

河岸芦苇、茭白和香蒲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 100083)

摘要:利用中试规模的河岸植物带(芦苇、茭白、香蒲)及无植物空白带对受污染河水进行处理, 并对它们处理结果进行比较。结果表明, 3种植物均能强化污染物的去除, 其中芦苇带效果最好, 它在整个运行期间对 COD、 NH_4^+-N 和 TP 的去除效果分别为 43.7%、79.5% 和 75.2%。对出水溶解氧与水温进行了考察, 结果表明植物带水体的溶解氧变化比无植物带小, 水温比无植物带低。其中, 芦苇带水的溶解氧最高, 香蒲带水温和溶解氧最低。芦苇、茭白、香蒲带对河水中污染物的去除和改善水环境条件等方面表现了不同的特点, 在河岸带修复时应尽可能保证水生植物的多样性。

关键词:河流生态修复; 河岸植物带; 受污染河水

中图分类号: X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2006)03-0493-05

Pilot-Scale Study on Riparian *Phragmites communis*, *Zizania latifolia* and *Typha angustifolia* L. Zones Treating Polluted River Water

LI Rui-hua, GUAN Yun-tao, HE Miao, HU Hong-ying, JIANG Zhan-peng

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

Abstract: Pilot-scale riparian zones (no aquatic plant zone, *Phragmites communis*, *Zizania latifolia*, and *Typha angustifolia* L. zone) were used to treat polluted water. Their results of treatment were compared. It is shown that the vegetation zones can enhance removal of pollutants and *Phragmites communis* zone is the best in all four riparian zones. The average removal of the *Phragmites communis* zone is 43.7% for COD, 79.5% for ammonia and 75.2% for total phosphorus respectively. The dissolved oxygen (DO) and temperature of the effluent from the four water zones are also investigated. It shows that DO of effluent from the vegetation zones are more stable than that from the no vegetation zone, and the temperature of water from the vegetation zones are lower than that from the no vegetation zones. In the three vegetation zones, the *Phragmites communis* zone has the highest DO and the *Typha angustifolia* L. zone has the lowest water temperature and DO. Different vegetation zones have different merits in removing pollutants in water and in improving water environment. More species of aquatic plants should be planted in riparian restoration in order to keep biological diversity.

Key words: river ecological restoration, riparian plant zone, polluted river water

由于对河流的不合理整治、开发以及未经净化处理的生活污水、工业废水和农业退水直接排入河流, 使得许多河流的水质恶化, 生态系统遭到严重破坏。在河道浅水处种植水生植物, 恢复河道植物带是一种重要的恢复河流生态系统的措施^[1~3]。植物带中位于水面下的茎秆及水中的枯枝败叶上会附着大量微生物, 土壤中也会有大量微生物存在, 它们可以降解河水中的营养物质^[4~6], 减轻河流的非点源污染^[7~10]。另外, 植物可以吸收营养物质, 改善局部环境。河岸植物带修复河水在理论与实践上都有待深入研究。不同水生植物生长特性不同, 由其构成的河道水生植物带对河水水质的改善特点各不相同。本文模拟河道水生植物带设计了芦苇 (*Phragmites communis*) 带、茭白 (*Zizania latifolia*) 带、香蒲 (*Typha angustifolia* L.) 带等中试植物带, 并设置

空白带作为对照。利用它们处理受污染河水。研究旨在通过中试了解河道各种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

试验用水直接取自山东省淄博市孝妇河, 河水水质 1a 之中变化较大, COD 35~100mg/L, NH_4^+-N 5~30mg/L, TP 0.05~0.4mg/L, 河水的可生化性较差, 可生化系数一般只有 0.1~0.2。

收稿日期: 2005-03-25; 修订日期: 2005-05-27

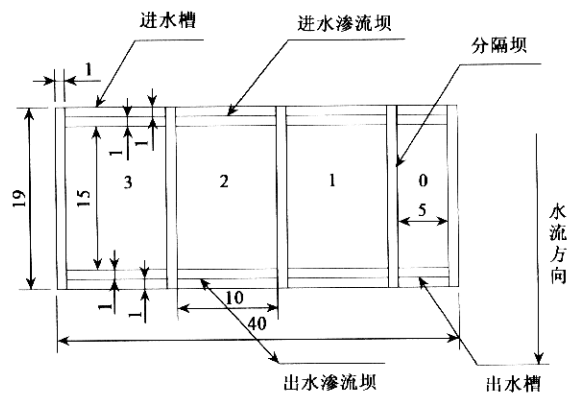
基金项目: 国家“十五”重大科技专项(2003AA601080)

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

* 通讯联系人, Guanyt@mail.tsinghua.edu.cn

1.2 中试场地及植物种植

中试场地位于山东省淄博孝妇河河滩地上.图1为平面图,图2为芦苇带照片.每个植物带长15m,宽10m,空白带宽5m.河水通过潜水泵直接打入进水槽,连续进水,通过渗流坝使水均匀进入试验植物带,出水通过渗流坝进入出水槽.试验植物带从进水到出水水深从0逐渐变为30cm,以考察不同水深中植物的情况.植物种植方式为行距25cm,列距25cm,菱形种植,植物2400棵左右.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.



0 为空白带;1 为芦苇带;2 为茭白带;3 为香蒲带
图1 中试场地平面图(图中数值单位为 m)
Fig.1 Plan of pilot-scale system

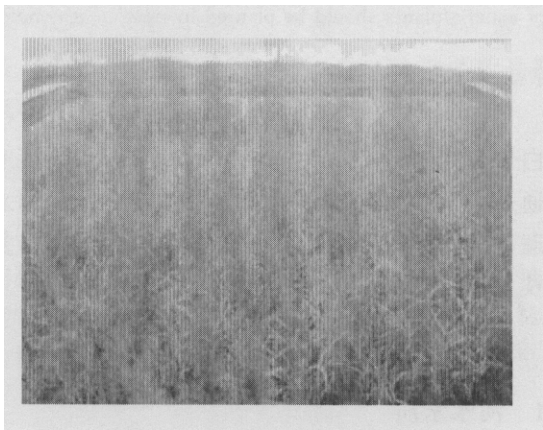


图2 芦苇带照片
Fig.2 Picture of *Phragmites communis* zone

1、2、3 号中试场地于 2004-04 底分别移植芦苇、茭白和香蒲,随后立即通入孝妇河水.当地没有茭白,所移植的茭白系从云南移植而来.由于植物的适应性及种植上的原因,在 5 月底时抽查各植物的存活率发现,芦苇、茭白和香蒲的存活率分别为 80%、50% 和 95% 左右.

试验时间从 2004-06-10~2004-09-13 共 95d.从 2004-06-25 开始调节进水量,1、2、3 号进水流量为 12m³/d,0 号进水流量为 6m³/d,各植物带理论水力停留时间均为 2d;运行 60d,调节水量使植物带的运行时间为 1d.

1.3 分析方法

主要分析项目有 COD、NH₄⁺-N、TP 和浊度等,每周分析 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 各植物带对 COD 的去除效果

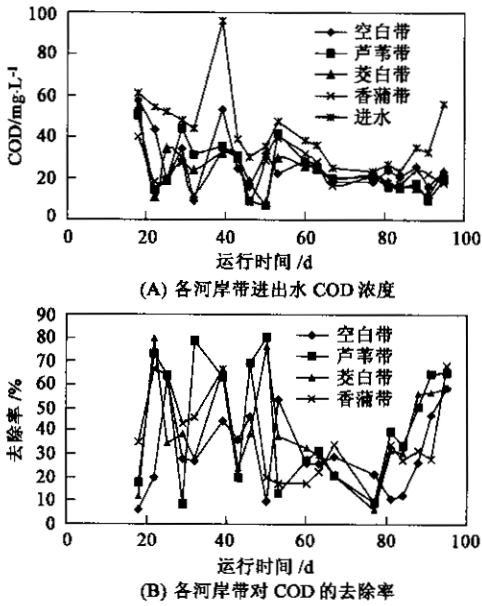
图 3 是各植物带对 COD 的处理效果.进水 COD 浓度除偶尔接近 100mg/L 外基本在 30~60 mg/L 之间.7 月底孝妇河进入雨季后,COD 浓度相对较低,在 30~40mg/L 之间.出水 COD 浓度波动较大,不过大多数在 30mg/L 以下.

水中 COD 的去除主要通过水中植物及枯枝败叶表面附着的微生物和水中悬浮的微生物的生物化学作用、土壤等物质的吸附及沉淀等作用去除.0、1、2、3 号植物带在整个运行期间的平均 COD 去除率分别为 31.1%、43.7%、39.9%、37.9%,这表明植物带对 COD 的去除效果比空白带要好,其中芦苇带的效果最好.

在 HRT 为 2d 时 0、1、2、3 号植物带对 COD 的平均去除率分别为 32.7%、46.9%、42.6%、42.3%,HRT 为 1d 时它们的平均去除率则为 28.5%、38.0%、35.8%、30.2%.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 8% 左右;对于空白带,HRT 为 2d 时的去除效果比 1d 时的大约高 4%.表明水力停留时间的延长对植物带去除水中 COD 更有利.

2.2 各植物带对 NH₄⁺-N 的处理效果

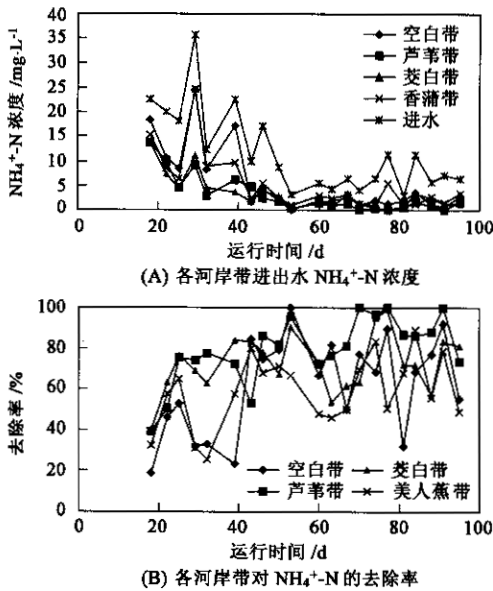
图 4 是各植物带对河水中 NH₄⁺-N 的处理效果.整个运行期间,河水 NH₄⁺-N 浓度在 5~35mg/L 之间变化.在 7 月底之前,河水 NH₄⁺-N 浓度较高,在 10~35mg/L 之间.7 月底孝妇河流域进入雨季直到 9 月中旬,河水流量较大,河水 NH₄⁺-N 浓度相对较低,一般在 10mg/L 以下.在雨季之前植物带出水 NH₄⁺-N 浓度基本在 10mg/L 以下,空白带在 15mg/L 左右;在雨季开始后各植物带出水 NH₄⁺-N 浓度基本在 2 mg/L 以下.



运行时间 60d 之前 HRT 为 2d, 之后 HRT 为 1d

图 3 各河岸带对 COD 的处理效果

Fig. 3 Removals of COD in different pilot-scale riparian zones



运行时间 60d 之前 HRT 为 2d, 之后 HRT 为 1d

图 4 各植物带对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的处理效果

Fig. 4 Removals of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in different pilot-scale riparian zones

水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除主要通过微生物的硝化与反硝化、植物的吸收 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 等. 在整个运行期间, 0、1、2、3 号植物带对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率分别为 62.2%、79.5%、72.7%、59.4%, 芦苇带效果最好, 反常的是空白带效果比香蒲带好.

在 HRT 为 2d 时 0、1、2、3 各植物带对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$

的平均去除率分别为 54.6%、70.7%、71.5%、55.6%, HRT 为 1d 时各植物带的平均去除率则为 69.3%、88.9%、73.8%、64.2%. 水力停留时间的缩短使 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率有大幅度的提高, 这一点非常反常.

分析可以发现, 在未进入雨季 (运行 40d 之前即 2004-07-22 之前) 之前空白、芦苇、茭白和香蒲 4 个植物带对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 处理的平均效果分别为 34.5%、65.0%、66.0%、45.0%, 香蒲带的效果要远好于空白带. 说明植物带对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的处理能力远强于空白带. 雨季使水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度较小, 很容易降解到一定低的程度, 因而不能充分显示植物带的优势, 加上中试试验在控制、取样上存在一定的误差, 使得空白带的去除效果在雨季期间比香蒲带好, 因而导致反常现象. 水力停留时间缩短反而使所有河岸带的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率大幅提高也应与雨季 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度低, 很易被降解有关.

2.3 各河岸带对 TP 的处理效果

图 5 是各植物带对 TP 的处理效果. 空白带、芦苇带、茭白带和香蒲带对 TP 的平均去除率分别为 42.7%、75.2%、58.5% 和 48.6%. 植物带对 TP 的处理效果均好于空白带, 芦苇带对 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.

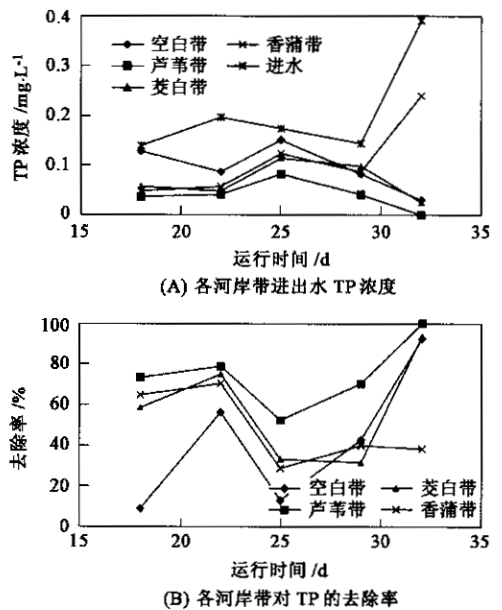


图 5 各植物带对 TP 的处理效果

Fig. 5 Removals of TP in different pilot-scale riparian zones

河道植物带降解水中污染物主要是通过植物在水中的根和茎上吸附的微生物及植物的吸收等作用,土壤和水中的微生物等的作用.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及吸附等作用有关.

2.4 植物带出水的溶解氧

为了了解植物对出水溶解氧的影响,在7、9月对出水溶解氧进行了监测.监测点在各植物带靠近出水渗流坝中部的水底.图6是各植物带出水溶解氧情况.植物带中,芦苇带出水溶解氧最高,茭白带次之,香蒲带最低.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1~2mg/L左右,和进水相差不大.

植物带出水溶解氧的大小与带内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;复氧则有植物根部向水输送氧气、空气向水面输送氧气等.由于植物生长茂密,风等气象因素对空气向水中输氧的影响较小,因此植物带水体主要受植物根部输氧的影响.空白带里植物很少,输氧主要受风等气象因素的影响.由图6可以初步判断植物根部向水输氧能力大小为芦苇>茭白>香蒲.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.

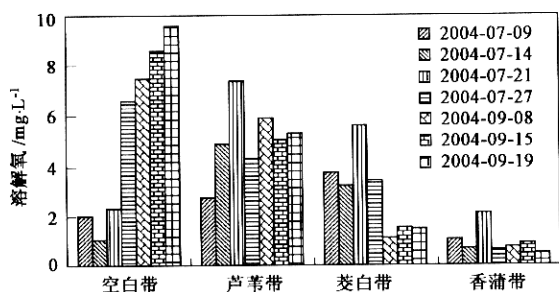


图6 各河岸带的出水溶解氧

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

在监测出水溶解氧的同时对出水水温进行了监测.图7是各河岸带出水水温情况.各植物带出水平均温度分别为31.5、29.1、27.9、23.9℃.空白带出水水温高于各植物带.香蒲带出水水温最低.其原因在于香蒲生长茂密、旺盛,植物密度高.空白带出水水温比香蒲带高7℃以上,表明茂密的植物可以为水体起到很强的遮蔽作用.

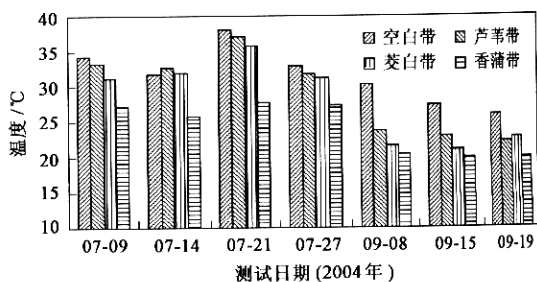


图7 各河岸带出水水温

Fig.7 Temperature of water from pilot-scale riparian zones

不同植物带出水溶解氧和水温差异较大.茭白和芦苇有较强的泌氧能力,其出水溶解氧较高;香蒲泌氧能力差出水溶解氧较低.在夏季植物带出水比空白带出水水温低.香蒲带平均出水水温比空白带低7℃以上,比其它植物带也低4℃以上,显示了其独特的遮蔽作用.河道植物带茂密的水生植物可以起到降低水温,改善局部微型气候的作用.

对于3种植物带而言,芦苇带改善河水水质效果最好,对N、P的降解更是显示出优异的效果.这与芦苇根系发达,有许多不定根悬浮于水体中,即能提供较大的微生物附着面积,又有较强的泌氧能力有关.香蒲带的效果虽不理想,但是其生长茂盛、浓密,可以为其它生物提供良好的栖息地,而且能够在夏季大幅度降低出水水温,改善局部微型气候.

上述试验结果表明不同河道植物带处理受污染河水时各有其特点,在进行受损河流生态修复时,应保证生物的多样性,将它们有机结合起来,发挥综合优势,力求达到生态修复和污染治理2个目标.

3 结论

(1) 对空白、芦苇、茭白和香蒲4个植物带进行了处理受污染河水的中试研究.整个监测时间内4个植物带对COD的平均去除率分别为31.1%、43.7%、39.9%、37.9%;对 NH_4^+-N 平均去除率分别为62.2%、79.5%、72.7%、59.4%;对TP的平均去除率分别为42.7%、75.2%、58.5%和48.6%.总体来看植物带的处理效果比空白带好,其中芦苇带的处理效果最好.

(2) 植物带中水的溶解氧一般情况下比无植物带稳定,且在夏季水温低于无植物带的水温.说明在河道修复中植物对提高河流自净能力,改善流域局部小气候有重要作用.

(3) 芦苇、茭白和香蒲等植物带对水中污染物的去除各有优点,在河道修复中进行植物引种时应

该考虑尽可能种植多种水生植物,这样既可以综合不同植物在去除水中污染物的优点,又能体现生态系统的多样性。

参考文献:

- [1] 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].东北师大学报(自然科学版),2003,36:101~106.
- [2] 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,2002,23:115~117.
- [3] 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.
- [4] 王超,王沛芳,唐劲松,等.河道沿岸芦苇带对氮氮的削减特性研究[J].水科学进展,2003,14(3):311~317.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.

热烈祝贺《生态毒理学报》创刊

由中国科学院生态环境研究中心申请主办的《生态毒理学报》(Asian Journal of Ecotoxicology)已获国家新闻出版总署批准,将于2006年起正式创刊、在国内外公开发行。

《生态毒理学报》是为顺应环境科学与生命科学交叉的学科发展趋势,推动国内环境风险研究领域发展的客观需要而创办的.该刊物的创刊为我国从事生态毒理和风险研究的学者和相关机构提供一个交流平台,填补了目前国内尚无专门刊载生态毒理学/环境风险研究领域学术论文的高水平专业期刊的空白,将在缩短我国在环境风险评价方法学及基础理论与国际前沿研究的差距、促进相关研究领域的学术发展发挥重要作用。

《生态毒理学报》主要报道有毒有害化学污染物对个体、种群和生态系统的毒害效应,在环境中的归宿(迁移,转化和降解),以及对整个环境(人体和生态系统)可能产生的危害和风险研究.《生态毒理学报》将积极报道我国环境风险与生态毒理学领域的科技工作者取得的创新性研究成果及新技术与新方法,推动该领域的学科发展,促进学术繁荣。

我们谨向《生态毒理学报》的创刊表示热烈的祝贺!并预祝《生态毒理学报》越办越好!

欢迎订阅,订刊代号:2-303.欲向《生态毒理学报》投稿及咨询者,请致电:(010)62941072,(010)62941073;联系人:刘晓光,付强;E-mail:stdlxb@rcees.ac.cn