

# 新兴绿色技术——水生植物修复技术

任照阳<sup>1</sup>, 邓春光<sup>2</sup>

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 400020)

**摘要:** 水体富营养化治理已成为当今世界性难题, 解决水体富营养化问题的关键是调控水生生态系统结构, 使其恢复自然、健康和稳定的水生生态系统功能, 提高水生生态系统的生物净化能力。水生植物是水生生态系统中最重要初级生产者, 在水生生态系统物质和能量循环中处于十分重要的地位。水生植物修复技术具有投资、维护和运行费用低, 管理简便, 处理效果好, 可改善和恢复生态环境, 回收资源和能源以及收获经济植物等优点, 浮岛技术、人工湿地等技术也取得了显著的成就。植物修复技术作为一种绿色技术, 将会有更加广阔的发展天地。

**关键词:** 水生植物; 富营养化; 浮岛技术; 人工湿地; 绿色技术

中图分类号: X171.4 文献标识码: A

## A New Green Phytoremediation Technology of Aquatic Plants

REN Zhao-yang<sup>1</sup>, DENG Chun-guang<sup>2</sup>

(1. Urban Construction and Environmental Engineering College, Chongqing University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 400020, China)

**Abstract:** Water eutrophication control has become a global problem. The key points of its solution is to manipulate the structure of aquatic ecosystem, to recover its natural, healthy and stable function, and to improve its biological purification capability. Aquatic plant is the most important primary producer of aquatic ecosystem, and placed in a very important position in material and energy cycles of aquatic ecosystems. Phytoremediation technology of aquatic plants has the advantage of low investment and management cost, convenient operation, and good disposal effect. It also can improve and recover environment, recycle resources and energy, and get economical plants. The technology of floating island and artificial wetlands has obtained notable effect. As a green technology, phytoremediation will have a vaster development space.

**Key words:** aquatic plants; eutrophication; floating island; artificial wetlands; green technology

植物作为生物圈生态系统的重要成员, 既是环境的受害者, 又是环境的改造者。由于植物在维系生态平衡中的特殊地位, 人们对于植物与环境的关系格外关注, 试图充分认识环境对植物的影响及植物对环境变化的反应, 以达到利用植物修复受污染的生态系统、改善生存条件的目的。

## 1 水生植物的净化修复作用

水生维管束植物在水生生态系统中处于初级生产者的地位, 通过自身的生长代谢可以大量吸收氮、磷等水体中的营养物质、吸附悬浮颗粒物、抑制低等藻类生长、富集重金属等。一般来说, 几乎所有的水生维管束植物(简称“水生植物”)都能净化污水。水体污染物主要有金属污染、农药污染、有机物污染、非金属如氮、磷、砷、硼等污染及放射性元素如铯、镭、铀等污染。水生植物对这些污染物的净化包括附着、吸收、积累和降

解几个环节。

水生高等植物芦苇是国际上公认的处理污水的首选植物。100 g 的芦苇, 一天可将 8 mg 的酚分解为二氧化碳。目前, 芦苇床人工湿地在我国已用于处理乳制品废水、铁矿排放的酸性重金属废水等。另外, 水生植物对富营养化水体的治理也取得了很大的成就。

植物的皮、壳等对重金属废水也有净化的效果。棉秆皮、棉铃壳对重金属离子铜、镉、锌有明显的吸附作用; 谷子谷壳黄原酸酯对重金属离子 Hg、Pb、Ca、Cu、Co、Cr、Bi 有良好的捕集效果; 松木对 Cu 有脱出作用等。

## 2 水生植物修复技术的优点

植物修复技术具有投资和维护成本低、操作简单、甚至不造成二次污染、且具有保护表土、减少侵蚀和水土流失等作用,

它能有效地去除有机物、氮磷等多种元素。可吸收、富集水中的营养物质及其他元素,可增加水体中的氧气含量,或有抑制有害藻类繁殖的能力,遏制底泥营养盐向水中的再释放,利于水体的生物平衡等。高等植物能有效地用于富营养化湖水、河道生活污水等方面的净化,是一项既行之有效又保护生态环境、避免二次污染的治理污染水体的好方法。

### 3 水生植物修复机理

高等水生植物在生长过程中,需要吸收大量的 N、P 等营养元素。当水生植物被运移出水生生态系统时,被吸收的营养物质随之从水体中输出,从而达到净化水体的作用。水生植物群落的存在,为微生物和微型生物提供了附着基质和栖息场所。这些生物能大大加速截留在根系周围的有机胶体或悬浮物的分解矿化。

此外,水生植物的根系还能分泌促进嗜磷、氮细菌生长的物质,从而间接提高净化率。浮水植物发达的根系与水体接触面积很大,能形成一道密集的过滤层,当水流经过时,不溶性胶体会被根系粘附或吸附而降下来,特别是将其中的有机碎屑沉降下来。与此同时,附着于根系的细菌体在进入内源生长阶段后会发生凝集,部分为根系所吸附,部分凝集的菌胶团则把悬浮性的有机物和新陈代谢产物沉降下来。

水生植物和浮游藻类在营养物质和光能的利用上是竞争者,前者个体大、生命周期长,吸收和储存营养盐的能力强,能很好地抑制浮游藻类的生长。某些水生植物根系还能分泌出克藻物质,达到抑制藻类生长的作用。另外,水生植物根圈还会栖生某些小型动物,如水蜗牛,能以藻类为食。

挺水植物可通过对水流的阻尼或减小风浪扰动,使悬浮物质沉降。在易受风浪涡流及底层鱼类扰动影响的浅水湖泊底层,沉水植物有利于形成一道屏障,使底泥中营养物质溶出速度明显受到抑制<sup>[1]</sup>。水生植物还能通过植物残体的沉积将部分生物营养元素埋入沉积物中,使其脱离湖泊内的营养循环,进入地球化学循环过程<sup>[2]</sup>。湖边以挺水植物为主的水陆交错带,有利于对面源污染物的去除和沉淀等。总之,水生植物的存在,有利于形成一个良性的水生生态系统,并能在较长时间内保持水质的稳定。

## 4 水生植物修复技术

### 4.1 浮岛技术

植物浮岛主要是利用无土栽培技术,采用现代农艺和生态工程措施综合集成的水面无土种植植物技术。通过扎在水中的根系吸收大量的氮、磷等营养物质,对有机污染物起到促降的作用;植物根系、浮床和基质在吸附悬浮物的同时,为微生物和其他水生生物提供栖息、繁衍场所,兼可美化水域景观<sup>[3,4]</sup>。

1995 年日本专业研究者们首先在霞浦(土浦市大岩田)进行一次隔离水域试验,在隔离水域上设置人工浮岛,一段时间后该水域水质有了明显好转;1996 年在土浦港的人工浮岛经调查结果显示浮岛对水质的净化起了重要作用;随后,又在滋贺县琵琶湖在大约 1 500 m<sup>2</sup> 的水域里设置了 60 个人工浮岛,净化水质效果良好<sup>[5]</sup>。日本在琵琶湖、霞浦、诹访湖等有名的湖

泊和许多水库以及公园的池塘等各种水域采用的浮岛净化技术,不仅有效的净化了水质,而且大大的改善了区域景观<sup>[6]</sup>。

### 4.2 人工湿地技术

人工湿地(Constructed Wetlands)是 20 世纪 70 年代发展起来的一种废水处理新技术,与传统的污水二级生化处理工艺相比,具有净化效果好、去除 N 与 P 能力强、工艺设备简单、运转维护管理方便、能耗低、对负荷变化适应性强、工程建设和运行费用低、出水具有一定的生物安全性、生态环境效益显著、可实现废水资源化等特点。人工湿地是人工建造的、可控制和工程化的湿地系统,其基本原理是通过湿地自然生态系统中的物理、化学和生物作用来达到废水处理的目的。

加拿大潜流芦苇床湿地系统在植物生长旺季中的 TN 平均去除率为 60%,TKN 为 53%,TP 为 73%,磷酸盐平均去除率为 94%<sup>[7]</sup>。英国芦苇床垂直流中试系统用于处理高氨氮污水,平均去除率可达 93.4%<sup>[8]</sup>。靖元孝等<sup>[9]</sup>利用种植风车草的潜流型人工湿地对生活污水进行净化,TN、TP、COD 和 BOD 的去除率分别为 64%、47%、74% 和 74%。崔理华<sup>[10]</sup>等在垂直流人工湿地中采用煤渣、草炭混合基质代替砂砾基质,以风车草(*Cyperus alternifolius*)为湿地植物构成垂直流人工湿地系统,以观察其对化粪池出水中 P、N 和有机物的净化效果。结果表明,对化粪池出水中的 COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和总 P 的去除率分别为 76%~87%,88%~92%,75%~85% 和 77%~91%。

### 4.3 水生植被的组建及恢复

在湖泊、水库组建常绿型人工水生植被,使之形成生长期和净化功能的季节性交替互补,不仅可以净化湖泊、水库内的水质,而且可以阻止大量的外来污染物进入水体。对水生植物构成的水陆交错带对陆源营养物质截流作用的研究<sup>[11]</sup>,如在白洋淀进行的野外实验,表明其湖周水陆交错带中的芦苇群落和群落间的小沟都能有效地截流陆源营养物质。

多种植物组合比单种植物能更好地对水体净化,目前有越来越多的试验研究采用多种植物的组合。这可能是由于:不同水生植物的净化优势不同,有的可以高效地吸收氮,有的却能更好地富集磷;每种植物在不同时期的生长速率及代谢功能各不相同,由此导致不同时期对氮、磷等营养元素的吸收量也不同,而且随着植物发育阶段不同,附着于植物体的微型生物群落也会发生变化。微型生物群落的变化会直接影响植物对水体的净化率,当多种植物搭配使用时就有利于植物间的取长补短,保持较为稳定的净化效果;多种植物的组合具有合理的物种多样性,从而更容易保持长期的稳定性,而且也会减少病虫害。高吉喜等<sup>[12]</sup>的研究结果支持了这一观点。

### 4.4 消落带植物修复

消落带是指水利工程因运行需要调节水位消涨或自然水系最高水位线与最低水位线之间形成的消落区域,一般包括河道堤岸型、湖泊堤岸型和水库岸坡型 3 种。水库消落带在库区水体与陆岸之间形成的巨大环库生态隔离带,是一种特殊的水陆交错湿地生态系统。

消落带植被能拦截陆岸水土流失带来的大量泥沙并吸收非点源污染物质,减少水库与河道的淤积与污染;以消落带植

被为主体的消落带湿地生态系统能分解吸收库区水体中的营养物质,减少库区的富营养化水平;消落带生态系统是河流生态系统的重要组成部分,其健康状况直接影响到大量生物的生存;消落带植被有固定河岸的作用,能防止堤坡因河水的冲刷而崩垮。

## 5 水生植物的资源化利用

所有水生植物体都可以作为能源,即产生沼气加以利用。有些水生植物还可以食用,如莲藕、菱角等。莲子菜、芦苇、荇菜等可以入药。芦苇可以编制苇席,这已是白洋淀人民经济支柱。水生植物是良好的绿肥,又是好的饲草,它们营养丰富,生长很快,水中的氮、磷被它们吸收后转化成蛋白质等营养物质。如果用这些草来养鱼、养鸭、养鹅又能产生一定的经济效益。所以在种植水生植物时,可有目的地挑选一些利用价值较高的水生植物如绿萍、浮莲、水花生、水葫芦等。再在水中放养适量鱼虾和水禽,适时收获水产品,使水体保持一个较为稳定生态环境,从而获得环境效益和经济效益双丰收。

在实际应用中,尽量采用后期有较大经济价值的水生植物,是非常必要的。由文辉等<sup>[13]</sup>在富营养化水体中,轮种水芹和水菜菜,可水中移除掉 TN 204.80 g/(m<sup>2</sup>·a), TP 24.62 g/(m<sup>2</sup>·a),同时又可收获蔬菜 50 kg/m<sup>2</sup>,具有显著的环境效益和经济效益。

## 6 结语

植物修复技术是一项新兴的绿色污染治理技术,它尽管起步较晚,但由于投资相对较低,兼具修复、保护和美化环境的功能,其研究与应用已引起各国政府和科学工作者的高度重视,被认为是一种很有前途的生物修复技术之一。

由于植物修复技术是一个崭新的研究领域,还存在许多问题有待进一步的发展与完善,如处理时间长、占地面积大及受气候影响严重等。建立更多的应用植物修复技术的示范性基地,取得经验后加以推广。在应用研究的同时,深化应用基础研究。

希望这一新兴“绿色”技术能与地方生态治理工程项目相结合进行推广、服务于社会,这将对我国的环境污染防治、生态

恢复重建有着重大的现实意义和深远的历史意义,因而有着广阔的应用前景和推广价值。

### 参考文献:

- [1] 培 民. 健康水生生态系统的退化及其修复理论、技术及应用[J]. 湖泊科学, 2001, 13(3): 193-203.
- [2] 李文朝. 东太湖沉积物中氮的积累与水生植物的沉积[J]. 中国环境科学, 1997, 17(5): 418-421.
- [3] Dean, et al. Advancing research for bioremediation[Z]. Environ Prog, 1992, 3.
- [4] Shunroku Nakamura. "Design with Nature" in nature-oriented river works in Japan[R]. Int. WS for Eco-hydraulics & Eco-rivers Engineering, Taiwan, 2003.
- [5] 丁则平. 日本的湿地净化技术——人工浮岛(AFD)[DB/OL]. 《观念》网刊, 2005.
- [6] 郭培章, 宋 群. 中外水体富营养化治理案例研究[M]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [7] Garba L, Jacques B, Linda D et al. Nitrogen and phosphorus removal in a subsurface-flow reed bed[J]. Water Quality Research Journal of Canada, 1998, 33(2): 319-329.
- [8] Michael M, Robert H. The design and performance of a vertical flow reed bed for the treatment of high ammonia low suspended solids organic effluents[J]. Wat. Sci. Tech, 1997, 35(5): 197-204.
- [9] 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.
- [10] 崔理华, 朱夕珍, 骆世明. 煤渣—草炭基质垂直流人工湿地系统对城市污水的净化效果[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 597-600.
- [11] 尹澄清, 兰智文, 晏维金. 白洋淀水陆交错带对陆源营养物质的截留作用初步研究[J]. 应用生态学报, 1995, 6(1): 76-80.
- [12] 高吉喜. 水生植物对面源污水净化效率研究[J]. 中国环境科学, 1997, 17(3): 247-251.
- [13] 由文辉. 水生经济植物净化受污染水体研究[J]. 华东师范大学学报, 2000, (1): 99-102.
- [14] 张洪刚, 马安娜, 洪剑明. 垂直流人工湿地的设计及净化功能初探[J]. 节水灌溉, 2006, (6).
- [5] 杨 洪, 易朝路, 谢 平, 等. 人类活动在武汉东湖沉积物中的记录[J]. 中国环境科学, 2004, 24(3): 261-264.
- [6] Ta W, Xiao Z, Qu J. Characteristics of dust particles from the desert/Gobi area of northwestern China during dust-storm periods [J]. Environmental Geology, 2003, 43: 667-679.
- [7] 杨丽萍, 陈发虎. 兰州市大气降尘污染物来源研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 499-502.
- [8] 张 晶, 陈宗良, 王 玮. 北京市大气小颗粒物的污染源解析[J]. 环境科学学报, 1998, 18(1): 62-67.
- [9] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 第3版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989, 280-285.
- [10] GB3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [11] 朱广伟, 秦伯强, 高 光. 浅水湖泊沉积物磷释放的重要因子铁和水动力[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(6): 762-764.

(上接第 16 页) 由引水前的 5~6 mg/L 下降到 1~2 mg/L; 东湖西部水域的生化需氧量(BOD)浓度亦降到 4~5 mg/L, 化学需氧量(COD)浓度也有类似于生化需氧量(BOD)浓度的改善。这说明引江灌湖是改善东湖水环境的一项重要措施。

### 参考文献:

- [1] 苏秋克, 蒋敬业, 姜益善, 等. 武汉城市湖泊环境地球化学研究——以东湖为例[J]. 安全与环境工程, 2003, 10(3): 20-23.
- [2] Charlesworth S, Foster I. Sediment budgets and metals fluxes in two contrasting urban lake catchments in Coventry, UK. Applied Geography, 1999, 19: 199-210.
- [3] 胡瑞春, 刘光强, 金洁理. 武汉东湖湖泊污染地球化学特征研究[J]. 湖北地矿, 2003, 17(4): 26-30.
- [4] 陈 汤, 邢 琪, 陆春霞, 等. 广州市空气可吸入性颗粒物化学元素组成特征[J]. 环境科学研究, 1999, 12(4): 1-5.