

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2010.04.017

不同基质和植物人工湿地净化效果试验

陈 润¹,陈中祥²,莫李娟³

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;2.东台市水利建设有限公司,江苏 盐城 224000;3.水利部太湖流域管理局水文水资源监测局,江苏 无锡 214024)

摘要 分别以高炉渣、瓜子片、碎石为基质,美人蕉、黑三棱草、野茭白为植被构建人工湿地模拟系统,对其净化效果进行试验研究。结果表明,种植植物的湿地系统比未种植植物的湿地系统净化效果好,不同植物同种基质湿地系统对不同指标的净化效果各不相同,如不同植物对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 的净化效果从高到低顺序为:黑三棱草,美人蕉,野茭白,同种植物不同基质湿地系统对不同指标的净化效果也不同,不同基质对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 的净化效果从高到低顺序为:碎石,高炉渣,瓜子片。对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 浓度较高的污染环境,采用碎石为基质、黑三棱草为植被的人工湿地系统效果最佳。

关键词 人工湿地系统;基质;水生植物;净化效果

中图分类号 X171.4 **文献标识码** B **文章编号** 1004-6933(2010)04-0062-05

Experimental study on purification effect of constructed wetland with different substrates and plants

CHEN Run¹, CHEN Zhong-xiang², MO Li-juan³

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Dongtai Water Conservancy Construction Company Limited, Yancheng 224000, China; 3. Monitoring Bureau of Hydrology and Water Resources, Taihu Basin Authority, Wuxi 214024, China)

Abstract: Constructed wetland simulation systems with blast furnace slag, melon slices, and gravel as substrates, and canna, sparganium grass, and wild rice stem as vegetation, were constructed, and experiments on the purification effect of TN , $\text{NH}_3^+\text{-N}$, TP , and COD_{Cr} were carried out. The purification effect was more obvious in wetlands with plants than in wetlands without plants. Constructed wetland systems with different plants reacted differently to the purification effect in the same substrate, and the order of the purification effect of different plants for $\text{NH}_3^+\text{-N}$ and TN was rhizoma scirpi yagarae > canna indica > zizania aquatica. The same plants in a different substrate also had different purification effects, and the order of the purification effects for $\text{NH}_3^+\text{-N}$ and TN was gravel > blast furnace slag > melon slices. Therefore, with high $\text{NH}_3^+\text{-N}$ and TN concentration, the constructed wetland using gravel as the substrate and rhizoma scirpi yagarae as the vegetation was the most effective system.

Key words: constructed wetland system; substrate; aquatic plants; purification effect

在众多污水治理技术中,人工湿地具有投资及运行费用低、运行管理方便、对负荷变化适应性强、出水具有一定的生物安全性及生态环境效益显著等特点,应用最为广泛,已被用于处理各类污水^[1-6]。人工湿地是自适应系统,在构成人工湿地污水处理系统的水体、基质、水生植物和微生物四大基本要素

中,基质、水生植物和微生物或三者相互之间通过一系列物理、化学以及生物途径,可以完成对污染物的高效去除^[7-8]。其中植物和基质是两个相对容易用工程手段来调节的要素^[9]。笔者分别以高炉渣、瓜子片、碎石为基质,美人蕉(canna)、黑三棱草(sparganium grass)、野茭白(wild rice stem)为植被构

建人工湿地模拟系统,对人工湿地技术去除生活污水 N、P 和 COD 的效果及机理进行初步探索,旨在为农村人工湿地建设中填料基质和湿地植物的选择等提供科学的理论依据。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

植物 野茭白采自长江江堤附近的生态湿地,美人蕉和黑三棱草均购自苗棚。当黑三棱草和美人蕉高 8~10 cm 时与野茭白(修剪为 15 cm 左右)同移栽到人工湿地系统内,注入污水预培养 2 周后开始试验。

基质 瓜子片、碎石来自采石场,所用表面覆盖填料均为建筑材料黄沙。高炉渣粒径为 20~35 mm,碎石粒径为 25~45 mm,瓜子片粒径为 10~15 mm。

采用塑料箱模拟人工湿地,尺寸 36 cm×46 cm×35 cm。在其内侧底部埋设 PVC 管,一端插入箱底部,另一端伸出填料层处,用于进排水。

在试验装置内,建立高炉渣基质、瓜子片基质和碎石基质 3 种净化湿地系统。每种基质湿地系统依植被种类的不同均设 3 个处理系统,分别栽种美人蕉、黑三棱草和野茭白。另外,3 种基质湿地系统各设 1 个仅填充基质而未种植物的系统作为空白对照,见表 1。

表 1 不同基质和植物湿地系统

实验号	不同基质湿地系统	栽种植物
1	高炉渣	美人蕉
2		黑三棱草
3		野茭白
4		空白对照
5	瓜子片	美人蕉
6		黑三棱草
7		野茭白
8		空白对照
9	碎石	美人蕉
10		黑三棱草
11		野茭白
12		空白对照

1.2 试验过程和分析方法

1.2.1 试验过程

植物移栽在 2008 年 7 月上旬结束,植物移栽到塑料箱中后先灌入自来水,待植物适应 1 周后,再灌入污水,使植物适应并使箱体内生物膜挂上,2 周后进行污水处理效果试验。试验用水取自化粪池,pH 值中性,水质为劣 V 类。3 种基质人工湿地系统均采用间隙方式进水,污水一次性注入,水力停留时间为 6 d。各净化系统的下一周期污水均在前一周排水后的隔天注入,整个试验期共分 8 个净化周期。3 种不同基质人工湿地每周进水水量均为 20 L,水力负荷为 0.013 m³/(m²·d)。试验期间因植物蒸发和自由蒸发而损失的污水不再进行补充,忽略不计。每个净化周期开始前取 1 份原水,再在每个净化周期结束后自各净化系统出水口采集出水,分析 pH 值、TN、NH₃-N、TP 和 COD 指标,同时记录各系统的出水体积。

1.2.2 检测方法

检测方法参照文献[10]。植物样品中的全氮和全磷采用常规检测方法测定。各污染物去除率计算公式为：

$$\eta = (C_0V_0 - C_iV_i)/(C_0V_0) \times 100\%$$

式中:C₀为初始浓度;V₀为初始时体积;C_i为第 i 天浓度;V_i为第 i 天的水体积。

2 结果与分析

2.1 对 TN 和 NH₃-N 的净化效果

不同湿地系统对 TN 和 NH₃-N 的净化效果见图 1、2 和 3。

运行初期,由于 3 种供试基质表面未形成生物膜,故对 TN 的去除能力有限,除碎石基质湿地去除率达到 34% 外,高炉渣和瓜子片基质湿地对 TN 的去除率仅为 15% 和 13%。运行稳定期间,各基质表面都形成了较为稳定的生物膜,去除率均有不同程度的提高[11],其中碎石对 TN 的去除率达到 72%,高炉渣和瓜子片基质湿地分别为 60% 和 48%。

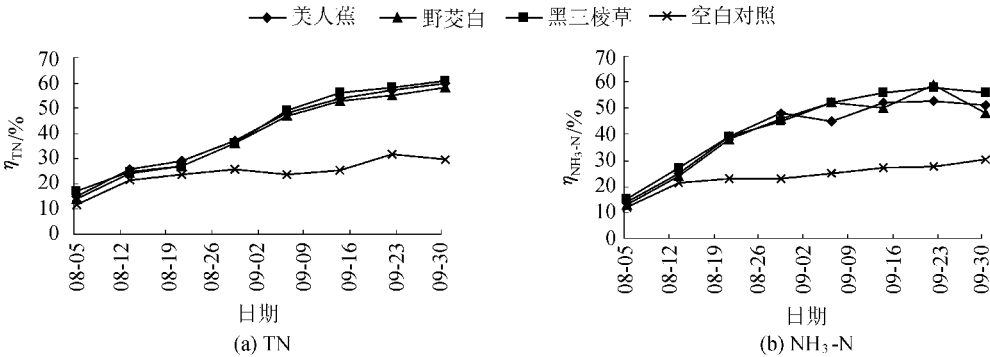


图 1 高炉渣湿地系统

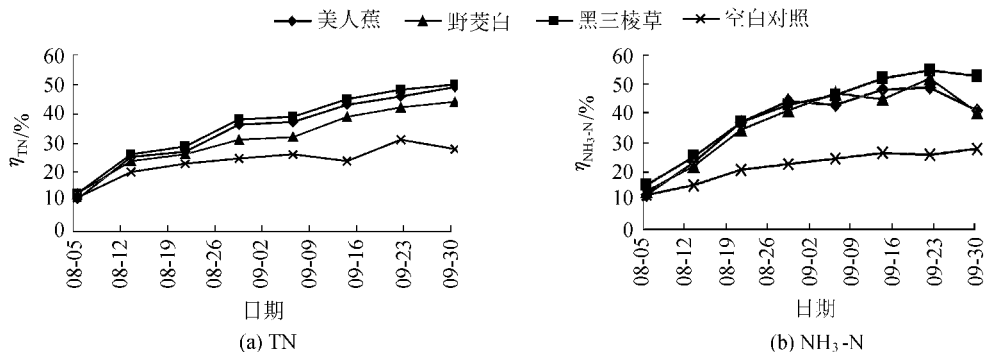


图 2 瓜子片湿地系统

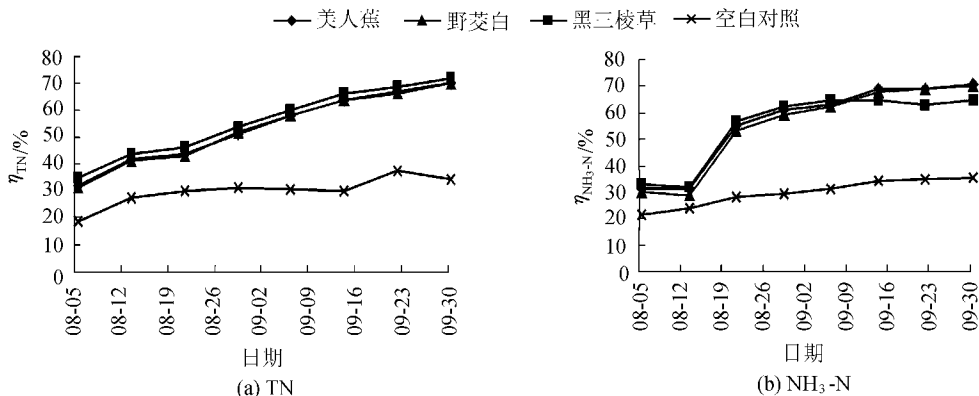


图 3 碎石湿地系统

3 种基质湿地对 NH₃-N 的去除率与 TN 无明显差异。运行初期,碎石、高炉渣和瓜子片基质湿地对 NH₃-N 的去除率分别为 31%、13% 和 12%。运行稳定期,各基质表面形成了较为稳定的生物膜,去除率均有不同程度的提高,碎石、高炉渣和瓜子片基质湿地对 NH₃-N 的去除率分别为 72%、52% 和 44%。

不同空白对照系统对污水中 TN、NH₃-N 的净化效果见图 4。

◆ 高炉渣湿地系统 ■ 碎石湿地系统 ▲ 瓜子片湿地系统

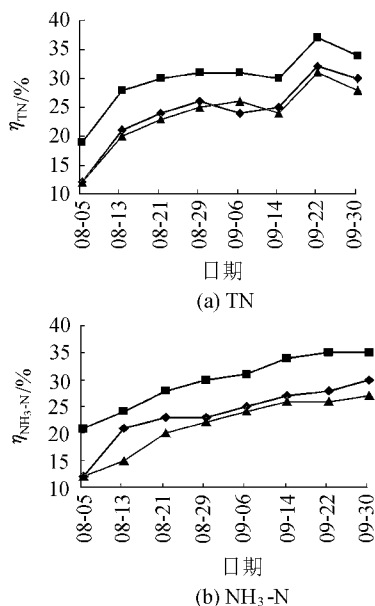


图 4 空白对照系统对 TN、NH₃-N 的去除

尽管空白对照系统中无植物的存在,却仍能保持较高的 TN、NH₃-N 去除率,可能原因主要有 3 点^[12] ①湿地的氨负荷相对较低,且碎石、高炉渣、瓜子片 3 种基质具有一定的 NH₃-N 吸附能力,输入污水的部分 NH₃-N 被基质吸附;②空白对照系统存在一定数量的硝化、反硝化细菌,NH₃-N 通过硝化-反硝化作用得以部分去除;③试验期间,空白对照系统中藻类的生长吸收利用了部分输入的氮。

从以上结果可见,人工湿地可有效地去除污水中的氮,高炉渣、瓜子片、碎石湿地系统的 TN、NH₃-N 去除率均高于空白对照系统,植物的存在一定程度上提高了各系统对 TN 和 NH₃-N 的去除效果。不同基质对 TN 和 NH₃-N 的去除效果从高到低顺序为:碎石,高炉渣,瓜子片;不同植物对 NH₃-N 和 TN 的去除效果从高到低顺序为:黑三棱草,美人蕉,野茭白。

2.2 对 TP 的净化效果

不同湿地系统对 TP 的净化效果见图 5。

理论上,人工湿地系统中的磷可以通过植物的吸收、微生物的固定、填料的吸附等作用去除,但最主要的是填料吸附和化学沉淀作用^[13]。由图 5 可知,3 种基质人工湿地对 TP 均有较高的去除率,各湿地系统的 TP 平均去除率均在 85% 以上。

在运行初期,高炉渣湿地系统对 TP 的去除效果较为明显^[14],而碎石和瓜子片对 TP 的去除效果相对较低。高炉渣湿地系统对 TP 去除率仍能保持在

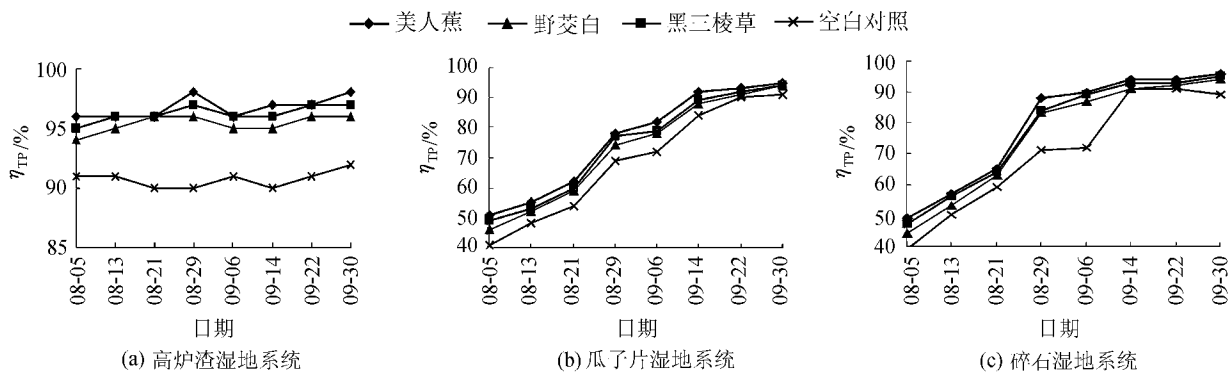


图5 不同湿地系统对污水中 TP 的去除

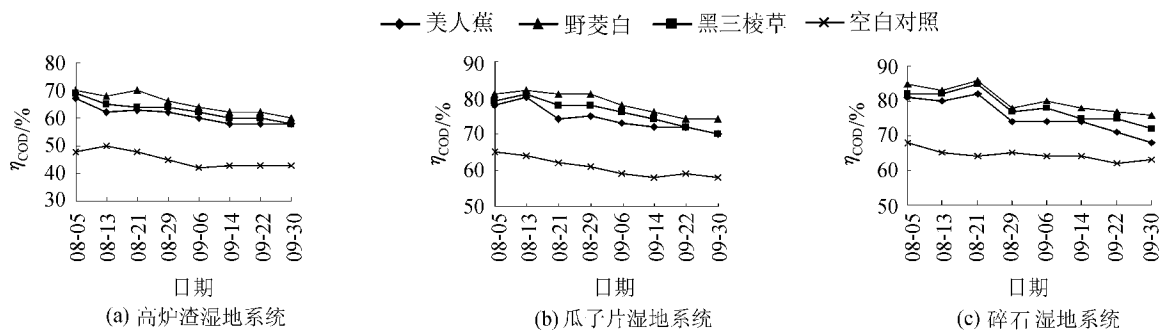


图6 不同湿地系统对污水中 COD 的净化效果

95% 以上,而瓜子片的去除率大于 90%,碎石的去除率大于 85%。

从图 5 还可以看出,植物与无植物系统对 TP 的去除效率存在着比较明显的差异。随着运行时间增长,在对 TP 的去除效果上,植物的作用越来越明显。综合几种植物的净化效果,美人蕉湿地对 TP 的去除率最高,其他两种植物湿地依次为黑三棱草和野茭白。在整个运行过程中,植物湿地系统对 TP 的平均去除率为 97%,无植物系统的为 77%,二者相差 20%。这一结果表明,基质在磷的去除中起到了很大的作用,而植物的作用远小于基质。

从以上结果可见,人工湿地可有效地去除污水中的磷,植物的存在一定程度上提高了各系统的 TP 的去除效果。美人蕉、黑三棱草和野茭白的 TP 去除率均高于空白对照系统。不同基质对 TP 的去除效果从高到低顺序为:高炉渣,碎石,瓜子片;不同植物对 TP 的去除效果从高到低顺序为:美人蕉,黑三棱草,野茭白。

2.3 对 COD 的净化效果

不同湿地系统对 COD 的净化效果见图 6。

由图 6 可以看出,人工湿地对 COD 具有明显的去除能力。不溶性 COD 通过人工湿地的沉淀和过滤很快从污水中截留下来,被微小生物加以利用,可溶性 COD 则可通过生物膜的吸附及微生物的代谢过程被去除^[15]。

由图 6 可知,人工湿地对 COD 的去除效果较

好。其中,碎石和瓜子片湿地系统对 COD 的去除效果较为明显,而高炉渣对 COD 的去除效果相对较低。植物系统出水 COD 的浓度始终低于无植物系统,而且两个系统出水 COD 浓度之间的差异随着运行时间的延长而增加,植物和无植物系统对 COD 的平均去除率分别为 72%、57%,相差 15%。综合几种植物的净化效果,野茭白湿地对 COD 的去除率最高,其他两种植物湿地依次为黑三棱草和美人蕉。

但是,人工湿地对 COD 的去除存在着明显的时段性,在运行起始时期,系统对 COD 的去除能力强、效率高,但随着运行时间的延长,出水 COD 的浓度逐渐升高,对基质和植物的作用有一定的影响,使得去除效率降低,但从整个过程来看,有基质和植物的湿地系统要比空白系统对 COD 的去除率高。

从以上结果可见,人工湿地可有效地去除污水中的 COD,植物对 COD 的去除具有明显的作用,植物系统去除 COD 的效果比未栽种植物的空白对照系统要好得多。不同基质对 COD 的去除效果从高到低顺序为:碎石,瓜子片,高炉渣;不同植物对 COD 的去除效果从高到低顺序为:野茭白,黑三棱草,美人蕉。

3 结 语

a. 植物的存在一定程度上提高了各系统净化效果。不同植物对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 净化效果从高到低顺序为:黑三棱草,美人蕉,野茭白;对 TP 的净化效

果从高到低顺序为:美人蕉,黑三棱草,野茭白,对 COD 的净化效果从高到低顺序为:野茭白,黑三棱草,美人蕉。

b. 同一植物不同基质对生活污水的净化效果有所不同。不同基质对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 净化效果从高到低顺序为:碎石,高炉渣,瓜子片;对 TP 净化效果从高到低顺序为:高炉渣,碎石,瓜子片;对 COD 净化效果从高到低顺序为:碎石,瓜子片,高炉渣。

c. 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 浓度较高的污染环境,采用碎石为基质、黑三棱草为植被的人工湿地系统效果最佳;对 TP 浓度较高的污染环境,采用高炉渣为基质、美人蕉为植被的人工湿地系统效果最佳;对 COD 浓度较高的污染环境,采用碎石为基质、野茭白为植被的人工湿地系统效果最佳。

d. 空白对照系统(仅填充基质未种植物)对污染物的净化有一定效果。同一基质湿地系统下,空白对照系统对污染物的净化效果明显低于有植物的湿地系统。

参考文献:

[1] GILLESPIE B, HAWKINS B, RODGERS H, et al. Transfers and transformation of in constructed wetlands: mitigation of fare finer of-fluent[J]. Ecological Engineering, 2000, 14: 279-292.

[2] JUWARKAR A S, OKE B, JUWARKAR A, et al. Domestic wastewater treatment through constructed wetland in India[J]. Wat Sci Tech, 1995, 32(3): 291-294.

[3] 靖元孝, 陈兆平, 杨丹菁. 风车草对生活污水的净化效果及其在人工湿地的应用[J]. 应用与环境生物学报, 2002,

8(6): 614-617.

[4] 廖新伟, 骆世明. 人工湿地对猪场废水有机物处理效果的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 719-722.

[5] 徐丽花, 周琪. 模拟暴雨径流人工湿地系统中 N 和 P 的去除及其分布[J]. 给水排水, 2002, 28(10): 12-15.

[6] BRASKERUD B C. Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural nonpoint source pollution[J]. Ecological Engineering, 2002, 19: 41-61.

[7] 李晓东, 孙铁珩, 李海波. 人工湿地除磷研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 1226-1232.

[8] KNIGHT R L. Constructed wetlands for lives tock waste water management[J]. Ecological Engineering, 2000, 15: 41-55.

[9] 魏成, 刘平, 秦晶. 不同基质和不同植物对人工湿地净化效率的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3691-3697.

[10] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 环境科学出版社, 2002.

[11] 周小平, 杨林章, 王建国, 等. 炉渣等 4 种基质对富营养化水体中 N、P 的降解研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊): 94-98.

[12] 张曦, 陆轶峰. 天然沸石吸附技术防治暴雨径流氮磷污染[J]. 云南环境科学, 2003, 22(1): 48-51.

[13] 邓雁希, 许虹, 黄玲, 等. 炉渣处理含磷废水的实验研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(3): 290-292.

[14] TANNER C C. Plants for constructed wetland treatment systems: a eomparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species[J]. Ecological Engineering, 1996, 7(1): 59-83.

[15] 白晓慧, 王宝贞, 余敏, 等. 人工湿地污水处理技术及其发展应用[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1999, 32(6): 88-92.

(收稿日期: 2009-03-30 编辑: 高渭文)

(上接第 42 页)

4 结 语

a. 2007 年现场监测表明, 洪家渡、东风、索风营和乌江渡 4 个库区 DO 浓度与 SD 值均较大, DO 浓度 4 个库区之间差异不大, SD 值 4 个库区自上游至下游渐趋变小。乌江 4 个梯级库区从上游到下游营养盐和 Chl-a 浓度总体上呈逐级增加的趋势, 富营养化主要水质控制因子为 N 和 P。

b. 绿藻、硅藻和蓝藻构成了乌江上游 4 座梯级水库藻类优势种。洪家渡、东风和乌江渡水库的枯水期藻类数量都小于丰水期的数量, 而索风营水库枯水期藻类数量大于丰水期。枯水期 4 个库区自上游至下游蓝藻门和绿藻门藻类数量不断增加, 硅藻门藻类数量基本稳定, 在索风营水库数量最大。丰水期 4 个库区自上游至下游蓝藻门和绿藻门藻类数量先逐渐减小, 到乌江渡水库后发生突增。硅藻门藻类数量也从洪家渡水库的数量最多渐变到索风营水库的数量最少, 在乌江渡水库又有所回升。

c. 洪家渡水库枯水期为贫营养状态、丰水期为贫-中营养化状态, 东风和索风营水库枯、丰水期均

为中营养化状态, 乌江渡水库枯、丰水期均为中-富营养化状态, 自上游至下游梯级水库富营养化程度有趋于严重的特征, 乌江渡水库枯、丰水期均呈现了轻度的富营养化趋势。

d. 除了梯级大坝阻隔引起的水体滞留变化及 N、P 等营养盐条件外, 日照和水温、网箱养殖条件均对库区富营养化状况产生了重要影响。

参考文献:

[1] BONACCI O, ROJE-BONACCI T. The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the Karstic River Cetina[J]. Hydrological Process, 2003, 17: 1-16.

[2] CULLAJ A, HASKO A, MIHO A, et al. The quality of Albanian natural waters and the human impact [J]. Environment International, 2005, 31: 133-146.

[3] 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.

[4] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 208-232.

[5] 许德芝. 红枫湖网箱养鱼对水质的影响[J]. 环境, 2002(2): 43.

(收稿日期: 2009-02-16 编辑: 高渭文)