

改性炭 K 对养猪场污水的净化作用

陈艳芳, 林斌斌, 王飞鹏, 黄婧, 吴若菁

(福建师范大学生命科学学院, 福建 福州 350108)

摘要: 利用泥鳅作为指示生物, 以曝气 3 d 的自来水为对照, 研究泥鳅在 11.1% 浓度的原污水和改性炭 K 处理过的原污水中, 分别染毒处理 12、36、60、84 h 后泥鳅肝脏 SOD、GOT 酶活力的变化。结果表明: 浓度为 11.1% 的原污水对泥鳅染毒处理 12~36 h 后 SOD 和 GOT 酶活力呈现上升趋势, 随着染毒处理时间的增加, 泥鳅体内的 SOD 和 GOT 酶活力的逐渐降低; 而改性炭 K 处理过的原污水和对照组对泥鳅处理的各个时段相比较, 酶活力变化情况基本相同。11.1% 浓度的原污水处理对泥鳅的 SOD 和 GOT 酶活性影响与对照相比, *t* 检验结果为差异显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$)。研究表明养猪场污水对泥鳅具有毒性作用, 因而影响到其生理生化指标的变化, 而改性炭 K 对污水则有较好的净化作用。

关键词: 污水; 泥鳅; 生理生化指标; 指示生物

中图分类号: X 835; Q 953

文献标识码: A

Determination of purification capacity of carbon K on pig farm wastewater

CHEN Yan-fang, LIN Bin-bin, WANG Fei-peng, HUANG Jing, WU Ruojing

(College of Life Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350108, China)

Abstract: In this experiment, loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) was used as the biological indicator to evaluate the capacity of carbon K in purifying wastewater from a pig farm. Using tap water, which had been exposed in open air for 3 days, as the control, loaches were fed in water containing 11.1% pig farm wastewater with or without carbon K. The SOD and GOT activity in the liver of the loaches were determined after 12h, 36h, 60h and 84h. The results showed that after 12 to 36h in the contaminated water, there was an upward trend on the activities of SOD and GOT in the loaches. The activities gradually decreased with contact time. In contrast, the loaches that were raised in either the tap water or contaminated water with carbon K had a similar change in those enzymatic activities during the same time period. The *t*-test indicated a significant difference on SOD and a highly significant difference on GOT activities between the two groups and the contaminated water group. It was concluded that the pig farm wastewater was toxic to loach affecting its physiology and biochemistry, and that carbon K could be an effective agent used to purify the wastewater from a pig farm effluent.

Key words: polluted water; *Misgurnus anguillicaudatus*; physiology; biochemistry; biological indicator

当前水环境的恶化和水资源的短缺已成为世人共同关注的全球性问题, 随着养殖业的不断发展, 随之带来的环境问题也日益突出。养殖场污水排放到环境中, 其中的 N、P 营养元素会使得藻类和水生杂草不正常生长, 水中溶解氧含量下降, 导致水体富营养化^[1], 破坏水生生态系统, 引起水生动植物死亡、腐烂, 在许多地区, 畜禽养殖污水排放量已超过居民生活、乡镇工业等污染物排放量, 成为许多重要水源地、河流、水库严重污染和富营养化的主要原因。

生物监测是指利用群落、种群或生物个体对环

境污染产生的反应, 通过生物学的方法, 从生物学角度对环境污染状况进行监测和评价的一种技术^[2]。生物监测克服了理化监测的局限性和连续取样的繁琐性, 能较好地反映出环境污染物协同作用对生物产生的综合效应, 可以对低浓度甚至是痕量污染物迅速做出反应, 显示出可见的症状, 可在早期发现污染并及时预报^[3]。鱼类是对环境因子变化比较敏感的生物。泥鳅是一种生命力旺盛的淡水鱼, 广泛分布且容易得到, 因此, 泥鳅已成为一种较为理想的用于毒性检测的指示生物。如: 以泥鳅

收稿日期: 2010-01-02 初稿; 2010-05-29 修改稿

作者简介: 陈艳芳 (1988-), 女, 在读本科生, 研究方向: 生物科学

通讯作者: 吴若菁 (1955-), 女, 副教授, 研究方向: 细胞遗传学

基金项目: 福建省科技计划重点项目 (2007N0042); 福州市科技计划重点项目 (2006Z039); 福建师范大学生物学国家级实验教学示范中心课题

作为指示生物, 通过泥鳅红细胞核的遗传损伤监测水质污染^[4], 利用泥鳅 DNA 甲基化水平监测水体重金属的毒性^[5]; 利用泥鳅作为指示生物的亚硝酸盐的毒性等^[6]。但是, 目前利用泥鳅生理生化的指标来监测水质的报道较少, 本文通过研究泥鳅肝脏的 SOD、GOT 指标的变化来监测改性炭 K 对养猪场污水的净化作用^[7-8], 旨在探讨利用指示生物的生理生化的指标来监测水质的生物监测新方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 购自福州上街镇金屿村永辉超市, 选取体质健康, 平均体长 10.0~12.0 cm, 平均体重 14.0~15.0 g。污水取自福州市闽侯县马保村养猪场的猪圈排污口。改性炭 K 由福建师范大学生命科学学院遗传实验室提供, 药品均是国产或进口分析纯。

1.2 试验方法

1.2.1 污水氨氮含量和 COD 值的测定方法 将取回的养猪场污水经过沉淀, 用多层纱布将残渣过滤, 用纳氏试剂光度法^[9]在 752 紫外光栅分光计(上海精密科学仪器有限公司生产)上用 420 nm 波长测定原污水的氨氮含量。用重铬酸钾法测定原浓度污水的 COD 值^[10], 结果表明污水中的氨氮含量为 706.56 mg·L⁻¹, COD 值为 7 360 mg·L⁻¹。1.2.2 泥鳅半致死浓度的确定 泥鳅先在曝气 3 d 的自来水中暂养 1 周^[10,11], 根据改良寇氏法^[11]的原理, 在预试验的基础上, 按原污水浓度的 6.4%、7.7%、9.3%、11.1%、13.4%、16.1%、19.2% 来配试验用的污水。按上述浓度分别配制成 1 000 mL 置于统一规格的水桶中, 另取 1 000 mL 已曝气 3 d 的饮用自来水作为对照组, 每个处理 3 个重复, 各放 10 条泥鳅, 培养 4 d。统计每个浓度总的死亡条数, 按改良寇氏法算出其 72 h 半致死浓度。

1.2.3 泥鳅的染毒处理 根据前期试验得出的安全浓度 6.4% 和致死浓度 19.2%, 选择半致死浓度 11.1% 的原污水做急性毒理试验, 将泥鳅放置在曝气 3 d 的自来水中饲养作为阴性对照, 以及放置在用改性炭 K 净化处理过的原污水中进行染毒处理。采用统一规格的桶进行饲养, 每个处理用水量均为 1 000 mL, 并各投入 10 条泥鳅进行染毒试验, 分别在 12、36、60、84 h 后取样, 每种处理在每个时间点取 3 条泥鳅, 以切断脊椎神经法处死并取出肝脏进行检测, 每个处理 3 个重复。

1.2.4 泥鳅肝脏组织的匀浆液准备 取肝脏, 用

生理盐水冲洗, 吸干, 按肝脏与生理盐水质量比为 1.00:0.85 添加生理盐水, 常规方法剪碎, 在 4℃冰浴中用研磨器进行研磨, 3 000 r·min⁻¹下 TGL-16G 台式高速冷冻离心机离心 10 min, 取其上清液, 待测^[12]。

1.2.5 测定方法 SOD 的测定采用邻苯三酚法^[13]。SOD 酶活力单位定义: 在 25℃ 恒温条件下, 每毫升反应液中, 每分钟抑制邻苯三酚自氧化率达 50% 的酶量定义为 1 个酶活力单位。GOT 测定采用活度比色法^[14]。蛋白质测定采用考马斯亮蓝法^[15]。

1.2.6 数据分析 试验数据用 SPSS 13.0 统计软件进行 *t* 检验分析。

2 结果与分析

2.1 化学方法测定污水氨氮含量和 COD 值以及半致死浓度的确定

化学方法测定污水中的氨氮含量为 706.56 mg·L⁻¹, COD 值为 7 360 mg·L⁻¹。据国家有关部门检测, 畜禽养殖业水体污染物最高允许日均排放浓度标准值, 化学需氧量(COD) 为 400 mg·L⁻¹, 氨氮含量为 80 mg·L⁻¹。本试验所用的 11.1% 的原污水的 COD 为 2 944 mg·L⁻¹, 氨氮含量为 282.62 mg·L⁻¹。

养猪场污水对泥鳅半致死浓度的测定结果(表 1)可知, 安全浓度为 6.4%, 致死浓度为 19.2%, 根据改良寇氏法算出其 72 h 半致死浓度为 11.1%。

按“改良寇氏法”的原理中确定半致死浓度的公式, 可以求得:

$$\text{公式 1: } (\log LD_{50}) \times 50 = X_m - i (\sum P - 0.5)$$

$$\text{则 } LD_{72h}^{50} = \log^{-1} X_{50}$$

$$\text{公式 2: } Sm = i \cdot (\sum p - \sum p^2) / (n - 1)$$

$$\text{公式 3: } LD_{72h}^{50} \text{ 的 } 95\% \text{ 可信限} = \lg^{-1} (X_{50} \pm 1.96Sm)$$

$$LD_{72h}^{50} \text{ 的平均可信限} = LD_{72h}^{50} \pm (LD_{72h}^{50} \text{ 高限} - LD_{72h}^{50} \text{ 低限}) / 2$$

X_m —最大剂量组剂量的对数值; i —相邻两组剂量(d)对数值之差, 或相邻两组高剂量与低剂量之比的对数; P —各组动物的死亡率, 用小数表示; $\sum P$ —为各组动物死亡率的总和; n —每组动物数; Sm — $\log LD_{72h}^{50}$ 的标准误。

可以求得:

$$\log LD_{72h}^{50} = -1.046 \text{ 即 } LD_{72h}^{50} = 0.111$$

$$Sm = 0.03487$$

$$95\% \text{ 可信限} = 1.406 \pm 0.06835$$

2.2 不同处理对泥鳅肝脏 SOD 活性的影响

从图 1 可看出不同处理 (11.1% 的原污水、曝气 3 d 的自来水及改性炭 K 处理过的原污水) 对泥鳅肝脏的 SOD 酶活性的影响情况不一样。当泥鳅染毒处理 12~36 h 时, 11.1% 原污水的处理中表现出 SOD 酶活性高于对照组和改性炭 K 处理过的原污水组, 并且在泥鳅染毒处理 36 h 时, 泥鳅肝脏中 SOD 酶活性达到最高值, 而后随着染毒处理时间的延长 SOD 酶活性呈现下降趋势; 对照组和改性炭 K 处理过的原污水在染毒处理过程的各个时段相比较, SOD 酶活力基本一致, 随着染毒时

间的延长 SOD 酶活力基本保持不变。可见在染毒处理 36 h 之前 11.1% 原污水对泥鳅 SOD 酶活性有促进作用, 染毒处理超过 36 h 之后, 11.1% 原污水对泥鳅 SOD 酶活性有抑制作用。

不同时间处理对 SOD 酶活性的影响也不一样, 对照组的泥鳅肝脏 SOD 酶活性与改性炭 K 处理过的原污水泥鳅肝脏 SOD 酶活性在 12、36、60、84 h 没有呈显著差异 (表 1); 对照组的泥鳅肝脏 SOD 酶活性与原污水的泥鳅肝脏 SOD 酶活性在 12、36、84 h 呈极显著差异, 在 60 h 呈显著差异 (表 2)。

表 1 养猪场污水饲养泥鳅的死亡情况

Table 1 Mortality of loaches fed by pig farm wastewater

处理	原污水浓度 (%)	对数值 (i=0.08)	泥鳅投放条数	死亡数	P	Q	P×Q
1	6.4	0.806	8	1	0.125	0.875	0.109
2	7.7	0.886	8	2	0.25	0.75	0.188
3	9.3	0.966	8	3	0.375	0.625	0.243
4	11.1	1.046	8	4	0.5	0.5	0.25
5	13.4	1.126	8	5	0.625	0.375	0.243
6	16.1	1.206	8	6	0.75	0.25	0.188
7	19.2	1.286	8	7	0.875	0.125	0.109
		i=0.08			$\Sigma P=3.5$		

注: i 相邻两剂量组之对数剂量差值, P-死亡率, Q-存活率

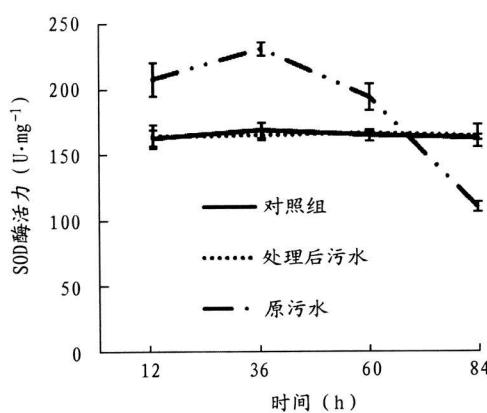


图 1 不同处理对泥鳅肝脏 SOD 酶活性的影响

Fig 1 Effect of different treatments on SOD activity in loach liver

SOD 酶 (超氧化物歧化酶) 是广泛存在于生物体的一类抗氧化酶, 能消除生物体在新陈代谢过程中产生有害物质, 其活性变化在一定程度上可反映污染物对生物体的影响^[16]。刚开始染毒处理时, 由于染毒处理的时间比较短, 泥鳅的肝脏功能还是比较完整的, 毒性刺激泥鳅肝脏激发其自身防御体系

启动, 因此, 泥鳅肝脏 SOD 酶活性升高, 以消除有害物质而保护细胞。随着泥鳅染毒处理时间的延长, 泥鳅肝脏内的 SOD 酶活性的逐渐降低, 在泥鳅染毒处理 60 h 之后, 11.1% 原污水处理过的泥鳅肝脏中测得 SOD 酶活性比对照组低, 这是由于泥鳅肝脏对有毒物质清理能力有限, 随泥鳅染毒处理的时间延长, 超过泥鳅肝脏对有毒物质耐受极限, 从而使得泥鳅肝脏受到破坏, 产生 SOD 酶活性也就减小了, 即毒性太大对泥鳅肝脏产生 SOD 酶活性具有抑制作用, 最终表现出的 SOD 酶活性低于对照组。

表 2 不同时间下处理后-对照组的泥鳅肝脏 SOD 的 t 检验
Table 2 T test on SOD in liver of loaches raised in control and treated wastewater at different time

项目	处理时间 (h)	t	df	P
处理后-对照组	12	-0.20	4 00	0.85
处理后-对照组	36	1.04	4 00	0.36
处理后-对照组	60	-0.61	4 00	0.58
处理后-对照组	84	-0.20	4 00	0.85

2.3 不同处理对泥鳅肝脏 GOT 酶活性的影响

不同处理(11.1% 的原污水、曝气 3d 的自来水及改性炭 K 处理过的原污水)对泥鳅肝脏 GOT 酶(谷氨酸草酰乙酸转氨酶)活性的影响(图 2), 结果表明, 泥鳅染毒处理在 12~36 h 之间时, 11.1% 原污水的处理中表现出 GOT 酶活性高于对照组和改性炭 K 处理过的原污水组, 并且在泥鳅染毒处理 36 h 时, 泥鳅肝脏中 GOT 酶活性达到最高值。而后随着染毒处理时间的延长 GOT 酶活性呈现下降趋势; 对照组和改性炭 K 处理过的原污水在染毒过程中各个时段相比较, GOT 酶活力基本一致, 在染毒处理 12~36 h 之间, GOT 酶活力呈稍微上升趋势, 在染毒处理 36 h 之后, GOT 酶活力呈稍微下降趋势。可见在染毒处理 36 h 之前, 11.1% 原污水对泥鳅 GOT 酶活性有促进作用, 染毒处理超过 36 h 之后, 11.1% 原污水对泥鳅 GOT 酶活性有抑制作用。

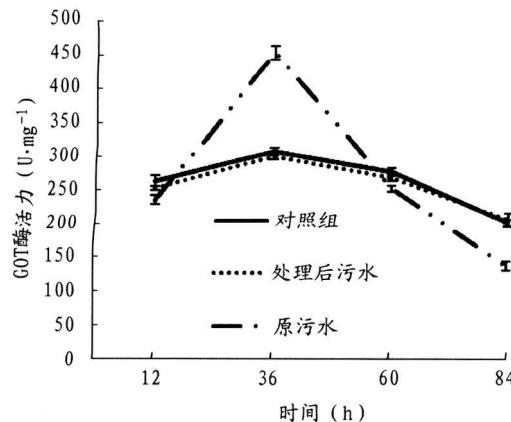


图 2 不同处理对泥鳅肝脏 GOT 酶活性的影响

Fig 2 Effect of different treatments on GOT activity in loach liver

不同时间处理对 GOT 酶活性的影响也不一样, 结果显示: 对照组的泥鳅肝脏 GOT 酶活性与改性炭 K 处理过的原污水的泥鳅肝脏 GOT 酶活性在 12、36、60、84 h 没有呈显著差异(表 3); 对照组的泥鳅肝脏 GOT 酶活性与原污水的泥鳅肝脏 GOT 酶活性在 12 h 呈显著差异, 在 36、84 h 呈极显著差异, 在 60 h 没有显著差异(表 4), 其原因可能是原污水染毒处理 60 h 时, 已经严重破坏泥鳅肝脏的功能, 所以导致 GOT 酶活性不升反降的趋势。

GOT 是广泛存在于动物细胞线粒体中的重要氨基转移酶, 在正常情况下, 肝脏组织细胞内的转氨酶含量很少, 当肝脏受到损伤时, 体内 GOT 值会明显升高, 可利用 GOT 值的水平高低值来检测泥鳅肝脏的受伤情况^[17]。在泥鳅染毒处理 36 h 之

前 GOT 酶活性是升高的, 这是由于泥鳅在染毒处理过程中, 外界环境中有毒物质对泥鳅肝脏的损伤, 使得 GOT 酶活性的急速升高, 有毒物质在一定时间内对泥鳅肝脏产生 GOT 酶活性具有促进作用。随着泥鳅染毒处理时间的延长, 水中有毒物质对泥鳅肝脏的破坏程度越来越大, 超过了泥鳅肝脏对有毒物质的耐受极限, 使得泥鳅肝脏严重受损, 产生的 GOT 酶活性逐渐减少, 即有毒物质的剂量太大对泥鳅肝脏产生 GOT 酶活性具有抑制作用, 从而表现出的 GOT 酶活性会逐渐降低。

表 3 不同时间下原污水- 对照组的泥鳅肝脏 SOD 的 *t* 检验

Table 3 T test on SOD in liver of loaches raised in control and wastewater at different time

项目	处理时间 (h)	t	df	P
原污水-对照组	12	- 5.34	4 00	0.006**
原污水-对照组	36	- 14.14	4 00	0.00**
原污水-对照组	60	- 4.49	4 00	0.01*
原污水-对照组	84	21.48	4 00	0.00**

表 4 不同时间下处理后- 对照组的泥鳅肝脏 GOT 的 *t* 检验

Table 4 T test on GOT in liver of loaches raised in control and treated wastewater at different time

项目	处理时间 (h)	t	df	P
处理后-对照组	12	2.06	4 00	0.11
处理后-对照组	36	1.90	4 00	0.13
处理后-对照组	60	- 0.74	2 06	0.53
处理后-对照组	84	- 0.74	4 00	0.50

表 5 不同时间下原污水- 对照组的泥鳅肝脏 GOT 的 *t* 检验

Table 5 T test on GOT in liver of loaches raised in control and wastewater at different time

项目	处理时间 (h)	t	df	P
原污水-对照组	12	4.52	4 00	0.01*
原污水-对照组	36	- 21.66	4 00	0.00**
原污水-对照组	60	- 0.06	2 06	0.96
原污水-对照组	84	15.35	4 00	0.00**

注: * 代表显著差异($P < 0.05$); ** 代表极显著差异($P < 0.01$)。

3 讨 论

3.1 养猪场污水对泥鳅生理生化指标的影响

本试验的研究表明养猪场污水对泥鳅的生长具有抑制作用, 其原因一方面是由于污水中的有机污染物在微生物作用下分解, 消耗水中溶解氧、氧化

还原电位、酸碱度等而影响泥鳅的生长; 另一方面降解的不饱和脂肪酸自身氧化, 产生大量游离原子团、过氧化物、氢氧化物等, 导致泥鳅产生氧化损伤, 产生 SOD 和 GOT 酶活性出现异常现象。其中氧化损伤是环境污染物引起生物毒性的重要机制之一。而 SOD 酶是体内催化歧化反应的一种抗氧化保护酶, 广泛地存在于各种生物中。SOD 酶对机体的氧化和抗氧化平衡起着重要的作用, 能清除超氧阴离子自由基 (O_2^-), 保护细胞免受损伤。本试验结果表明, 原污水对泥鳅的染毒处理, 会使 SOD 酶活性升高。随着染毒处理的时间变长, 肝脏的机能严重受损, 反而使 SOD 酶活性降低。

GOT 是广泛存在于动物细胞线粒体中的重要氨基转移酶, 在机体蛋白质代谢中起着重要作用, 在肝细胞内大量储存, 当发生肝细胞发生病变时, 肝细胞破裂后会大量释放谷草转氨酶。在本试验中, 随着泥鳅在养殖场污水中处理时间的增加, 泥鳅肝脏中的 GOT 酶活性是先上升后下降, 可见泥鳅在染毒处理的早期阶段, 肝脏细胞受到轻微的破坏, 从而肝脏细胞中产生了 GOT 酶; 随着染毒处理时间的增长, 有毒物质的不断积累, 肝脏受到严重的破坏, 使得产生 GOT 酶受到抑制, 出现了染毒后期 GOT 酶活性下降的现象。可见养猪场污水对水生生物存在较大的影响, 会导致水生生物的 SOD 和 GOT 酶活性的变化。但是, 从对照组不同时间段的 GOT 酶活性的变化可以看出, 不同时间测定的 GOT 酶活性有一定的变化, 该结果与张融等^[18-19]报道的结果一致。其原因尚需进一步研究。因此, 利用 SOD 酶活性的检测可以用来监测污水的污染程度, 但是 GOT 酶的应用则需进一步研究探讨。

3.2 改性炭 K 的净化作用

近年来, 竹炭的研究已经成为炭材料研究领域中的一个热点。竹炭是竹材在高温下热解后的固体产物, 其机械强度较高, 孔隙结构发达, 可以用作吸附剂, 对液相中的无机离子或有机物同样有良好的吸附能力^[20]。但是, 其孔隙较大对物质的吸附不具特异性。为此, 本试验使用的是以竹炭为基质添加特定的改性剂经过特定加工工艺制作而成的改性炭 K 材料, 其对污水中的污染物具有较强的特异性吸附作用。本试验的结果证实: 改性炭 K 对养猪场污水净化效果很好, 与对照相比净化后的污水处理组的泥鳅 SOD 与 GOT 酶活性没有差异。可见改性炭 K 可以用来有效地净化处理养猪场污水, 值得进一步开发成水源净化剂。

参考文献:

- [1] 刘莉, 孙振钧, 刘成国, 等. 基于 GIS 的北京市密云县畜禽养殖污水污染物浓度空间分布 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (增刊): 434-436.
- [2] 贾晗, 吴若菁, 黄婧, 等. 生物法处理畜禽养殖污水的研究现状与展望 [J]. 水处理技术, 2008, 34 (7): 7-11.
- [3] 张迎梅, 王叶菁, 虞闰六, 等. 重金属胁迫对泥鳅肝胰脏 AT Pase 和 SOD 活性的影响 [J]. 甘肃科学学报, 2008, 20 (3): 55-59.
- [4] 吴若菁, 陈宜秋, 林霞, 等. 利用泥鳅红细胞核的遗传损伤监测福州市内河水质 [J]. 应用与环境生物学报, 2005, 11 (1): 59-63.
- [5] YINGMEI ZHNG, YEJING WANG, RUNLIU YU. Effects of heavy metals Cd^{2+} , Pb^{2+} and on DNA damage of loach *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. Front Biol China, 2008, 3 (1): 50-54.
- [6] 刘民, 付荣怒. 亚硒酸盐对泥鳅的急性毒性 [J]. 潍坊学院学报, 2007, 7 (6): 64-65.
- [7] TERESA J B. Effect of pore structure and surface chemistry of virgin activated carbons on removal of hydrogen sulfide [J]. Carbon, 1999, 37: 483-491.
- [8] 徐浩东, 宁平, 王学谦. 改性炭对 PH_3 的吸附性能研究 [J]. 环境科学与技术, 2007, 30 (7): 26-28.
- [9] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 279-281.
- [10] 陈建军, 曹香林, 杜启艳. 新乡市城市污水对泥鳅的生理毒性与遗传毒性研究 [J]. 环境污染与防治, 2008, 30 (11): 31-34.
- [11] 孙淑红, 焦传珍, 刘小林, 等. Cd (II) 对泥鳅抗氧化酶活性和脂质过氧化的影响 [J]. 大连水产学院学报, 2009, 24 (1): 52-56.
- [12] 张彬彬. 乙草胺对泥鳅肝脏谷丙转氨酶和谷草转氨酶的影响 [J]. 江苏农业科学, 2009, 1 (1): 289-290.
- [13] 邹国林. 一种 SOD 的测定方法——邻苯三酚自氧化法的改进 [J]. 生物化学与生物物理进展, 1986 (4): 71-73.
- [14] 赵维新, 魏华, 贾江, 等. 镉对罗氏沼虾组织转氨酶活性及组织结构的影响 [J]. 水产学报, 1995, 19 (1): 21-27.
- [15] 聂剑初, 吴国利, 张翼伸, 等. 生物化学简明教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 35-36.
- [16] 贾秀英, 陈志伟. 镉对鲫鱼组织转氨酶和过氧化氢酶活性的影响 [J]. 环境污染与防治, 1997, 19 (6): 4-6.
- [17] 陈建军, 曹香林, 杜启艳. 新乡市城市污水对泥鳅的生理毒性与遗传毒性研究 [J]. 环境污染与防治, 2008, 30 (11): 31-34.
- [18] 张融, 范文宏, 唐戈, 等. 重金属 Cd 和 Zn 对水生浮游动物大型蚤 (*Daphnia magna*) 联合毒性的研究初探 [J]. 内蒙古大学学报, 2008, 39 (6): 704-708.
- [19] 王媛, 熊丽, 唐红枫, 等. 氯氰菊酯对鲫鱼血清中谷丙转氨酶及谷草转氨酶活力的影响 [J]. 水生生物学报, 2005, 24 (9): 8-10.
- [20] 朱江涛, 黄正宏, 康飞宇, 等. 竹炭的性能和应用研究进展 [J]. 材料导报, 2006, 20 (4): 41-43.

(责任编辑: 柯文辉)