

河岸混合植物带处理受污染河水中试研究

李睿华, 管运涛*, 何苗, 胡洪营, 蒋展鹏

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 利用 2 种混合植物带(香根草+ 沉水植物、湿生植物+ 香蒲+ 芦苇)对受污染河水进行中试研究, 并与无植物空白带进行了对比。结果表明, 混合植物带对污染物的降解效果优于无植物空白带, 其中香根草+ 沉水植物带效果最好, 它在整个运行期间对 COD、 NH_4^+-N 和 TP 的去除率分别为 43.5%、71.1% 和 69.3%。对出水溶解氧及水温进行了考察, 结果表明混合植物带水域中水的溶解氧比无植物带稳定, 且在夏季水温低于无植物带水域的水温。说明在河道修复中植物带对平衡河岸带环境条件、改善河流局部小气候有重要作用。

关键词: 河流生态修复; 混合植物带; 水质改善

中图分类号: X522; X171.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)04-0651-04

Pilot-Scale Study on Riparian Mixed Plant Zones Treating Polluted River Water

LI Ru-hua, GUAN Yun-tao, HE Miao, HU Hong-yin, JIANG Zhan-peng

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The polluted river water is treated with pilot-scale riparian zones of no aquatic plant, *Vetiveria zizanioides* + submerged plants, and weed + *Typha angustifolia* L. + *Phragmites communis*. It is shown that the vegetation water zones are better than the no vegetation water zone and *Vetiveria zizanioides* + submerged plants zone is the best in improving water quality. The average removals of the *Vetiveria zizanioides* + submerged plant zone is 43.5% COD, 71.1% ammonia and 69.3% total phosphorus respectively. The dissolved oxygen (DO) and temperature of effluents from the three water zones are also investigated. It shows that DO of effluent from the vegetation zones are more stable than that of effluent from the no vegetation zone, and the temperature of the effluent from the vegetation zones are lower than that from the no vegetation zones. The submerged plants have special role in water quality improvement, and should be studied further.

Key words: river ecological restoration; aquatic plant zone; water quality improvement

在自然生态系统中, 自然河流的河岸带水生植物对稳定河岸, 提供野生动物栖息地, 维持河流生态系统的完整性起着重要作用。同时, 河道水生植物带可以去除河水中的营养物质^[1~3], 减轻河流的非点源污染^[4~7], 对改善河水水质, 提高河流自净能力有重要作用。但是, 随着社会的发展, 这些河道植物带受到人类的破坏, 许多河流的河岸水生植物带已经消失。目前, 许多国家开始或已经重视受损河道生态的修复问题。在河道浅水处种植水生植物, 人工恢复河道植物带是一种重要的恢复河流生态系统的措施^[8~10]。河道植物带通常混合生长有不同的水生植物, 有必要对不同混合植物带改善河水的特性进行深入研究。香根草^[11, 12]、芦苇^[13]、香蒲^[14]等挺水植物可以有效改善水质。本研究模拟河道水生植物带设计了浅水杂生植物+ 香蒲+ 芦苇带、香根草+ 沉水植物带等中试河岸带, 并利用它们处理受污染河水。旨在通过中试了解河道混合水生植物带对污染河水的处理情况, 为受污染河流的水质净化和生态修复提供技术基础。

1 材料与方法

1.1 河水水质

试验所用河水为山东淄博市孝妇河河水, 河水水质 1a 之中变化较大, COD 在 35~100 mg/L 之间, NH_4^+-N 在 5~30 mg/L 之间, TP 在 0.05~0.4 mg/L 之间, 河水的可生化性较差, 可生化系数在 0.1~0.2 之间。

1.2 中试场地

中试场地位于山东省淄博孝妇河黄土崖段的河滩地上, 由混合带 A、混合带 B 和空白带组成。各植物带长为 15m, 宽为 10m, 空白带宽为 5m。进水渗流坝高 50cm, 由 5~10cm 的碎石堆成, 出水渗流坝建于 30cm 的夯土坝上, 高 20cm, 由 5~10cm 的碎石

收稿日期: 2005-03-25; 修订日期: 2005-05-30

基金项目: 国家“十五”重大科技专项(2003AA601080)

作者简介: 李睿华(1967~), 男, 博士, 研究方向为水处理理论与技术。

* 通讯联系人 E-mail: Guanyt@mail.tsinghua.edu.cn

堆成.从进水到出水河岸带水深从 0 逐渐变为 30cm,形成类似于河岸边的斜坡.河水通过潜水泵直接打入进水槽,通过渗流坝使水均匀进入中试河岸带,出水通过渗流坝进入出水槽.

混合带 A 为香根草(前 1/3) + 沉水植物(后 2/3),混合带 B 为湿生植物 + 香蒲 + 芦苇,混合带 B 前 1/3 区域自然生长的植物,自然长出的植物有芦苇、蘆草及其它一些水生或湿生植物,中间 1/3 种植香蒲,后 1/3 种植芦苇.香根草、芦苇、香蒲及沉水植物均为孝妇河流域当地植物.芦苇、香根草、香蒲的种植方式为行距和列距均为 25cm,菱形种植.从附近水域捞取沉水植物,均匀投入所要种植的区域,使其自然生长,形成沉水植物区域,沉水植物有伊乐藻,东北金鱼藻等.



图 1 混合带 B 的照片

Fig. 1 Picture of mixed zone B

通过阀门调节进水流量,水力停留时间(HRT)为 2d 时,水力负荷为 8cm/d.在进水槽和出水槽取水样进行水质分析.

1、2 号中试场地于 2004-04 底分别移植香蒲、香根草、芦苇等,随后立即通入孝妇河水.在 5 月底时检查各植物的存活率发现所种植的植物基本全部成活.

运行时间从 2004-06-10~2004-09-13 共 95d.从 2004-06-25 开始调节进水量,植物带进水流量为 12m³/d,空白带进水流量为 6m³/d,各河岸带理论水力停留时间均为 2d;运行 60d 后,调节水量使各河岸带的运行时间为 1d.

1.3 分析方法

主要分析项目有 COD、NH₄⁺-N 和 TP 和浊度等,分析频次为每周 2 次. COD 分析采用重铬酸钾法;NH₄⁺-N 分析采用纳氏试剂分光光度法;TP 采用钼锑抗分光光度法;浊度采用浊度计测量.

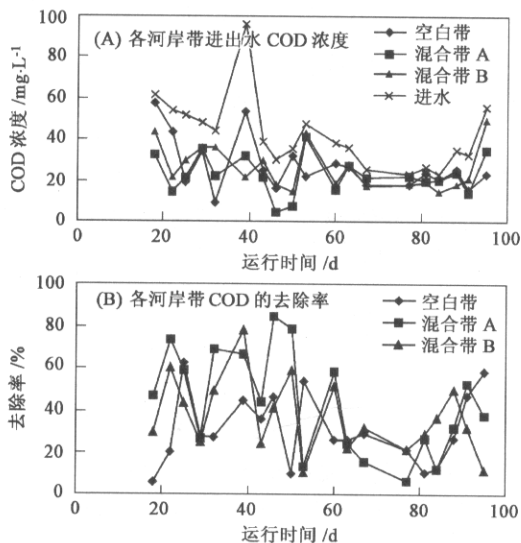
2 结果与讨论

2.1 各植物带 COD 的去除效果

图 2 是各河岸带对 COD 的处理效果.进水 COD 浓度除偶尔接近 100mg/L 外基本在 30~60mg/L 之间.7 月底孝妇河进入雨季后,COD 浓度相对较低,在 30~40mg/L 之间.出水 COD 浓度波动较大,不过大多数在 30mg/L 以下.

空白带、河岸带 A 和 B 在整个运行期间的平均 COD 去除率分别为 31.1%、43.5%、37.0%,这表明植物带对 COD 的去除效果比空白带要好,其中混合带 A 的效果最好.

在 HRT 为 2d 时空白带、混合带 A 和 B 对 COD 的平均去除率分别为 32.7%、56.4%、42.8%,HRT 为 1d 时各河岸带对 COD 的平均去除率则分别为 28.5%、29.5%、31.6%.对于各植物带而言,HRT 为 2d 时的平均去除效果大约比 HRT 为 1d 时高 10% 以上;对于空白带,HRT 为 2d 时的去除效果比 1d 时大约高 4%.表明水力停留时间的延长对植物带去除水中 COD 更有利.



运行时间第 60d 之前 HRT 为 2d,之后 HRT 为 1d

图 2 各中试河岸带对 COD 的处理效果

Fig. 2 Removal of COD in different pilot-scale riparian zones

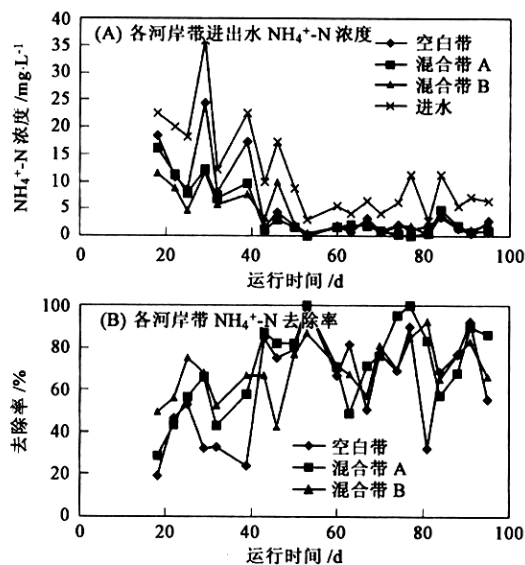
河道植物带处理降解水中污染物主要通过植物在水中的根和杆及水中的残败枝叶上吸附的微生物降解及植物的吸收等作用,土壤和水中的微生物也有一定的作用.植物密度、根的生长状况、植物根部的泌氧能力等对植物带处理河水效果有重要影响,决定了各植物带改善河水水质的特性.本试验中空白带对改善河水水质也有相当效果,与空白带中并

不完全“空白”,其中有少量的植物及土壤和水中的微生物作用有关.在3个中试河岸带中混合带A效果最好,沉水植物在改善河水水质方面有何作用,还需深入研究.

2.2 各植物带对 NH_4^+-N 的处理效果

图3是各河岸带对河水中 NH_4^+-N 的处理效果.整个运行期间,河水 NH_4^+-N 浓度在 $5\sim 35\text{mg/L}$ 之间变化.在7月底之前,河水 NH_4^+-N 浓度较高,在 $10\sim 35\text{mg/L}$ 之间.7月底孝妇河流域进入雨季直到9月中旬,河水流量较大,河水 NH_4^+-N 浓度相对较低,一般在 10mg/L 以下.在雨季之前植物带出水 NH_4^+-N 浓度基本在 10mg/L 以下,空白带在 15mg/L 左右;在雨季开始后各中试带出水 NH_4^+-N 浓度基本在 2mg/L 以下.

在整个运行期间,空白带、混合植物带A和B对 NH_4^+-N 的去除率分别为 62.2% 、 71.1% 、 69.2% ,混合带A效果最好.



运行时间 60d 之前 HRT 为 2d, 之后 HRT 为 1d

图3 各河岸带对 NH_4^+-N 的处理效果

Fig.3 Removal of NH_4^+-N in different pilot-scale riparian zones

2.3 各植物带对 TP 的处理效果

图4是各河岸带对 TP 的处理效果.空白带、混合带A和B对 TP 的平均去除率分别为 42.7% 、 69.3% 和 60.6% .有植物带对 TP 的处理效果好于空白带,混合带A对 TP 的处理效果最好.除偶尔 TP 浓度接近 0.4mg/L 外,进水 TP 浓度大多数情况下在 0.2mg/L 以下,达到地表水三类水体总磷标准,因此在开始阶段监测一段时间后决定不再连续

监测.

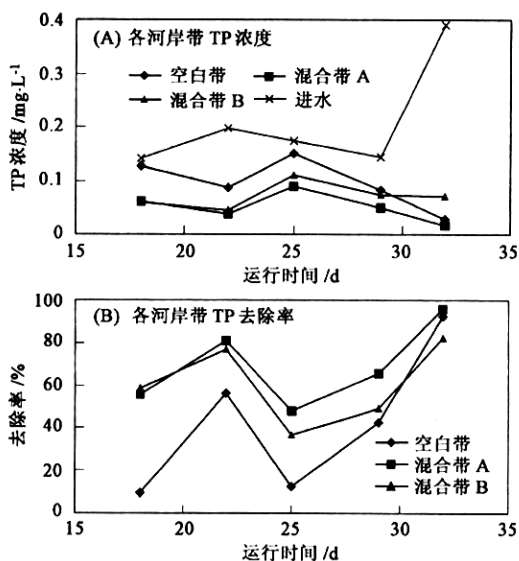


图4 各河岸带对 TP 的处理效果

Fig.4 Removal of TP in different pilot-scale riparian zones

2.4 各植物带出水的溶解氧与水温

为了了解河岸带对出水溶解氧的影响,在7月和9月对出水溶解氧进行了监测.监测点在各中试带靠近出水渗流坝中部的水底.图5是各河岸带出水溶解氧情况.空白带在2004-07-27以后监测的溶解氧较高,在 6mg/L 以上;2004-07-27之前的出水溶解氧在 $1\sim 2\text{mg/L}$ 左右,和进水相差不大.混合带A和B的出水溶解氧变化不大,且它们之间的差别也不大.

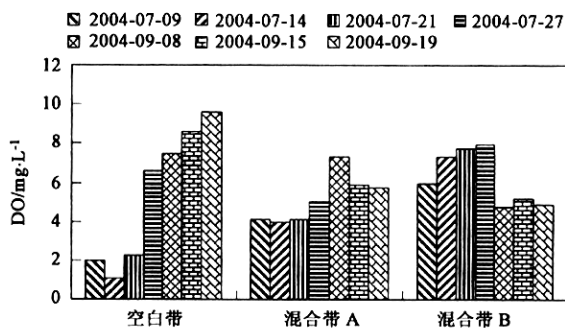


图5 各河岸带出水的溶解氧

Fig.5 DO of water from different pilot-scale riparian zones

中试带出水溶解氧的大小与其耗氧与复氧能力有关.耗氧主要表现为降解水中污染物而消耗氧气,及沉水植物的呼吸作用;复氧则有植物根部向水输送氧气、空气向水面输送氧气等.由于植物带植物生长茂密,风等气象因素对空气向水中输氧的影响

较小,主要受植物输氧的影响.空白带里植物很少,输氧主要受风等气象因素的影响.植物带出水溶解氧的波动远小于空白带,表明植物的存在起到稳定水体溶解氧的作用.

在监测出水溶解氧的同时也对出水水温进行了监测.图6是各河岸带出水水温情况.从图中可以看出空白带出水水温基本上都比植物带高.各河岸带出水平均温度分别为31.5、28.3和28.6℃.空白带出水平均水温高于各植物带3℃以上,表明河道植物带可以为水体起到很强的遮蔽作用.

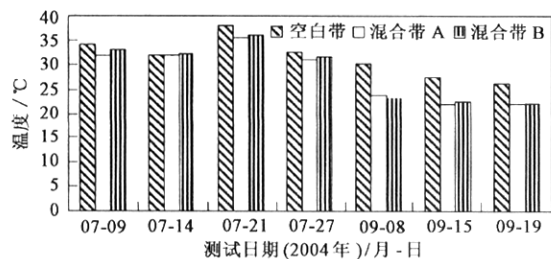


图6 各河岸带的出水水温

Fig. 6 Temperature of water from different pilot-scale riparian zones

3 结论

(1)对空白带、2种混合植物带进行了处理受污染河水的中试研究.整个运行时间内3个河岸带对COD的平均去除率分别为31.1%、43.5%、37.0%;对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均去除率分别为62.2%、71.1%、69.2%;对TP的平均去除率分别为42.7%、69.3%和60.6%.植物带的处理效果好于空白带,其中香根草+沉水植物混合带的处理效果最好.

(2)混合植物带水域中水的溶解氧比无植物带稳定,且在夏季水温低于无植物带水域的水温.说明

在河道修复中植物带对平衡河岸带环境条件、改善河流局部小气候有重要作用.

参考文献:

- [1] 王超,王沛芳,唐劲松,等.河道沿岸芦苇带对氨氮的削减特性研究[J].水科学进展,2003,14(3):311~317.
- [2] Jiang S R, Lin Y F, Lee D Y, *et al.* Nutrient removal from polluted river water by using constructed wetlands [J]. Bioresource Technology, 2001, 76:131~135.
- [3] 张军,周琪,何蓉.表面流人工湿地中氮、磷的去除机理[J].生态环境,2004,13(1):98~101.
- [4] 董哲仁,刘蓓,曾向辉.受污染水体的生物生态修复技术[J].水利水电技术,2002,33(3):1~4.
- [5] 刘礼祥,刘真,章北平,等.人工湿地在非点源污染控制中的应用[J].华中科技大学学报(城市科学版),2004,21(1):40~43.
- [6] Stone K C, Hunt P G, Novak J M, *et al.* In-Stream wetland design for non-point source pollution abatement [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003, 19(2):171~175.
- [7] Schulz R, Peall S K. Effectiveness of a constructed wetland for retention of nonpoint-source pesticide pollution in the lourens river catchment, South Africa [J]. Environ. Sci. Technol., 2001, 35:422~426.
- [8] 封福记,杨海军,于智勇.受损河岸生态系统近自然修复实验的初步研究[J].东北师范大学学报(自然科学版),2003,36:101~106.
- [9] 郑天柱,周建仁,王超.污染河道的生态修复机理研究[J].环境科学,2002,23(增刊):115~117.
- [10] 王薇,李传奇.河流廊道与生态修复[J].水利水电技术,2003,34:56~58.
- [11] 鲁敏,曾庆福.七种植物的人工湿地处理生活污水的研究[J].武汉科技学院学报,2004,17(2):32~35.
- [12] 廖新伟,骆世明.香根草和风车草人工湿地对猪场废水氮磷处理效果的研究[J].应用生态学报,2002,6:34~41.
- [13] 籍国东,孙铁珩,常士俊,等.自由表面流人工湿地处理超稠油废水[J].环境科学,2001,22(4):95~99.
- [14] 成水平,况琪军.香蒲、灯心草人工湿地的研究[J].湖泊科学,1998,10:66~71.