

人工湿地在处理污水中的应用研究进展

刘 雯, 崔理华

(华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

[摘 要] 近年来, 全球的水体污染和富营养化现象越来越严重, 而对于水资源紧缺的我国, 这一现象已严重影响了国民经济的发展. 人工湿地是一种目前国际上较多采用的处理污水的工艺. 本文较全面地介绍了这些年来应用人工湿地中微生物和植物对污水净化的研究概况, 并提出了人工湿地处理污水的应用前景.

[关键词] 人工湿地; 污水净化; 生物修复; 植物修复

[中图分类号] X505 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-642X(2002)03-0029-04

1 前言

随着新世纪的到来, 我国国民经济飞速发展, 人民生活水平得到了很大的提高, 但同时也带来了一系列的环境问题, 其中水污染是环境污染的一个重要方面. 对于水资源极其紧缺的中国, 怎样解决环境问题、治理水污染就显得尤为重要. 特别是近年来随着工业化和城市化的提高, 工业污水和城市生活污水的排放量不断增加, 在不少城市出现了严重的水污染, 若不及时控制与治理, 将危及人们的身体健康, 势必阻滞国民经济的发展, 甚至威胁人类生存. 据估计, 我国每年排放污水量达数亿吨, 但只有 24% 的工业污水和 4% 的生活污水经过处理, 80% 的饮用水源遭到污染, 而已建成的传统的污水处理厂远远不能满足污水处理的需要, 这就更加剧了水资源的缺乏. 因此, 积极创新技术、寻求防治水污染的新模式就显得日益紧迫, 人工湿地正是顺应这一要求而发展起来的一种简便有效的生态工程污水处理技术.

2 人工湿地

2.1 人工湿地的含义

人工湿地是一种人工建造和监督控制的与沼泽类似的地面^[1], 是 20 世纪 70~80 年代蓬勃兴起的一种废水处理新技术. 其设计和建造是通过对湿地自然生态系统中的物理、化学和生物作用的优化组合来进行的, 一般利用这三者的协同作用来处理污水. 目前, 人工湿地废水处理工艺主要有 3 种形式, 即表面流工艺(SFW)、地下潜流工艺(SSFW)、立式流湿地工艺(VFW).

2.2 人工湿地处理污水的优点

自前西德 1974 年首先建造人工湿地以来, 该工艺已在欧洲得到推广应用, 在美国和加拿大等国也得以迅速发展. 而我国对于人工湿地的研究起步较晚, 于 1990 年 7 月才在深圳建起我国第一个人工湿地污水处理工程——白泥坑人工湿地污水处理系统^[2]. 目前, 人工湿地的规模大小差别很大, 最小的可以处理一家一户排放的污水, 而大的可以处理千人以上村镇排放的污水. 由于我国经济发展水平不很高, 目前又在加强城镇化建设, 而许多地方尤其是中小城市和乡村尚缺乏具有一定操作管理及技术水平的人员, 因此这种污水处理系统特别适合我国国情, 在中小城市和广大农村的污水处理中具有极其广阔的应用前景. 更重要的是, 人工湿地系统可以促进废水中植物营养素的循环, 构成了一个完整的生态系统, 是一项低投资、低能耗、低运行费、氮、磷去除率高的治理工程技术, 具有较好的经济效益和生态效益^[3-4]. 因此, 人工湿地污水处理系统越来越受到国内外政府和环境保护工作者的关注.

[收稿日期] 2002-03-21

[作者简介] 刘 雯(1977—), 女, 湖北仙桃人, 华南农业大学资源环境学院硕士研究生.

3 人工湿地净化污水的原理及应用

3.1 原理

人工湿地净化废水的机理十分复杂,迄今还未完全弄清楚.污水中的不溶性有机物通过湿地的沉淀、过滤可以很快从废水中截留下来,被微小生物加以利用;可溶性有机物则可通过生物膜的吸附及微生物的代谢过程被去除^[5].另外一种观点认为人工湿地成熟以后,填料表面吸附了许多微生物形成的大量生物膜,植物根系分布于池中,于自然生态系统中通过物理、化学及生化反应这三重作用来净化污水.这两种观点虽然有些差异,但其净化污水的实质基本相同,即应用湿地中物理、化学、生物的协同作用来消除污染.

物理作用,即当污水进入湿地,经过基质层及密集的植物茎叶和根系,使污水中的悬浮物固体得到过滤,截留住污水中的悬浮物,并沉积在基质中.这一过程也有人称之为物理沉积.

所谓化学反应,是指由于植物、土壤-无机胶体复合体、土壤微生物区系及酶的多样性,人工湿地污水中的污染物可以通过各种化学反应如化学沉淀、吸附、离子交换、拮抗、氧化还原等过程得以去除.这些化学反应主要取决于所选择的基质类型,例如,含CaCO₃较多的石灰石有助于磷的去除;含有机物丰富的土壤有助于吸附各种污染物.

一般地,去除有机污染物主要是依赖系统中的生物与其发生生化反应.德国学者Kickuth R1977年根区法理论认为,由于生长在湿地中的挺水植物对氧的运输、释放、扩散作用,能将空气中的氧气转运到根部,再经过植物根部的扩散,在植物根须周围微环境中就会有大量好氧微生物将有机物分解,提高对生物难降解有机物的去除效果.另一方面,在根须较少达到的地方将形成兼氧区和厌氧区,有利于硝化、反硝化反应和微生物对磷的过量积累作用,从而达到除磷、氮效果.

3.2 应用

3.2.1 污水的微生物修复

近年来随着一些新技术特别是生物技术的发展,使得生物修复的可行性与有效性逐渐增强,也被越来越多的人接受和采纳,环境生物技术在生物修复、治理污染方面的作用就显得日益重要.简单地说,生物修复就是利用生物的生命代谢活动来减少污染环境中的有毒有害物的浓度或使其无害化,从而使污染了的环境能够部分或完全地恢复到原初状态的一个过程.

微生物具有分布广泛、数量巨大、代谢类型多样和适应突变能力强的特点,因而任何存在污染物的地方都会出现相应的降解微生物,并存在着或强或弱的生物降解作用.在人工湿地中微生物的代谢作用是污水中有机污染物质降解的主要机制^[6],污水中的有机污染物质包括含氮、含磷化合物,经微生物的作用降解成终级产物释放到大气中,或者固定于土壤,或者成为水生植物及微生物可吸收的营养物质,或者转化为对水环境无毒或弱毒的物质^[7].

研究发现,污染物分解的最终电子受体的种类与浓度也极大地影响着生物修复的速度和程度.Stephen R H等通过向含苯、乙苯和航空燃油等石油烃的污水中添加氮源来促进生物修复使其降解率达到了66%,说明厌氧生物在该系统中起主导作用.此外,对生物修复的实验室模拟、生物降解潜力的指标、修复水平的评价、实验室研究的接种物以及风险评价等方面的更深入研究,将进一步促进生物修复技术的发展和应^[6,8,9].但是,陈金霞等研究发现微生物活性易受环境条件的影响,在有些情况下生物修复技术不能将污染物全部去除.因此,人工湿地的生物修复技术还面临着很大的挑战,今后基因工程菌和从根本上消除污染的生物修复技术将成为研究的热点.

3.2.2 污水的植物修复

植物是人工湿地的重要组成部分,在人工湿地系统中植物代替曝气机输氧,同时也为碎石等基质内微生物群落创造了有利的活动场所.张甲耀等^[10]的试验表明,有植物系统的人工湿地总氮(TN)的去除率明显高于无植物系统的,植物修复的作用很显著.一般地,人工湿地的植物要选择高等水生维管植物,美国对芦苇、香蒲、灯心草、水葱等植物净化污水进行过大量的研究;深圳市白泥坑人工湿地也栽种芦苇、灯心草、蒲草来处理污水^[2].选择的这些植物是耐污能力强、根系发达、茎叶茂密、抗病虫害能力强,且有一定经济价值的植物.华南农业大学崔理华教授等人应用这一原理进行污水花卉栽培,并已获国家专利,就是很好的证明.

水生植物在人工湿地污水净化中起着十分重要的作用.一方面水生植物自身能吸收一部分营养物质,另一方面它的根区为微生物的生存和降解营养物质提供了必要的场所和好氧、厌氧条件^[11-12].人工湿地植物根系常形成1个网络状的结构,在这个网络中根系不仅能直接吸附和沉降污水中的氮、磷等营养物质,而且还能为微生物的吸附代谢

提供良好的生物物化环境。与此同时,附近的微生物能通过代谢消耗水体中的溶解氧,使之呈现厌氧状态,有利于反硝化过程的进行,从而最大限度地除去污水中的 NO_3^- [13]。不同的植物种类以及植物体不同的部位吸收营养物质的能力不同,它们依次为叶→根→茎→胚轴,并且随着污水浓度升高而升高。此外,在植物体的不同生长期其磷含量也是不相同的。张鸿研究了凤眼莲、水芹人工湿地对东湖污水中氮、磷净化率与有关细菌的嗜磷、氮的关系,结果发现:人工湿地中,植物除本身可以直接吸收氮、磷化合物外,其根系分泌物也可促进某些嗜磷、氮细菌的生长,促进氮、磷释放、转化,从而间接提高净化率。有植物的湿地系统,上述细菌数量显著高于无植物的系统,且植物根部的细菌数也比介质中高 1—2 个数量级。在除氮机制中,植物起主导作用,而在磷的净化过程中,细菌是一个限制因子 [14]。

水生植物的重要功能之一就是将其氧气从植物上部输送到根部,在根区或根际形成一种好氧环境,这一环境能刺激有机物质的分解和硝化细菌的生长,从而达到去除污水中氮、磷等营养物质的目的。由于湿地中植物光合作用的光反应、暗反应交替进行,根毛输氧多、少的交替出现,以及系统内部不同区域对氧消耗量的差异,导致了系统中厌氧、好氧的交替出现,使磷的过量释放和过量积累得以完成。这是常规二级处理方式所难以满足的。利用水生植物净化污水的效果主要依靠植物运送氧气到根区的能力。因此选择合适的水生植物种类在净化污水过程中至关重要。詹发萃等在国家“七五”攻关“综合生物塘技术及贵州城区污水综合生物塘处理研究”中也发现,在凤眼莲藻菌系统人工水草系统及水花生 (*Alternanthera Philoxeroides* Griseb) 等几种不同的生态系统中,水生植物去污效果依次为:凤眼莲→藻菌→人工水草好氧系统→人工水草厌氧系统 [15]。

所以,目前研究的关键仍然是筛选出能超量积累污染物的植物以及能显著改善植物吸收性能的方法。利用植物基因工程技术,构建出高效去除环境中污染物的转基因植物,是植物修复研究的努力方向。由于环境中的污染物成分复杂,且常共同存在,因此在筛选植物时应筛选出能同时吸收多种污染物的植物,以用于实际环境中。

4 人工湿地的研究进展

采用湿地改善水质并非一项新发明,中国古代和古埃及使用此法已有许多年,但有关这方面的报道最早是由澳大利亚 Brian Mackney 于 1904 年发表的 [16]。通常废水直接或间接排入洼地,若当时没有湿地,污水的排放也会很快导致湿地的形成 (Cooper and Boon 1987)。

在上世纪 60 年代中期,Dr. Seidel 与 Dr. Kickuth 合作并由 Dr. Kickuth 开发了“根区法”(RZM),该根区法由一个种植有芦苇的矩形池组成。选择含有钙、铁、铝添加剂的土壤,以改善土壤结构和对磷的沉淀性能。水以地下潜流形式水平流过芦苇根。污水流过芦苇床时,有机物被降解,氮被硝化、反硝化,磷与铁等沉积于土壤中。但此法的问题在于土壤渗透能力并非象 Dr. Kickuth 预测的那样随时间延长而增大,芦苇传氧到根的能力也通常比 Dr. Kickuth 声称的要少 [17]。20 世纪 90 年代以来,我国对人工湿地系统也有较深入的研究。通过对香蒲、灯心草人工湿地净化城镇污水的试验结果表明其出水水质总体上达到国家 2、3 级地面水标准:灯心草湿地对人工污水中凯氏氮、总灰分、化学耗氧量的去除率维持在 94% 以上,氨氮的去除率为 82%~99.7% [14]。人工湿地不仅被广泛用于工业污水的治理,而且也被用于农业及其他行业。不过,也有研究表明除草剂和难降解高分子化合物可显著降低反硝化微生物的除氮能力, Cr^{3+} 、 Cr^{6+} 对反硝化作用也有抑制作用,因此确定废水中有毒、有害污染物的负荷水平对维护人工湿地的高效、持久运转有重大的意义。现在人工湿地还被广泛用于新兴领域,如况琪军等 [18] 利用人工湿地生态系统去除水体中的藻类效果显著,这说明人工湿地系统在污水深度处理或者在减少水体富营养化、抑制藻类疯长等方面都有其独特的作用。

5 前景展望

人工湿地系统是一个综合性的生态系统,具有缓冲容量大、处理效果好,一般可达到二级和高级水平。它应用生态系统中物种共生、物质循环再生原理,结构与功能相关原则,在促进废水中污染物良性循环的前提下充分发挥资源的生产潜力,防止环境的再污染,获得污水处理与资源化的最佳效益。人工湿地自广泛使用以来已提供了不少成功的例证。正因为它在污水的修复方面表现了极大的发展潜力,从而得到公众的普遍接受。为了进一步提高生物学效率,并且有新的突破,现在人们又开始研究极有潜力的遗传工程微生物系统 (Genetically engineered microbial systems (GEMS)) 获得对极毒和极难降解有机污染物高降解能力的工程微生物,其中野外应用载体 (Field application vectors) 的研究受到高度重视,即把编码降解有污染物酶的质粒或基因,整合到能在污染地生长存活的土生微生物 DNA 中,使具有很强野外存活能力的微生物获得较强的污染物降解能力,充分发挥生物修复的作用 [19-23]。

但是并不能说人工湿地是一项十分完美的技术,它还存在许多问题,相信随着时间的推移,人们必定会克服人工湿地处理技术中的缺陷,可以预见人工湿地一定会有广阔的应用前景.

[参考文献]

- [1] 杨朝飞. 中国湿地现状及其保护对策[J]. 中国环境科学,1995(6):407-411.
- [2] 郑雅杰. 人工湿地系统处理污水新模式的探讨[J]. 环境科学进展,1995,3(6):1-8.
- [3] 诸惠昌,胡纪萃. 新型废水处理工艺—人工湿地的设计方法[J]. 环境科学,1993,14(2):39-43.
- [4] 胡康萍. 人工湿地污水处理系统初步研究[J]. 上海环境科学,1991,10(9):41-44.
- [5] 吴晓磊. 人工湿地废水处理机理[J]. 环境科学,1995,16(3):83-86.
- [6] Prince M,Sambasivam Y. bioremediation of petroleum wastes from the refining of lubricant oil[J]. Environ Prog,1993,12(1):5-11.
- [7] 成水平,况琪军,夏宜铮. 香蒲、灯芯草人工湿地的研究——Ⅰ. 净化污水的空间[J]. 湖泊科学,1998(1).
- [8] Rosenblatt D H,Manning J F. Evaluation of health risks from a buried mass of diesel fuel before and after bioremediation[J]. J Soil Contam,1994,3(1):1-27.
- [9] Bienkinsopp S,Sergy G. Emerging research in oil spill bioremediation[J]. Spill Technol Newslet,1993,18(1):6-10.
- [10] 张甲耀,等. 潜流型人工湿地污水处理系统氮去除及氮转化细菌的研究[J]. 环境科学学报,1999,19(3):323-327.
- [11] Brix H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants—the root-zone method[J]. Wat Sci Technol,1987,19:107-118.
- [12] Reddy,Nutrient Trans of mations in Aquatic Macrophyte Filters Used for Water Purification, P. 600-678. In future of Water Reuse Reuse Vol. 2. Proc. of Water Reuse Symp. III. San Diego ca. 26-31. August,AWWA Research foundation,Denver. Co.
- [13] Reddy, Diel variations in physico-chemical parameters of water in selected aquatic systems[J]. Hydrobiologia,1981,85: 201-207.
- [14] 成水平,况琪军,夏宜铮. 香蒲、灯芯草人工湿地的研究——Ⅰ. 净化污水的效果[J]. 湖泊科学,1997(4).
- [15] 詹发萃,邓家齐,等. 几种不同生态系统对BOD去除效率的比较研究[J]. 水生生物学报,1995,19(增刊):87-93.
- [16] Cooper P F, Boon A G. The use of phragmites for waste water treatment by the root zone method. The DK approach. In Reddy K R, Smith W H(eds.)Aquatic plants for water treatment and resource recovery[M]. Magnolia Pubishing Orlando,1987. 153-174.
- [17] Seidel K,Happel H,Graue G. Contrigutions to revitalization of waters 2nd idn. Stiftung Limnologische Aebeitsgruppe Dr. Seidel e. V. Krefeld(Germany),1978. 1-62
- [18] 成水平,况琪军,夏宜铮. 人工湿地生态系统的除藻研究[J]. 水生生物学报,2000,24:655-658.
- [19] Fredrickson J K,Bolton H,Brockmon F J. In situ and on-site bioreclamation[J]. Environ Sci Technol,1993,27(9):1711-1716.
- [20] Hicks B N, Caplan J A. Bioremediation;A natural solution[J]. Pollution Engineering, 1993,25(2):30-33.
- [21] Lajie C A, Zylstra G J,Defflaun M F, et al. Development of field application vectors for biotemediation of soil contaminated with polychlorinated biphenyls[J]. Appl Environ Microbiol,1993,59(6):1735-1741.
- [22] Skeen R S, et al. Battelle Pacific Northwest Labs. Richland. W A(USA),1992, Apr,12pp.
- [23] Davis L C, et al. Environmental Progress,1993,12(1):67.

The Application and Research of Development of Artificial Wetland Wastewater Treatment

LIU Wen,CUI Li-hua

(College of Resource and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642,China)

Abstract: Now,phenomenon of global water pollution and utrophication more and more serious,while this phenomenon already has influenced the development of our country economy for china of water resource very lacking. In the world, presently artificial wetland is a technics of waste water treatment that is used more and more. This paper mainly introduce the research instance of application of artificial wetland waste water purification,and introduce development foreground of constructed wetland in waste water treatment.

Key words: artificial wetland;waste water decontamination;bioremediation;phytoremediation