

❖ 化学研究 ❖

水生植物在水污染治理中的应用研究进展

周元清^{1,3} 吴兆录^{2,3} 赵雪冰³ 李园^{3①}

(1. 玉溪师范学院 化学与环境科学系,云南 玉溪 653100 2. 中国科学院 西双版纳热带植物园,云南 昆明 650223 3. 云南大学 生态学与地植物学研究所,云南 昆明 650091)

[关键词] 水生植物 污水 净化机理 净化效果

[摘要] 阐述了水生植物治理水污染的研究进展情况、净化机理和效果. 提出了水生植物在污水处理中需要关注的问题,并展望了该技术的发展前景.

[中图分类号] X503.23 [文献标识码] A [文章编号] 1009-9506(2006)12-0069-04

水体富营养化在今后几十年内是我国水环境的重大问题. 我国目前90%以上城市水域受到污染,有7亿人在饮用大肠杆菌含量超标的水,1.7亿人饮用被有机物污染的水,3亿城市居民正面临水污染这一世界性问题. 据对全国50个代表性湖泊的综合评价,75%以上的湖泊水质受到不同程度污染,超过V类水质的湖泊15个,占30%. 对全国50个代表性水库的调查表明,III类水质以上的水库数量为17个,占34%. 而到目前为止,我国水体富营养化防采用的主要仍然是“Vollenweider方法”,即单纯从控制外源污染、减少外源养分负荷为主. 20世纪80年代以来,人们在治理水体富营养化时发现,当显著减少外源养分负荷以后,水质并未得到明显改善,水体中的N、P浓度特别是P浓度并未降低,原因在于沉积物已成为水体N、P的重要来源,即所谓“内源负荷”. 因此,生态恢复成为了水环境治理的最佳途径. 该途径在有效控制外源污染的同时,通过调控水生生态系统结构,恢复自然、健康和稳定的水生生态系统功能,增强对外界干扰的缓冲能力,使水生生态系统处于良性和可持续循环当中.^[1]

水生大型植物是水生生态系统的重要组成部分和主要的初级生产者之一,介于水-泥、水-气及水陆界面,对生态系统物质和能量的循环和传递起调控作用.^[2,3]因此,越来越多的专家与学者关注用生态方法来解决水污染问题,尤其是水生植物,它不仅能起到净化水的作用,还能改善生态环境,促进退化水生生态系统的恢复. 本文将从小型水生低等植物和大型水生高等植物两个方面来阐述水生植物在水污染治理中的应用研究进展.

1 小型水生低等植物在水污染治理中的应用

小型水生低等植物主要是指浮游藻类,如小球藻、栅藻、螺旋藻等. 藻类污水处理法具有净化效率高、系统建造运行费用低等特点,而且处理后产生的沉积物(主要是死藻)干燥后还可作为很好的肥料和鱼饲料添加剂. 此外,由于藻类在污水净化过程中产生大量的氧气,可减少水体因缺氧而形成的恶臭气体,因此,用藻类治理水污染得到越来越广泛的应用.^[4]

1.1 对污水中氮、磷的净化机理和净化效果

营养物质是藻类生长的限制因子之一,但藻类生长良好,对氮磷营养物质去除效率也高. 藻类对营养物质的去除取决于污水中营养物质浓度、氮磷比例和营养物利用度及藻细胞内营养物浓度等. 对氮的去除,一般为吸收利用,且优先吸收氨氮和其他还原态氮,由于藻类不产生活性硝酸还原酶,它对硝态氮的吸收仅仅发生在氨氮浓度极低或耗尽时. 对磷的去除通常受N/P比影响,当污水中氮浓度高而磷浓度低时,藻类对磷

① 收稿日期] 2006-10-11

[作者简介] 周元清(1974-)女,云南元江人,博士研究生,从事生物化学和环境生态学的教学研究工作.

[基金项目] 国家重点基础研究发展规划课题“973”项目基金资助(2002CB412306)

的去除率升高,反之,藻类对磷的去除率下降.适宜比值在 $N/P=7\sim 15/1$.^[5]

Tam 和 Wong^[6]将小球藻和栅藻分别培养在一级处理出水和二级处理出水中,结果表明,两种藻类在一级处理水中生长得较好,对氮、磷的去除率在培养一周后即达到 70% 以上. Govindan^[7]在利用藻类处理混合污水时发现,除了氮磷被大量去除外, BOD(生物需氧量)和 COD(化学需氧量)也减少了 90%.

1.2 对污水中有机物的净化机理和净化效果

污水中有机物可为藻类生长提供重要的碳源.藻类对有机物的去除主要是通过富集和降解.对于不同藻类及不同污染物其富集机制亦不相同^[8].

Hosett^[9]认为单种藻类对 BOD 的去除比单种细菌或原生动物更有效,其中普通小球藻(*Chlorella vulgaris*)对 BOD 的去除率可达到 83%. 林毅雄^[10]发现斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)、策哈衣藻(*Chlamydomonas reinhardi*)和普通小球藻对丙体-666 有机农药的去除效果明显. Maguire^[11]对金属有机物净化的研究发现,纤维藻能在 25 $\mu\text{g/L}$ 的三丁锡中生长,并能将三丁锡降解为二丁锡、单丁锡和无机锡.邓星明等^[12]利用藻菌生物膜净化炼油废水发现,坑形席藻能去除正十四烷.刘厚田等^[13]证明,在藻菌共生系统中,藻类也能单独降解偶氮染料.

1.3 对污水中重金属的净化机理和净化效果

藻类对重金属的去除取决于光照、温度、pH、重金属浓度及其化学形态、其他离子和螯合剂的有无及水硬度等物理、化学因素.通常认为藻类去除重金属的过程分为吸附和转移两个阶段.吸附的途径很多:重金属与藻细胞表面的负电荷反应点(一般为多糖类)的结合发生吸附-转移是一种主动运输的过程,需要代谢提供能量.^[14]

Soeder^[15]认为,空心藻在温度为 23 $^{\circ}\text{C}$ 时,20 h 后从含铅 1 mg/L 溶液中吸收 100% 的铅,在温度为 30 $^{\circ}\text{C}$ 时,仅 1.5 h 就能从溶液中吸收 90% 的铅,对镉的吸收效率要低一些,24 h 后仅从 40 mg/L 镉溶液中吸收 60% 的镉.杨红玉和王焕校^[16]认为在低于 0.5 mg/L 浓度的镉溶液中,绿藻能有效吸收镉,此时的富集系数也最大.

2 大型水生高等植物在水污染治理中的应用

大型水生高等植物是一个生态学范畴上的类群,是不同分类群植物通过长期适应水环境而形成的趋同性适应类型^[17],主要包括两大类:水生维管束植物和高等藻类.水生维管束植物具有发达的机械组织,植物个体比较高大,通常具有 4 种生活型^[18]:挺水(emergent)、漂浮(free-drifting)、浮叶(floating-leaved)和沉水(submergent).它是水生生态系统保持良性运行的关键类群,也是整个水生生物群落多样性的基础.^[19]与藻类相比,大型水生植物的特点是更易人工操纵,即可通过人工收获将其固定的氮、磷带出水体.这些特点是利用大型水生植物进行污水治理的理论基础.

2.1 对污水中氮、磷的净化机理和净化效果

大型水生高等植物可以直接从水层和底泥中吸收氮、磷,并同化为自身的结构组成物质(蛋白质和核酸等),同化的速率与生长速度、水体营养物水平呈正相关,并且在合适的环境中,它往往以营养繁殖方式快速积累生物量,而氮、磷是植物大量需要的营养物质,所以对这些物质的固定能力也非常高.由于大型水生高等植物的生命周期比藻类长,并且只有在死亡时才会释放这些营养物质,因此,氮、磷在其体内的储存比藻类稳定,所以可通过在富含氮、磷等营养物质的污水中种养水生植物,这样既可达到使污水脱氮除磷的目的,同时又可收获生物资源.

宋祥普等^[20]采用水域浮床无土种植水稻的方法,通过水稻的吸收和富集作用,去除水体中的氮、磷元素.石井猛等^[21]指出,凤眼莲的根能吸收大量造成富营养化的氮、磷、钾,可用于净化生活污水.大森美香子等^[22]以水茛苳、洋麻和马蹄莲 3 种水生植物为对象,分析了各植物对水质的净化性能,发现水茛苳成长速度最快,氮、磷去除速度也最快.水茛苳和洋麻是热带植物,马蹄莲是温带植物可全年运作.这和青井透等^[23]对水茛苳的研究结果较为一致.张平远^[24]利用满江红处理生活污水中的氮、磷等物质,也取得较好的效果.

2.2 对污水中有机物的净化机理和净化效果

不同的有机物在植物体内有着不同的代谢机制,如酚类进入植物体后参与糖代谢,和糖结合生成酚糖

苷,或被多酚氧化酶和过氧化物酶氧化而解除毒性^[25];凤眼莲具有直接吸收降解有机酚类的能力。^[26]

据报道,放养凤眼莲后水的酚去除效率比对照快2~3倍。^[27]Joseph等指出沉水植物狐尾藻等具有直接吸收降解三硝基甲苯(TNT)的能力。^[28]尤作亮^[29]指出芦苇对酚类和石油类污水具有净化作用。吴振斌^[30,31]对水生植物净化石油化工废水的净化能力进行了研究,对不同种类的水生植物分别进行净化污水的试验,结果表明,对COD、BOD₅的去除率以凤眼莲最高、芦苇次之、水花生稍低。

2.3 对污水中重金属的净化机理和净化效果

环境中的重金属和一些有机物并非是植物生长所需要的,并且达到一定程度后具有毒害作用。对于此类化合物,一些植物也演化出了特定的生理机制使其脱毒。植物通常是通过螯合和区室化等作用^[32]来耐受并吸收富集环境中的重金属的,这种机制也存在于许多水生植物中,如重金属诱导就可使凤眼莲体内产生有重金属络合作用的金属硫肽,^[33]这些机制的存在使许多水生植物可大量富集水中的重金属。

Thaer^[34]发现水生植物对受污染河水中的Mn和Zn具有较高的富集能力。Sparling^[35]等指出,水中大型植物中金属浓度受土壤和水质pH值的影响,水生植物的金属生物利用率取决于许多因素,包括环境金属浓度、土壤或水pH值、配位体浓度、与其他金属对络合点的竞争以及暴露方式等。Zayer^[36]等研究了浮萍对废水中微量元素的积累,结果表明,浮萍是Cd、Se和Cu的良好累积物,Cr的中等累积物,对Ni和Pb则是差的累积物。每一种微量元素对植物生长的毒性效应,按损害降低程度排列为Cu>Se>Pb>Cd>Ni>Cr。Hansen^[37]等利用兔脚草、猫尾草、盐水沼泽薺草属等植物净化含Se石油炼制废水,Se的除去率可达89%。

3 小 结

采用水生植物治理水污染,因与其他物理、化学方法相比,具有成本低、能耗小、治理效果好,对环境污染小,有利于资源化,有利于整体生态环境的改善,有较高美化环境价值且易为社会接受等优点。

目前,采用水生植物治理水污染存在的问题且需努力的方向是:(1)人们在利用水生植物对污水进行生物净化时,通常只根据环保性能来选择水生植物,尤其是大型水生高等植物,而没有考虑它们的外来物种问题、资源化利用程度以及该植物在水体中的布局对整个水生生态系统群落结构的影响问题。今后,要选择一些具有较高环保性、经济上可行、同时可资源化利用的本土水生植物。(2)水生植物的生长易受季节的影响,这就要求选择出喜温及耐寒的水生植物种类,这样才能适应不同季节污水的净化。(3)利用多种大型水生高等植物和水生植被组建人工复合生态系统在治理污水时具有独特优势,它可克服单一水生植物季节性变化明显,生物净化作用不稳定的缺点,发挥多种水生高等植物在时间和空间上的差异,实现优势互补。^[38]但这一技术应用范围极其有限,因此有必要就其大规模应用所必须配套的合理放养技术、物理工程技术、种群优化组合技术和资源化回收及加工技术进行深入研究。^[39]

总之,不论是利用水生植物治理生活污水和畜牧场污水中的氮、磷,还是利用水生植物处理工业有机废水和去除污水中的金属离子,都要从当地实际情况出发,因地制宜,选择最合适的水生植物组建人工复合生态系统,以弥补物理、化学治理方法的缺陷,使水生植物治理水污染能够真正成为—种既经济、方便,又可靠、有效的方法。

[参 考 文 献]

- [1] Chapin FS, Brain HW, Richard JH. Biotic control over the function of ecosystems[J]. Science, 1997 (277): 500-504.
- [2] Phillips G I, Eminson D, Moss B. A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters[J]. Aquat Bot, 1978, 4(2): 103-126.
- [3] Blindow I, Andersson G, Haregy A, et al. Long-term pattern of alternative stable states in two shallow eutrophic lakes[J]. Freshw Biol, 1993, 30(1): 159-167.
- [4] 彭清涛. 植物在环境污染治理中的应用[J]. 污染防治技术, 1998, 20(2): 24-27.
- [5] Reynolds C S. The Ecology of Freshwater Phytoplankton[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [6] Tam N F Y, Wong Y S. Wastewater nutrient removal by *Chlorella Pyrenoidasa* and *Scenedesmus sp*[J]. Environ Pollut, 1989, (58): 19-26.
- [7] Govindan V S. Treatment on mixed wastewater by algae[J]. Asian Environ, 1984 (1): 7-15.

- [8] 严国安, 谭智群. 藻类净化污水的研究及其进展[J]. 环境科学进展, 1995, 3(3): 45 - 54.
- [9] Hosetti B B. Application of microorganism on wastewater[J]. Appl Organomet Chem, 1998 (1): 475 - 482.
- [10] 林毅雄. 莱因衣藻和小球藻对丙体 - 666 的富集和降解研究[J]. 中国环境科学, 1984, 4(2): 15 - 21.
- [11] Maguire R. Removal of organic compounds in wastewater[J]. Appl Organomet Chem, 1987 (1): 475 - 482.
- [12] 邓星明, 詹发萃, 邓亚农. 一种降解石油烃的淡水藻类 - 坑形席藻[J]. 植物学报, 1982 (24): 548 - 553.
- [13] 刘厚田, 杜晓月, 刘金齐, 邹晓燕, 刘若安. 藻菌系统降解偶氮染料的机理研究[J]. 环境科学学报, 1993 (13): 332 - 338.
- [14] 严国安, 李益健, 王志坚. 固定化栅藻对污水净化及其生理特征的变化[J]. 中国环境科学, 1995, 15(1): 10 - 13.
- [15] Soeder C J. Studies on heavy metal purification by employing alga[J]. Mitt Internat Verein Limnol, 1978 (21): 575 - 583.
- [16] 杨红玉, 王焕校. 某些绿藻对镉的富集作用及其毒性反应[J]. 环境科学学报, 1990, 10(1): 64 - 72.
- [17] 倪乐意. 大型水生植物[A]. 刘健康. 高级水生生物学[C]. 北京: 科学出版社, 1999. 224 - 241.
- [18] 颜素珠. 中国水生高等植物图说[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [19] Gulati R D. Can macrophytes be useful in biomanipulation of lakes? The lake Zwenmlust example[J]. Hydrobiologia, 1990, (200/201): 399 - 407.
- [20] 宋祥普, 邹国燕. 浮床水稻对富营养化水体中氮、磷的去除效果及规律研究[J]. 环境科学学报, 1998, 18(5): 489 - 493.
- [21] 石井猛. ホテイアオイの有効利用[J]. 水处理技术, 1998, 39(9): 17 - 22.
- [22] 大森美香子. 3 种类的水生植物による生活排水処理水の营养盐除去特性[J]. 环境技术, 1998, 27(8): 20 - 24.
- [23] 青井透. ウォーター-リタスによる营养盐除去と大规模生育实验[J]. 环境技术, 1997, 26(11): 18 - 23.
- [24] 张平远. 水生植物满江红处理污水效果好[J]. 农业环境保护, 1990, 8(6): 25 - 27.
- [25] 潘瑞焯, 董愚得. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1984. 148.
- [26] 赵大君, 郑师章. 无菌凤眼莲的降酚研究[J]. 生态学杂志, 1994, 13(3): 25 - 29.
- [27] 谭常. 凤眼莲净化含酚废水的研究[J]. 环境科学学报, 1986, 17(1): 71 - 76.
- [28] Joseph B., Hughes J. Transformation of TNT by aquatic plants and plant tissue cultures. Environ. Sci Technol, 1997, 31(1): 266 - 271.
- [29] 尤作亮. 芦苇塘及其应用问题[J]. 农业环境保护, 1998, 17(4): 187 - 189.
- [30] 吴振斌. 石化废水中酸对凤眼莲生长的影响[J]. 水生生物学报, 1988, 12(2): 125 - 132.
- [31] 吴振斌. 凤眼莲净化燕山石油化工废水的研究[J]. 水生生物学报, 1986, 10(2): 139 - 150.
- [32] 王剑虹, 麻密. 植物修复的生物学机制[J]. 植物学通报, 2000, 17(6): 504 - 512.
- [33] 王英彦, 熊易, 铁峰. 用凤眼莲根内金属硫肽检测重金属污染的研究[J]. 环境科学学报, 1994, 14(4): 421 - 438.
- [34] Thae L. K. Heavy metal in water, suspended particles, sediments, and aquatic plants of the upper region of Euphrates river, Iraq [J]. Environ Sci Health, 1997, 32(10): 2497 - 2506.
- [35] Sparling D W. Metal concentrations in aquatic macrophytes as influenced by soil and acidification[J]. Water Air Soil Pollut, 1998, 100(12): 203 - 221.
- [36] Zayer A. Phyto accumulation of trace elements by wetland plants: Duckweed[J]. Environ Qual, 1998, 27(3): 715 - 720.
- [37] Hansen D. Selenium removal by constructed wetland: role of biological volatilization[J]. Environ Sci Technol, 1998, 32(5): 591 - 597.
- [38] Haycock NE and Burt T. Floodplain as nitrate buffer zones[J]. NERC - News, 1992, (21): 28 - 29.
- [39] Moss B. Engineering and biological approach to the restoration from eutrophication of shallow lakes in which aquatic plant communities are important components[J]. Hydrobiologia, 1990 (200/201): 367 - 377.

Progress in Treatment of Sewage by Aquatic Plants

ZHOU Yuan - qing^{1,3} WU Zhao - lu^{2,3} ZHAO Xue - bing³ LI Yuan³

(1. Department of Chemistry and Environmental Science, Yuxi Teachers College, Yuxi 653100 ;

2. Kunming Division of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Science,

Kunming 650223 ; 3. Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091)

Key Words aquatic plants ; eutrophication of water body ; purification mechanism ; purification efficiency

Abstract : This paper makes a summarization of the current research in the application of aquatic plants to purification of sewage, and introduces the purification mechanism and efficiency by algae and macrophytes. The paper also raises the points needing attention in the application of aquatic plants, and describes the development prospect of the technology.