为酶带活性的变化, 但对 EST同工酶酶谱的表达也有影响。

致　谢:

实验期间, 菏泽学院生命科学系孙讯博士、教授, 楚德昌教授, 朱道玉、邓振旭副教授, 张红梅硕士给予了大量的帮助, 谨致谢意。

参考文献:

[1] Xiao S L, Hu G S, Ning H M. The research survey of rare earth used in agriculture in Hunan [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2002(special issue): 44—46 [肖苏林, 胡改善, 宁慧敏. 湖南稀土农用研究概况. 湖南农业科学, 2002(特刊): 44—46]

[2] Xu L H, Zhang Y Y, Chen Y Y. The advances of molecular ecotoxicology and its significance in water environment protection [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1995, **19**(2): 174—184 [徐立红, 张甬元, 陈宜瑜. 分子生态毒理学研究进展及其在水环境保护中的意义. 水生生物学报, 1995, **19**(2): 174—184]

[3] Zhao Y H, Gao X Y. Experimental course of biochemical technology [M]. Guangzhou: Huanan University of Science and Technology Press, 2004, 40—42 [赵亚华, 高向阳. 生物化学实验技术教程. 广州: 华南理工大学出版社. 2004, 40—42]

[4] Li Y L, Zhang M. The measurement of the SOD activity via pyrogallol auto-oxidation [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2000, **10**(6): 673 [李永利, 张淼. 邻苯三酚自氧化法测定 SOD活性. 中国卫生检验杂志, 2000, **10**(6): 673]

[5] Zhao Y H, Gao X Y. Experimental course of biochemical technology [M]. Guangzhou: Huanan University of Science and Technology Press, 2004, 151—153 [赵亚华, 高向阳. 生物化学实验技术教程. 广州: 华南理工大学出版社. 2004, 151—153]

[6] Li H S. Principle and technology of biotechnology physiological experiments in plant [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000, 260—261 [李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社. 2000, 260—261]

[7] Niu Y, Xue J L, Xie Y P. Changes of superoxide dismutase and catalase in dendrolimus tabulaeformis infected by beauveria bassiana [J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2005, **11**(2): 182—186 [牛宇, 薛皎亮, 谢映平. 油松毛虫感染白僵菌后超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的变化. 应用与环境生物学报, 2005, **11**(2): 182—186]

[8] Hu N S, Wan X G. Isozyme technology and application [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1985, 96—104 [胡能书, 万贤国. 同工酶技术及其应用. 长沙: 湖南科学技术出版社. 1985, 96—104]

[9] Winston G W, Di Giulio R T. Prooxidant and antioxidant mechanism in aquatic organism [J]. Aquat Toxicol, 1991, **24**: 134—152

[10] Pang X, Wang D H, Peng A. Inhibition effects of rare earth nitrates on superoxide anion radical [J]. Environmental Chemistry, 2001, **20**(6): 557—560 [庞欣, 王东红, 彭安. 稀土离子对超氧自由基阴离子生成的抑制作用. 环境化学, 2001, **20**(6): 557—560]

[11] Li J L, Wu W D, Wang Q E. Inhibition of rare earth chlorinate on Ni_2O_3-induced DNA strand breakage and effect on oxy-radicals [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2000, **18**(1): 91—93 [栗建林, 吴卫东, 王起恩. 稀土对氧化镍致细胞 DNA损伤及对氧自由基作用的影响. 中国稀土学报, 2000, **18**(1): 91—93]

[12] Huang P L, Hong F, Chen Y, et al. Effects of Ln^{3+} on lipid peroxidation of rat liver nuclei [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2002, **20**(50): 447—449 [黄沛力, 红枫, 陈怡, 等. 稀土离子对大鼠肝细胞核脂质过氧化的影响. 中国稀土学报, 2002, **20**(50): 447—449]

[13] Zeng F, An Y, Zhang H, et al. The effects of La(Ⅲ) on the peroxidation membrance lipids in wheat seeding leaves under osmotic stress [J]. Biol Trace Elem Res, 1999, **69**(2): 141—150

[14] Li S L, Nie Y X, Huang K X. Effect of Rare Earth on the antioxidation ability of gastric mucosa in rats [J]. Journal of Jilin Military Medical College, Fourth Military Medical University, 2001, **23**(1): 3—4 [李树蕾, 聂毓秀, 黄可欣. 稀土对大鼠胃粘膜抗氧化能力的影响. 第四军医大学吉林军医学院学报, 2001, **23**(1): 3—4]

[15] Wang C R, Min L, Xie Y, et al. Effect of rare earth holmium ions on activities of antioxidant enzymes in mice livers [J]. Journal of Health Toxicology, 2004, **18**(4): 243—245 [汪承润, 闵莉, 谢影, 等. 稀土钬离子对小鼠肝脏抗氧化酶活力的影响. 卫生毒理学杂志, 2004, **18**(4): 243—245]

[16] Prakash Kumar B, Shivakumar K. Alterations in collagen metabolism and increased fibroproliferation in the heart in cerium-treated rats [J]. Bio Trace Elem Res, 1998, **63**(1): 73—79

[17] Feng Z X, Zhang S G, Liu Q M, et al. Effects of rare earth nitrates

on Cu(Zn)-SOD in cattle blood[J]. Chemical Journal of Chinese Univercities, 1995, **16**(7): 993—996[冯志祥, 张树功, 刘启明, 等. 稀土离子与牛血 Cu(Zn)-SOD的作用. 高等学校化学学报, 1995, **16**(7): 993—996]

[18] Chen Y, Cao X D, Wang X R. The effects of lanthanum and its complex compound (la-edta) on enzymes activities in fish liver [J]. Environmental Chemistry, 2000, **19**(1): 37—41[陈莹, 曹心德, 王晓荣. 镧及其配合物对鱼体肝脏中酶活性的影响. 环境化学, 2000, **19**(1): 37—41]

[19] Liang T, Wang L J, Zhang S. Accumulation of Lanthanum with various species in oryzias latipes fish body [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2001, **19**(5): 443—446 [梁涛, 王立军, 章申, 等. Oryzias latipes鱼体对不同形态镧的积累特征. 中国稀土学报, 2001, **19**(5): 443—446]

[20] Wu C, Hong F, Liu C. Regulative mechanism of Ce^{3+} relieves DNA damage caused by Cd^{2+} in the kidney of silver crucian carp [J]. Biol Trace Elem Res, 2006, **113**: 231—246

[21] Wu L Z, Wang Z X. A preliminary study on the polymorphisms of isozymic loci in grass carp (Ctenopharyngodon idellus) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1988, **12**(2): 116—124 [吴力钊, 王祖熊. 草鱼同工酶基因座位多态性的初步研究. 水生生物学报, 1988, **12**(2): 116—124]