

# 水生植物在水污染控制中的生态效应

白峰青<sup>1</sup>, 郑丙辉<sup>2</sup>, 田自强<sup>2</sup>

(1. 长安大学, 西安 710064; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

**摘要:**以水生植物为主体的水污染控制技术,利用植物及其微生物与环境之间的相互作用,通过分解、吸收或吸附作用,使水污染得到有效控制。利用水生植物对水污染的控制过程更强调人与自然的和谐相处,在净化污水的同时,也为野生生物提供了适宜的生存环境,使退化的水生生态环境得到改善。

**关键词:**水生植物; 水污染控制; 人工湿地; 生态效应

**中图分类号:**X173 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-6504(2004)04-0099-03

目前我国绝大部分的城市污水处理厂均采用传统的二级活性污泥法处理工艺,而高额的工程投资和运转费用则制约了其推广和应用,尤其是对我国欠发达地区,资金和能源短缺问题普遍,许多中小城镇仍没有完善的污水处理系统。大量的研究表明,即使是在资金有保障的前提下,仅靠建立污水处理厂对点源进行处理,也很难使水污染得到有效控制。通常植物在生长过程中,能忍耐土壤中高浓度的污染物,植物的这种抗毒性作用,为植物对土壤和水体中的污染物吸收和降解奠定了基础。该技术与我国的经济水平相适应,对于解决中小城镇的污水处理和生态环境的改善具有重要的实践意义。

## 1 水生植物的生态效应

水生植物除了直接吸收、固定、分解污染物外,通常只是间接地参与污染物的分解,通过对土壤中细菌、真菌等微生物的调控来进行环境的修复,植物在水污染控制中生态效应主要表现在以下方面。

### 1.1 物理作用

覆盖于湿地中的水生植物,使风速在近土壤或水体表面降低,有利于水体中悬浮物的沉积,降低了沉积物质再悬浮的风险,增加了水体与植物间的接触时间,同时还可以增强底质的稳定和降低水体的浊度<sup>[1]</sup>。

此外,植物的存在削弱了光线到达水体的强度,阻碍了植物覆盖下的水体中藻类的大量繁殖,尤其是在浮萍类植物的湿地系统中比较常见。植物的存在对基质具有一定的保护作用<sup>[2]</sup>,在温带地区的冬季,当枯死的植物残体被雪覆盖后,植物则对基质起到很好的保

护膜作用,可以防止基质在冬季冻结,以维持冬季湿地系统仍具有一定的净化能力。植物对基质的水力传导性能产生一定的影响,植物的根在生长时对土壤具有干扰和疏松作用,当根死亡或腐烂后,会留下一些管型的大孔隙,在一定程度上增加了基质的水力传导性。

淹没于水中的水生植物的茎和叶形成的生物膜,为大量的光合细菌、藻类和原生微生物等在植物组织上的生长提供了一定空间,埋藏于土壤中的根和根区也为微生物的活动提供了巨大的物理活动表面,植物根系也是重金属和某些有机物的沉积场所<sup>[2]</sup>。因此,植物地上和地下的生物膜对于湿地中发生的所有微生物过程都具有重要作用。

### 1.2 植物对污染物的吸收作用

植物的生长和繁殖离不开营养物质,水体中的相当部分的营养物被植物转化或保存在植物体内。对于不同生活型的水生植物,普遍认为漂浮植物吸收能力强于挺水植物,沉水植物最差。与木本植物相比草本植物对污水中的污染物则具有较高的去除率,如有芦苇的湿地对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率接近 100%,而无芦苇时,仅为 40%~75%<sup>[3]</sup>。定期和持续地从湿地系统中收获成熟的植物,并能妥善处理收获的植物,是保证污水中的养分被有效去除和防止对水体造成二次污染的唯一途径<sup>[4]</sup>。

植物对污水的净化作用是植物吸收和微生物综合作用的结果,植物的存在有利于硝化、反硝化细菌的生存。张鸿<sup>[5]</sup>等研究表明,在种植水芹、凤眼莲的湿地中,硝化和反硝化细菌的数量均高于没有植物的湿地,水芹湿地的细菌数量多于凤眼莲湿地的细菌数量,但前者对氨氮的去除率却低于后者,说明人工湿地系统中对 N 的去除植物的吸收占主导地位。吴振斌等<sup>[6]</sup>在进行的上、下行流的复合人工湿地系统的研究中,分别种植不同植物的湿地对 COD、BOD<sub>5</sub>、TN、TP 的去除效果均好于没有种植植物的对照湿地。湿地植

基金项目: 国家 863 计划项目资助(2002AA601012 - 06); 陕西省 2002 年科技发展项目资助(2002K09 - G13)

作者简介: 白峰青(1963 - ),男,副教授,博士生,主要从事水资源与生态环境方面的教学和科研工作,发表论文 20 余篇。

物直接吸收和利用可利用态 P,起到去 P 的作用,并且植物的生长状况直接影响到植物的去除效果,植物的良好长势是对 P 去除的保证<sup>[7]</sup>。

### 1.3 植物根系释放

湿地系统具有明显的缺氧环境,湿地中氧的传播速率约为陆地环境氧的传播速率的万分之一<sup>[8]</sup>。水生植物则具有适合在缺氧条件下生存的结构与特征,包括茎肥大,茎和根的中心具有较大的组织,茎中空,具浅根系等。植物的这种特殊结构,有利于氧在其体内的传输并能传递到根区,不仅满足了植物在缺氧环境的呼吸作用,而且还可以促进根区的氧化还原反应与好氧微生物的活动。将光合作用产生的氧传递到根区,在根区的还原态的介质中形成氧化的微环境,根区有氧区域与缺氧区域的共同存在为根区的好氧、兼氧和厌氧微生物提供了各自的小生境,使不同微生物都能发挥各自的作用<sup>[9]</sup>。

氧在植物根部的释放主要取决于植物内部氧的浓度、周围基质的需氧量以及植物根壁的渗透性。植物通过吸收而在根部释放氧是由其本身的结构所决定的,植物的结构阻止了其在径向的泄露,并努力使释放到根区的氧的损失减少到最小。氧的释放率一般在根的亚顶端区域最高,并随距离根尖的增大而降低<sup>[5]</sup>。水生植物具有对流型通气组织,其根区和根部都具有较高的内部氧的浓度,这种对流型的气体的流动明显增加了可供氧根的长度,同时还可以通过氧化和脱毒减少根部一些潜在的有害物质。

除了根系可以释放氧外,根系还可以释放其它物质。一些植物的根系分泌物能杀死污水中的细菌和病原微生物,湿地运行过程中对细菌的高去除率,验证了上述结论<sup>[10]</sup>。一些植物释放的克生物质对其它植物的生长产生抑制或促进作用,表现植物间的相生相克作用。凤眼莲、水花生、水浮莲、宽叶香蒲等可以分泌出克藻物质,对水体中藻类的繁殖具有明显的克制作用。同样藻类也可以对高等水生植物产生克制作用,尤其是当藻类大量繁殖形成水华时,高等水生植物的生长率和叶绿素均呈下降趋势。

## 2 水生植物对水污染控制的影响因素

大量实践证明,水污染的控制与植物的类型、群落构成、覆盖度、水体透明度等因素相关。

### 2.1 植物类型和群落构成

在提高植物处理效果研究方面,一个重要的研究内容是如何选择合适的植物种类和确定不同植物的组合。漂浮植物是人工湿地中常用的一类植物,就去除效果而言,凤眼莲的净化效果最好。挺水植物芦苇、香

蒲的使用频率最高。很显然,不同的物种或同一物种在不同湿地环境中的净化效果都会有较大的差异性。作者在宜兴进行的以多种植物构成的人工湿地系统净化河水的试验结果表明,多种植物合理的搭配较单一植物具有较好的处理效果,混合种不仅使湿地的净化率提高,且净化效果更稳定,夏汉平<sup>[11]</sup>的研究结果也证明了这一点,且混合种有可能解决  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的净化问题。吴振斌、邱东茹等<sup>[12]</sup>利用在武汉东湖建成的大型围隔生态系统,对水生植物特别是以沉水植物为主的水生植物群落对水质的改善作了定性、定量研究。试验结果表明,沉水植物可以显著改善水体的理化性质,在不同营养级水平上具有维持水体清洁和自身优势稳定状态的机制,水生植物有过量吸收营养物质的特性,可降低水体富营养化水平。

水生生态系统逐步恢复,关键取决于其自身的自净能力和环境容量,而自净能力和环境容量又取决于稳定的和优化的水生植物群落的形成。沉水植物群落的是建立草海优化生态系统的基础,草海历史上长期以来,沉水植物就是湖泊中最主要的生产者。随着水体富营养化的加剧,沉水植物大量消亡,草海的水生植物群落的构成发生了很大的变化,漂浮植物凤眼莲成为草海的单优势群落,致密生长的凤眼莲使湖水复氧受阻,水体中溶解氧得不到补充。凤眼莲虽具有很强的吸收 N、P 的能力,但过度繁盛的凤眼莲腐烂造成的二次污染反而加重了水体的富营养化水平。

### 2.2 植物的覆盖度、污水浓度

菹草对水体和底泥中的 N、P、Pb、Zn、Cu、As 等有较强的吸收、富集作用<sup>[13]</sup>。吸收能力的大小与其生物量和群体的覆盖度有关,当菹草的保持覆盖度为 50% 时,生物量最大,净化效率也达到最大。陈国强等<sup>[14]</sup>研究了不同磷浓度对睡莲和菱叶片生理活性的影响,研究表明,随着磷营养盐水平的提高,叶内无机磷的含量也逐渐增加,而叶绿素则随磷含量的增加而降低。综合考虑磷对两种植物各指标的影响,认为菱的最适宜的浓度为 0.1mmol/L,睡莲为 0.5mmol/L,超过或低于该浓度,都会对其生理活性产生不利影响。该研究结果间接反映了不同植物对磷的吸收作用,为去磷植物的选择提供了参考。

### 2.3 环境因子

影响水生植物去除率的因素有光照、水温、溶解氧、pH、营养盐和风浪等因素有关,不同生活型的水生植物对这些因素的敏感性不同。所有水生植物都有其适合生长的季节和适宜的温度,水体的透明度则成为

(下转第 110 页)

- [J]. 环境科学学报, 1999, 19(4): 357-361.
- [10] 张良, 成思危.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  对型煤同硫作用的机理探讨[J]. 环境科学, 1997, 18(1): 65-67.
- [11] 庞亚军. 掺加粉煤灰提高含钙脱硫剂的烟气脱硫率的实验研究[J]. 工程热物理学报, 1992, 13(4): 443-447.
- [12] 武增华, 许玲, 陈昌和. 添加剂对氧化钙固硫促进作用的机理探讨[J]. 煤炭转化, 2000, 23(3): 72-76.
- [13] 许玲, 武增华. 催化剂对固硫反应动力学的影响[A]. 环境友好催化[C]. 杭州: 浙江大学出版社, 1994, 44.
- [14] Hiroaki Tsuchiai, Tomohiro Ishizuka, Hideki Nakamura, et al. Highly active absorbent for  $\text{SO}_2$  removal prepared from coal fly ash[J]. Ind. Eng. Chem. Res., 1995, 34(4): 1404-1411.
- [15] Tomohiro Ishizuka, Takashi Yamamoto, Takeshi Murayama, et al. Effect of calcium sulfate addition on the activity of the absorbent for dry flue gas desulfurization[J]. Energy & Fuels, 2001, 15: 436-444.
- [16] Fernández J, Renedo M J, Pesquera, et al. Effect of  $\text{CaSO}_4$  on the structure and use of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /fly ash sorbents for  $\text{SO}_2$  removal[J]. Powder Technology, 2001, 199: 201-205.
- [17] 肖佩林, 李书年. 铁硅系添加剂对型煤燃烧时硫行为的影响[J]. 环境科学学报, 1996, 16(1): 97-101.
- [18] Torres-Ordóñez R J. Sulfur reaction as  $\text{CaS}(\text{s})$  during coal combustion: a modeling study to define mechanisms and possible technologies[J]. Fuel, 1993, 72(5): 633-643.

(收稿: 2003-03-03; 修回: 2003-04-07)

(上接第 100 页)

沉水植物的限定因子。大量的研究表明, 在水体的一定深度存在光补偿点和补偿深度, 只有在光补偿(点)深度以上, 沉水植物才能进行正常的光合作用和呼吸作用, 植物才能生长。

### 3 展望

植物在水污染控制中的作用已在很多水体恢复试验中得到验证, 但水生植物在其中的作用, 国内外目前还存在一些争议<sup>[15]</sup>。绝大多数的室内和现场试验都表明, 水生植物的作用是高效的或有效的。水生植物能否发挥其最大的净化及应用潜力, 关键在于植物种类的选择和植物群落的搭配, 特别是通过试验选择耐污性强、净化效果好、适宜其生存环境的物种是一项优先考虑的工作。多个物种的合理搭配无疑会增强系统的对水体的净化效果, 而根据各地的具体情况对植物筛选和系统观测研究, 则是选择理想物种, 发挥植物最大潜能的有效途径。利用水生植物对污水的净化作用对污染水体的修复过程, 很少有废物和排放物产生, 无疑为我国日益恶化的水环境修复提供了一个良好的途径, 具有广阔的市场和应用前景。

#### [参考文献]

- [1] Robert H Kadlec, Robert L Knight, et al. Constructed Wetlands for Pollution Control[M]. USA: IWA Publishing, 2002, 93-102.
- [2] Brix H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands[J]. Water Science and Technology, 1997, 35(5): 11-17.
- [3] Drizo A. Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate[J]. Water Science and Technology, 1997, 35(5): 95-102.
- [4] Hosoi Y. Field examination on reed growth, harvest and regeneration for nutrient removal[J]. Water Science and Technology, 1998, 38(1): 351-359.
- [5] 张鸿, 陈光荣, 吴振斌, 等. 两种人工湿地氮、磷净化率与细菌分布关系的初步研究[J]. 华中师范大学学报, 1999, 33(4): 575-578.
- [6] 吴振斌, 成水平, 贺锋, 等. 垂直流人工湿地设计及净化功能初探[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 715-718.
- [7] 王晓月, 徐清山, 葛莹. 人工湿地对西湖南点源的治理研究[J]. 杭州师范学院学报, 2001, 18(6): 6-10.
- [8] Robert H Kadlec, Robert L Knight, et al. Constructed Wetlands for Pollution Control[M]. USA: IWA Publishing, 2002, 1-6.
- [9] Fennessy M S, Gonk J K, Mitsch WJ. Macrophyte productivity and community development in created freshwater wetlands under experimental hydrological conditions[J]. Eco. Eng., 1994, 3(4): 469-484.
- [10] 吴振斌, 成水平, 贺锋, 等. 垂直流人工湿地的涉及及净化功能研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 715-718.
- [11] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理与效率[J]. 生态学杂志, 2002, 21(4): 51-59.
- [12] 吴振斌, 邱东茹, 贺锋, 等. 水生植物对富营养化水体水质净化作用的研究[J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(4): 299-303.
- [13] 赵晟, 吴学灿, 夏锋. 滇池水生植物研究概述[J]. 云南环境科学, 1999, 18(3): 4-8.
- [14] 陈国强, 刘双, 王娜, 等. 磷对水生植物菱及睡莲叶生理活性的影响[J]. 南京师大学报, 2002, 25(1): 71-77.
- [15] Brix H. Functions of macrophytes in constructed wetlands[J]. Sci. Technol., 1994, 29, 71-78.

(收稿: 2003-10-28; 修回: 2003-12-08)

( Department of Environmental Engineering ,  
Zhejiang University , Hangzhou 310029)

**Abstract:** The mechanism of biofilm electrode reactor (BER) , a new process for denitrification was introduced. The effect factors on BER was reviewed and the aspects needed to further study was proposed.

**Key words:** biofilm electrode reactor ; mechanism ; effect factors

### Ecological Effects of Aquatic Plants on Water Pollution Control

BAI Feng-qing<sup>1</sup> , ZHEN G Bing-hui<sup>2</sup> , TIAN Zi-qiang<sup>2</sup>

(1. Chang 'an University , Xi 'an 710064 ;

2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences ,  
Beijing 100012)

**Abstract:** As a principal technique of water pollution control , aquatic plants make water pollution control effectively by decomposition , absorption , and adsorption among plants , microbes and environment . A harmonious relationship between nature and mankind was obtained by using aquatic plant to treat wastewater , and to provide benefiting environment for wild creatures and improve deteriorating aquatic ecosystem .

**Key words:** aquatic plants ; water pollution control ; constructed wetlands ; ecological effects

### Characteristics and New Degradation Developments of Microcystins

YANG Guang-jun , ZHEN G Zheng , WANG Can ,  
NI Li-xiao , ZHOU Tao

( State Key Laboratory of Pollution Control and Resources  
Reuse ,

Nanjing University , Nanjing 210093)

**Abstract:** This paper discussed the molecular structure of microcystins as well as their physical and chemical characteristics . The control and degradation treatment of microcystins were also summarized . Further study needed to reduce pollution of microcystins .

**Key words:** microcystin ; microcystins ; degradation ; removal efficiency

### Extraction Analysis of Organic Pollutants in Water

YU Ya-juan , HUANG Hong ,

WANG Ge-hui , WANG Lian-sheng

( State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse ,  
School of Environment , Nanjing University , Nanjing 210093)

**Abstract:** Several extraction methods for organic pollutants analysis in water sample were introduced , and further discussion on their detection limit and sensitivity was also developed .

**Key words:** organic pollutant ; extraction ; water ; trace

### Mechanism of Calcium Sulfate Addition for Desulfurization Chemicals

DON G Shan-ning , DON G Hui-ling ,

CHEN Chang-he

( Department of Thermal Energy Engineering ,  
Tsinghua University , Beijing 100083)

**Abstract:** Calcium sulfate addition on the activity of desulfurization was reviewed with aspect of dry flue gas diffusion and gas-solid reactions . Dominant problems that existed in study and application were analyzed and its prospectives were discussed as well .

**Key words:** additive ; dry fixed sulfation ; CaO ; Ca(OH)<sub>2</sub> ; flue gas desulfurization

### Advances on Application of Biosensor to Environmental Monitoring

L IU Xiao-bing , J IAN G Bo-quan , L IU Hai

( College of Environmental and Chemical Engineering ,  
Nanchang University , Nanchang 330029)

**Abstract:** This paper reviewed new progress of biosensor applying to environmental monitoring , including detection of arsenide , sulphide , insecticide and herbicide 's remains , on-line monitoring of wastewater quality , measurement of BOD and ammonia nitrogen , detection of phenol and odorous compounds , as well as monitoring of air and exhaust gas .

**Key words:** biosensor ; environmental monitoring ; environmental protection