

碳纤维人工水草技术处理湖泊水的试验研究

李思敏¹, 黄帅¹, 徐明²

(1. 河北工程大学 城市建设学院, 河北 邯郸 056038; 2. 西安市市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068)

摘要:针对湖泊等缓流水体生态恢复的需要,从技术特点、净化机理、运行监测指标等方面介绍碳纤维人工水草技术。分析赵苑湖泊水污染现状,以碳纤维人工水草为载体,利用水中微生物处理赵苑湖泊水,达到生态修复的目的。通过进行原位实验确定最佳水草铺设密度,结果表明,最佳运行密度为16株/m²,其对COD_{Cr}、NH₃-N、TN、TP的去除率分别为69.16%、81.06%、72.92%、47.36%;碳纤维人工水草技术对湖泊水的生态修复效果显著,并且不影响景观湖泊的观赏性。

关键词:碳纤维人工水草;生态修复;最佳运行密度

中图分类号:X524

文献标识码:A

The research on the treatment of polluted pool by the technology of carbon fiber artificial plants

LI Si-min¹, HUANG Shuai¹, XU Ming²

(1. College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. Xi'an Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Shanxi Xi'an 710068, China)

Abstract: At the need of ecological restoration of subcritical flow such as polluted pool, the characteristics, purification principle and operation monitoring indexes of the carbon fiber artificial plants technology are presented. And the current pollution condition of Zhaoyuan pool is analyzed. By the treatment of the microorganisms lived at the artificial plants, the ecology of Zhaoyuan pool is to be restored. An in-situ experiment was conducted to determine optimal running density of the artificial plants. As a result, the optimal running density is 16/m². At this situation, the removal rate of COD_{Cr}, NH₃-N, TN, TP were 69.16%, 81.06%, 72.92%, and 47.36% respectively. Because of the high efficiency and having no undesirable impact on the ornamental value of pools, the technology of carbon fiber artificial plants can be widely used in the future.

Key words: carbon fiber artificial plants; ecological restoration; optimal running density

湖泊是重要的自然资源与环境载体,与其他水体相比,其与人们的生活及生产关系更加密切。但是随着我国工业的发展、人民生活水平的提高,城镇污水的排放造成了水体富营养化,水体生态系统遭到破坏^[1-3]。特别是(人工)湖泊属于缓流水体,自净能力薄弱,很难具有自然恢复到被破坏前生态环境的能力。我国当前大部分湖泊净化技术采取的是物理和化学方法,虽然具有见效快、效率高等优点,但是修复效果持续性差、同时增加湖

泊底泥,无异于饮鸩止渴。碳纤维人工水草技术是以生物膜净化技术为核心,对受污染水体中的C、N、P等各项污染指标以生物技术进行降解,同时具有优良的持续性和良好的景观效果,在湖泊生态修复领域值得研究和推广^[4-5]。碳纤维人工水草技术是在生态学原理指导下,以生物修复为基础,结合物理及化学工艺达到的一种复合环境治理技术。该技术是以碳素纤维水草作为生物膜载体形成的生物膜工艺,可以通过控制生物膜膜

收稿日期:2015-09-29

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07203-003);河北工程大学研究生创新能力资助项目(y1500050004-04);河北省应用基础研究计划重点基础研究项目(12966738D);邯郸市科学技术研究与发展计划项目(1213109010G)

作者简介:李思敏(1968-),男,陕西咸阳人,教授,研究方向为污水处理等。

厚,形成适宜的好氧/厌氧分区,构建适宜脱氮除磷菌增殖的环境,对有机营养物进行吸附和生物降解并最终将污染物质去除,或转化成为微生物组分^[6-12]。此次实验从邯郸市赵苑湖泊水系原位污染现状出发,研究不同水草铺设密度条件下,碳纤维人工水草技术对赵苑湖泊水系污染物质的降解效果,以期碳纤维人工水草技术更好地应用于实际工程提供试验依据。

1 试验部分

1.1 试验装置

试验装置共有6组3.5 m×2.0 m×1.5 m不锈钢原位围隔(外衬防水布),并在防水布底部开0.5 m×0.5 m的换水口,编号1~6。1号为对照组,其他五个围隔为实验组。1~6号各组围隔依次按0、2、4、10、16、20株/m²密度铺设碳纤维人工水草。6组围隔均置于赵苑某人工湖泊中心,该湖泊不仅作为景观湖泊,而且接受某污水处理厂部分出水。

1.2 试验方法

每天对湖泊原水及6组围隔水取样监测,每天上午10:00取样一次,周期为70 d(雨天不取样),通过分析COD_{cr}、NH₃-N、TN、TP的浓度及去除率的变化趋势,研究针对这四种污染物的效果和去除机理,并通过指标叠加法确定碳纤维人工水草的最佳铺设密度。

1.3 监测指标

试验主要对易造成水体富营养化及水体污染的COD_{cr}、NH₃-N、TN、TP等指标进行监测。其中COD_{cr}的监测方法采用重铬酸钾法;NH₃-N的监测方法采用纳氏比色法;TN的监测方法采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法;TP的监测采用钼锑抗分光光度法^[8]。

2 试验结果与分析

2.1 碳纤维人工水草对COD_{cr}的去除效果

从图1可以看出,试验初期,各组COD_{cr}下降速率较快,铺设碳纤维人工水草试验组对COD_{cr}的降解速率明显高于对照组,这主要得益于人工水草的吸附固定作用。对照组由于缺乏载体的吸附作用,COD_{cr}的降解速率较慢。由于碳纤维人工水草附着生物膜上存在大量细菌、真菌、原生动物、后生动物等微生物,在这类微生物的新陈代谢作用下,水体中大量有机物被生物膜吸收分解,这是试验中后期各组有机物下降的主要原因。试验进行到10 d,各试验组对COD_{cr}的去除率趋于稳定,并且去除率随铺设密度的增加而提高,分别为45.89%、54.24%、59.10%、69.16%和81.77%。而对照组去除率达到稳定的时间要比实验组晚7 d左右,而且对COD_{cr}的去除率仅为26.19%,这主要是与对照组中微生物种群与数量都比较少直接相关。

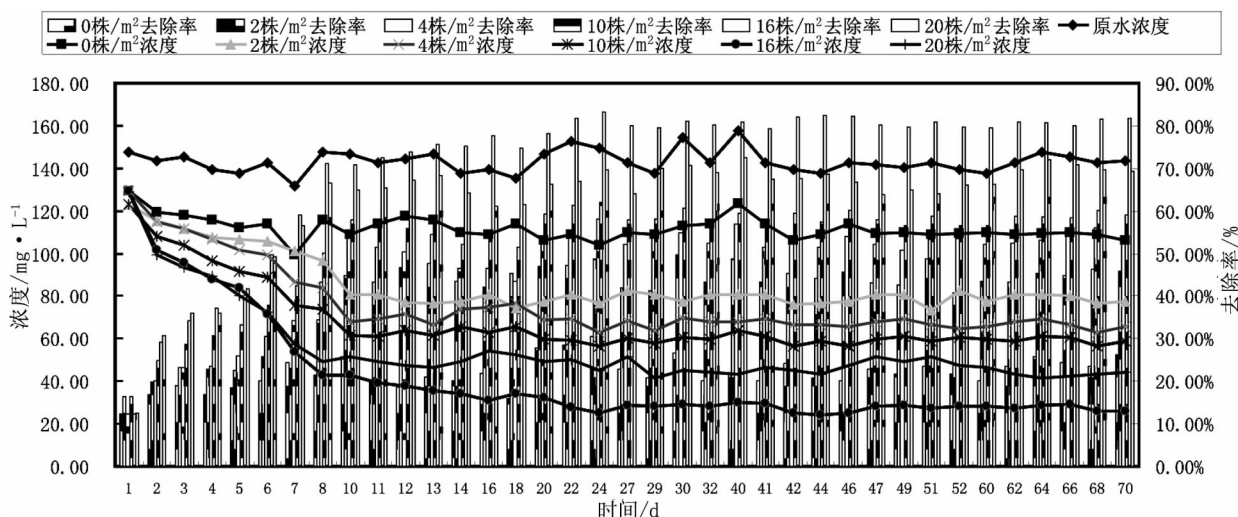


图1 不同人工水草铺设密度下TN的浓度及去除率的变化趋势

Fig.1 The variation trend of the concentration and the removal rate of COD_{cr} at different artificial plants density situation

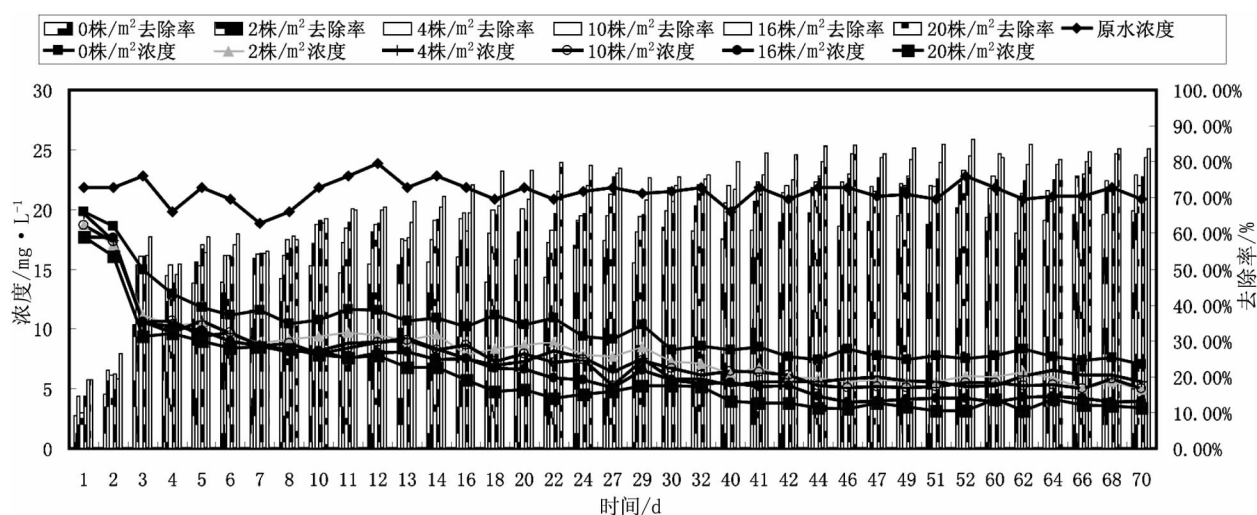
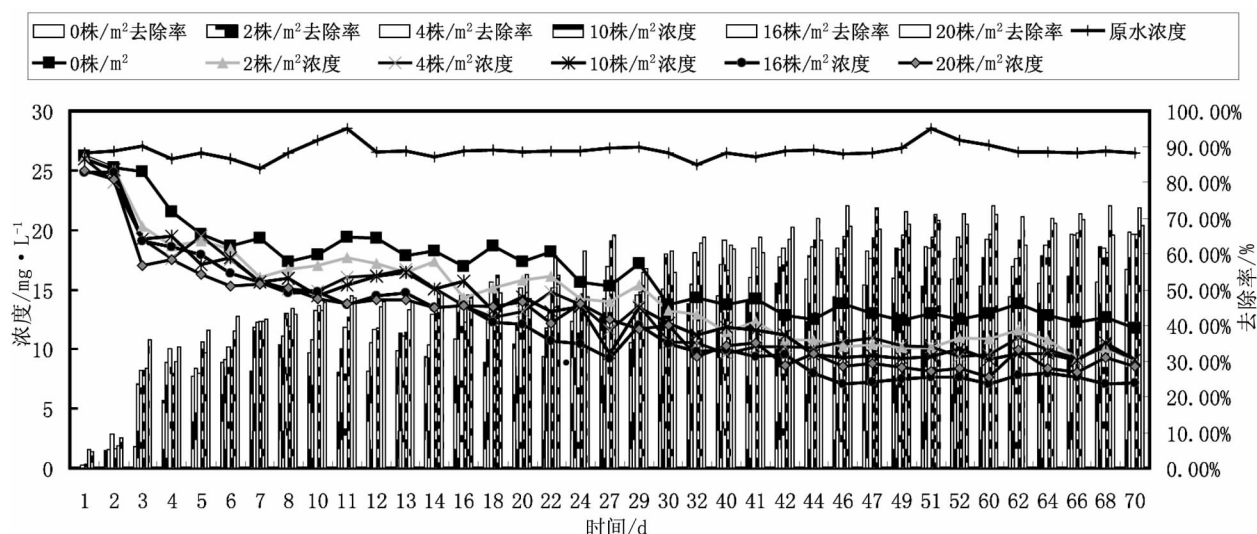
图2 不同人工水草铺设密度下 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度及去除率的变化趋势Fig. 2 The variation trend of the concentration and the removal rate of $\text{NH}_3\text{-N}$ at different artificial plants density situation

图3 不同人工水草铺设密度下TN的浓度及去除率的变化趋势

Fig. 3 The variation trend of the concentration and the removal rate of TN at different artificial plants density situation

2.2 碳纤维人工水草对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果

从图2可以看出:初期,各实验组的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 降解速率要高于对照组,主要得益于碳纤维人工水草多孔结构和巨大表面积的截留作用^[6]。而对对照组由于缺乏载体吸附及系统刚启动时不稳定, $\text{NH}_3\text{-N}$ 甚至出现了小幅上升。试验进行到16 d,各个实验组已基本稳定,且对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率较高,去除率达60%左右。生物膜上大量微生物的硝化作用及生物膜上的微生物胞外聚合物对污染物的吸附作用是该阶段降解的主要原因。试验进行30 d后,各实验组对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率都达到了66%以上。对照组的去除效果也较好,达到了60%,这可能是由于湖泊原位中存在大量藻类、细菌、原生动物及后生动物,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的氧化降

解有着显著作用。对照组与各试验组对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的最终去除率分别为66.17%、76.18%、73.29%、75.82%、81.06%和83.53%。每个实验组的去除率均优于对照组,且铺设密度越大效果越好。各组 $\text{NH}_3\text{-N}$ 呈总体下降趋势,铺设密度越大,降解速率越快,而且对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率稳定点相对提前。

2.3 碳纤维人工水草对 TN 的去除效果

从图3得知:试验初期各组对 TN 的去除相对稳定,总体去除率趋势是逐渐上升的。试验进行到21 d,各组运行基本稳定。最终,对照组的 TN 去除率分别为54.53%、64.08%、64.70%、64.55%、72.23%和67.04%。处理效果依次是人工水草铺设密度16株/ m^2 > 20株/ m^2

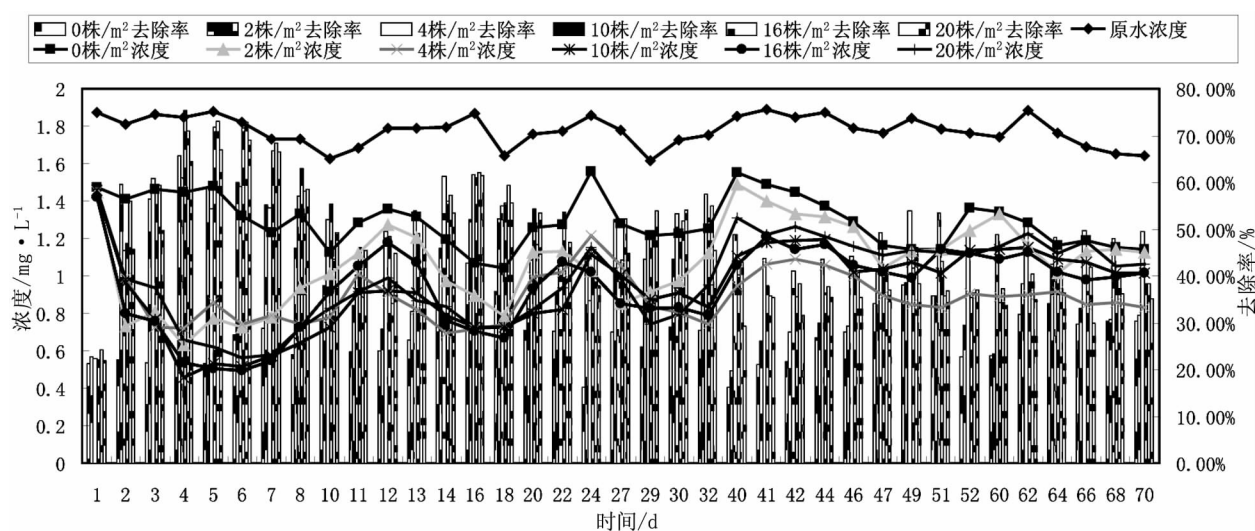


图4 不同人工水草铺设密度下TP的浓度及去除率的变化趋势

Fig.4 The variation trend of the concentration and the removal rate of TP at different artificial plants density situation

>4 株/ $\text{m}^2 > 10$ 株/ $\text{m}^2 > 2$ 株/ $\text{m}^2 >$ 对照组。

由图2可知,虽然 NH_3-N 去除率在人工水草铺设密度20株/ m^2 时最高,但这类密度下,其对TN的去除率反而较16株/ m^2 时有所降低,这与水体中溶解氧有很大关系^[6]。随着水体流动,人工水草漂浮摆动会增加围隔内水体的复氧速率,水草密度越大,复氧速率相对越快。由于水体中分子态氧的存在,生物膜缺氧层不稳定会在一定程度上影响反硝化细菌的反硝化作用,因此,围隔水体中反硝化作用可能存在瓶颈,并导致相当一部分氮素是以硝态氮的形式存在而未被去除。不仅如此,在较高溶解氧浓度下,人工水草铺设密度20株/ m^2 的围隔水体中的好氧菌与反硝化菌争夺降解碳源时存在竞争优势,并消耗很大部分碳源,削弱反硝化作用,最终导致整个试验阶段的低效TN去除率。

2.4 碳纤维人工水草对TP的去除效果

由图4得知:各组TP的去除率呈总体缓慢提高的趋势,但波动较大,最终趋于稳定。而且各组对TP的平均去除率分别仅为27.33%、39.90%、49.52%、47.68%、47.36%和44.97%。在试验进行的前5d,除了对照组外,其他各组对TP去除速率都比较快,这可能是由于人工水草初期的吸附作用。试验进行到5~40d,该阶段的TP去除率每16d周期起伏。原因是由于人工水草的吸附作用、微生物胞外分泌物的吸附以及微生物生长代谢的消耗^[11],TP会在7~9d内持续下降。而微生物生长代谢所需要的磷很少,所以对TP去除主

要是由于上述两种吸附作用;但是随着水草的漂浮摆动及生物膜的老化脱落,人工水草吸附的磷会脱附到水体中,所以在9~16d会出现TP浓度的上升。试验进行到42d左右,由于吸附和脱附平衡,TP去除率基本稳定。对照组相对于实验组由于只存在磷元素的自然沉降而没有水草载体的吸附,所以其对TP的去除率很难达到稳定状态。

污水中磷元素生物去除主要是由聚磷菌完成的。聚磷菌在厌氧条件下释磷,在好氧的环境下可以过量的、超出其生理需要的从外部摄取磷。一般认为,好氧及厌氧环境的交替有利于聚磷菌对磷元素的吸收。本试验在湖泊原水中进行,无法提供聚磷菌所需的厌氧环境,没有释磷条件,所以不能形成吸磷阶段所需要的PHAs。而且,由于没有充足曝气,导致水体溶解氧也不能很好地满足聚磷菌的吸磷条件。缺少吸磷的能源PHAs及充足的溶解氧,生物除磷基本没有实现。人工水草铺设密度过大也可能会阻碍磷元素的自然沉降,因此除磷效果并不随人工水草的铺设密度的增大而提高。综上,人工水草的截留吸附及微生物胞外分泌物的吸附是TP下降的主要原因,并且人工水草铺设密度过大对除磷效果有一定程度的影响。

2.5 碳纤维人工水草的综合效果

根据指标叠加处理方法来考虑不同铺设密度的人工水草的综合效果。由于TN和 NH_3-N 的去除效果相近,并且总量不大,分别给予0.2和0.15的权重; COD_{cr} 与铺设密度密切相关,并且尚

表1 不同碳纤维人工水草铺设密度的综合效果评价表

Tab. 1 Table of the comprehensive effectiveness evaluation at different artificial plants density situation

指 组别 /株·m ²	标	NH ₃ -N		TN		TP		COD _{cr}		景观		综合效果
		去除率/%	权重	去除率/%	权重	去除率/%	权重	去除率/%	权重	影响/%	权重	
0		66.17	0.15	55.66	0.2	27.33	0.25	26.19	0.25	100.00	0.15	0.494
22		76.18	0.15	65.95	0.2	39.90	0.25	45.89	0.25	70.00	0.15	0.566
42		73.29	0.15	65.59	0.2	49.52	0.25	54.24	0.25	60.00	0.15	0.591
10		75.82	0.15	65.43	0.2	49.68	0.25	59.10	0.25	50.00	0.15	0.592
16		81.06	0.15	72.92	0.2	47.36	0.25	69.16	0.25	40.00	0.15	0.619
20		83.53	0.15	67.86	0.2	44.97	0.25	81.77	0.25	30.00	0.15	0.623

未达标,给予0.3的权重;考虑赵苑湖泊水体中TP浓度大,并且与水体富营养化直接相关,给予0.25的权重;考虑到赵苑湖泊的景观功能,给予0.1的权重。

根据表1,碳纤维人工水草在20株/m²铺设密度的综合效果最好。但是在16株/m²铺设密度下的综合效果与20株/m²铺设密度下的综合效果相近,考虑到经济因素,确定赵苑湖泊碳纤维人工水草的最佳运行密度为16株/m²。

3 结论

1)碳纤维人工水草对湖泊水体中的主要污染物都有一定的去除效果,但不是所有污染物的去除率都随铺设密度的增加提高。指标叠加法确定最佳铺设密度为20株/m²,但考虑经济因素,最终确定赵苑湖泊中碳纤维人工水草的最佳铺设密度为16株/m²。

2)碳纤维人工水草技术对TP的去除机理,是依靠其多孔结构和巨大的表面积吸附截留作用和微生物胞外分泌物的吸附作用,去除速率较快;由于水草漂浮摆动和生物膜的自然脱落,脱附与吸附同时存在,导致TP的去除率循环起伏。二者达到平衡后,去除率趋于稳定。同时显示,微生物生长代谢所消耗的磷甚少。

3)碳纤维人工水草对TN去除率较低的根本原因在于反硝化作用存在瓶颈。水草的漂浮摆动导致水体中较高的复氧速率,在一定程度上影响生物膜上缺氧层的形成;好氧菌与反硝化菌争夺易降解碳源时存在竞争优势,导致用于反硝化的碳源减少,削弱了反硝化作用。最终导致了低效的TN去除率。

参考文献:

- [1] 李大成,吕锡武,纪荣平. 受污染湖泊的生态修复[J]. 电力环境保护,2006,22(1):47-49.
- [2] 秦伯强,高 光. 浅水湖泊生态系统恢复的理论与实践思考[J]. 湖泊科学,2005,17(1):9-16.
- [3] 王 玲,刘建林,雒望余,等. 城市河流生态治理模式研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2014,31(1):54-57.
- [4] 郝文龙,朱长军,常向萍. 刚性植物对污染物输移扩散规律的研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2014,31(4):38-39.
- [5] 潘 怡. 人工水草技术的试验研究及十五里河生态修复探讨[D]. 合肥:合肥工业大学,2010.
- [6] 梁益聪. 碳素纤维生态草在城市黑臭水体修复中的应用研究[D]. 南宁:广西大学,2014.
- [7] 姚理为. 碳素纤维在水质改善与生态修复领域的应用研究[D]. 湘潭:湘潭大学,2012.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [9] 陈庆锋,杨红艳,马君健,等. 人工水草在重污染河流生态修复中的应用进展[J]. 中国给水排水,2014,30(20):54-58.
- [10] 唐静杰,周 青. 湖泊富营养化的生态修复研究进展[J]. 生态环境,2008(2):288-291.
- [11] 童 敏,李 真,黄民生,等. 多功能人工水草生物膜处理黑臭河水的研究[J]. 水处理技术,2011,37(8):112-116.
- [12] 张逸飞,钟文辉,王国祥. 微生物在污染环境生物修复中的应用[J]. 中国生态农业学报,2007,15(3):198-203.

(责任编辑 王利君)