

湿地植物在处理纺织工业废水中的应用及作用机制

高志勇^{1,2}, 谢恒星^{1,2}, 刘楠楠¹, 刘史力¹

(1. 渭南师范学院 化学与生命科学学院, 陕西 渭南 714099; 2. 陕西省河流湿地生态与环境重点实验室, 陕西 渭南 714099)

摘要: 纺织工业生产运行会产生大量的有色废水。数以百万吨计的废水最终流入河流, 对人类的生存造成了严重的危害。废水中含有大量的重金属、氮、磷化合物等, 同时增加了化学需氧量(COD)、生物需氧量(BOD)、残渣总量(TS)。所以对废水进行净化处理十分必要。植物修复技术在处理废水上具有高效且低成本的特性, 采用湿地植物的基于水生大型植物处理系统(AMATS)是其有效方案。由于价格低廉和易于生长, 最常用的湿地植物有水葫芦、水浮莲、浮萍等。现调研了近年来的相关研究, 对这些植物的特性和净水机制进行了综述。

关键词: 湿地植物; 植物修复; 水生大型植物处理系统; 水葫芦; 水浮莲

中图分类号: S 682.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2016)08-0204-04

众所周知, 工业废水污染已经成为了一个全球性问题, 引起了大范围内的生物疾病, 严重者甚至导致生物死亡^[1]。工业革命后产生了大量含有重金属的工业废水, 极大地破坏了生物圈的健康和稳态^[2-3]。随着人口爆炸和服装业的快速发展, 纺织染料成为了最流行的化工产品之一。这其中产生的纺织工业废水, 由于其管理和稀释方式不同, 废水中含有的污染物浓度也不尽相同。为了适应商业需要, 全球大约有 10 000 种不同的纺织染料, 以每年高于 70 万 t 的规模被生产出来。这些纺织工业废水中含有大量的重金属, 而重金属污染又会直接危害人体健康, 并导致环境质量恶化。我国的重金属有很高的产生量和排放量。根据第一次全国污染源普查结果, 2007 年全国废水中铅、汞、镉、铬、砷 5 种重金属的产生量为 2.54 万 t, 排放量为近 897.3 万 t^[4]。NIE-BOER 等^[5]的研究表明重金属与生物毒性相关联, 但是尚不明确锰、铀等重金属是否对某些植物有害, 如水葫芦、浮萍和睡莲等。

1 纺织工业废水对生态系统的影响

THILAKAR 等^[6]的研究表明, 不当的污水处理方式会直接污染地下水及地表水。这种污染不仅会严重损害地表生态环境, 还将侵蚀水上生态系统。由

于使用的纺织染料及化工纺织废水为深色, 从而增加了排入水体的浊度, 这对物种的生存是极其不利的。重金属污染造成了严重的生态危害且很难被降解, 极大地影响了生态系统的长期稳定发展。而经常出现在废水中的重金属(Cd 和 Cr)被人类饮用后, 会造成肾脏功能衰竭和神经系统、胃肠道消化系统障碍^[1]。

2 以湿地植物为主的植物修复技术

目前存在许多传统的环境污染修复方法, 包括化学沉淀、石灰混凝、离子交换、反渗透溶剂萃取、曝气、化学氧化、电解、超滤、加氯消毒等。但这些方法大多成本高昂且实际效果不佳^[7]。化学技术产生大体积污泥且成本较高^[8]。目前比较看好的是采用植物修复技术进行污染修复。

植物修复是一种利用自然生长的植物或者遗传工程培育植物来修复重金属等污染环境的技术总称^[9]。植物修复技术处理重金属污染主要有 4 种类型: 植物吸收、植物挥发、植物吸附和植物稳定。通过吸收、沉淀、富集等作用, 植物可摄取、分解、转化或固定废水中的重金属, 以降低其重金属含量, 达到净化水质, 改善环境的目的。在植物修复技术中能用到的植物有传统作物和湿地水生植物等。

在所有方法中, 基于水生大型植物处理系统(aquatic macrophytes treatment systems, AMATS)的植物修复方法在降低重金属含量和治理其它污染方面具有稳健的效果。HUTCHISON 等^[10]的研究表明水生大型植物具

第一作者简介: 高志勇(1966-), 男, 山东济宁人, 博士, 副教授, 现主要从事植物分子生物学等研究工作。E-mail: shandonggaozhiyong@126.com.

基金项目: 渭南师范学院理工类人才基金资助项目(2015ZRRC02)。

收稿日期: 2015-12-16

有聚敛水生环境化学元素的功能。由于成本低廉、易于操作和有益环境保护,使用 AMATS 处理废水是多数发展中国家的需求。

3 湿地植物的修复机制

目前通过湿地植物处理废水主要有 2 种方式^[11]:一是纯粹使用水生植物的修复系统,如水葫芦等;二是使用陆生植物的浸没根际对废水中的重金属等物质进行处理。

3.1 水葫芦(*Eichhornia crassipes*)的修复机制

目前国际上提出了许多基于湿地植物水葫芦的废水处理机制^[12-15],水生植物的存在,使得水体的物理化学环境得到了改变^[14]。其它水生光合自养生物的存在,使得水中溶解的 CO_2 在其高效的光合作用活动期间被耗尽。这就增加了废水中溶解氧的含量从而使水体 pH 值上升^[13]。

水葫芦这种水生植物吸收废水中的污染物,并将其转换为自身的物质储存起来。具有这种吸收污染物并将其积聚在自身组织中的植物被称为生物蓄电池^[16]。它们具有对污染物(如重金属)的高容忍性和高吸收效果。基于这类植物的植物修复技术主要有 3 种途径^[17]:1)根吸收。根吸收是指植物根部在吸收水分的同时吸收水中含有的污染物。由于根部系统羧基组的存在,诱使阳离子在细胞膜间发生显著的交换。这应该就是根部积极高效地吸收附近重金属离子的机制。在污水处理系统中,水葫芦等水生植物的根部为好氧细菌提供了适宜的生存环境。另一方面,好氧细菌吸收营养并产生无机化合物从而又为植物提供养料,促进了水中植物的快速生长。将这些植物收割又可制成大量有效的有机复合肥料,从而应用于其它农业生产。水葫芦等也被应用于消除水体富营养化、吸收水中的有机化合物和病原体等。2)叶吸收。除了根吸收之外,植物也可以通过叶吸收的方式吸收少量的污染物。这是一种利用气孔细胞和裂缝表皮的被动吸收过程。3)吸附。柔软的、纤维状的根部不仅可以吸附水中的悬浮物和细菌,还可以为细菌和真菌的生长提供适宜的环境。同样由于跨细胞膜离子浓度不平衡,这些吸附在植物根部表面的细菌会吸收水中的污染物。

3.2 水浮莲(*Pistia stratiotes*)的修复机制

水浮莲吸收水中污染物(重金属)的过程包括 2 个阶段:第一阶段包括吸收、螯合和离子交换等,不同的种类在这一阶段对重金属的摄取不尽相同。第二阶段是根部诱导的重金属沉降过程,不同种类对不同重金属的沉降效果也不尽相同^[18]。水浮莲进行植物修复的过程也被称作“过滤作用”,可谓是自然高效的有毒重金属蓄電池^[6]。

3.3 浮萍(*Lemna minor*)的修复机制

浮萍具有与厌氧细菌和好氧细菌联合净化废水的能力。浮萍充分覆盖水面,将水域分成 3 个区域:有氧区、缺氧区和有氧区^[19]。在有氧区,有机物被浮萍的根部氧化^[20]。缺氧区中发生硝化和反硝化作用,生成铵和磷酸盐,作为浮萍需要的营养成分^[21]。

4 植物修复对植物生长的影响

在植物修复中使用的植物在生长上并没有受到较大的影响,仅仅是叶子上出现了一些淡黄的和坏死的斑点。植物解剖显示植株不同部分的细胞大小有着显著性下降($P < 0.05$)^[22]。在水葫芦吸收重金属污染物的研究中,MAHMOOD 等^[22]发现,在重金属浓度(5 mg/L)较低的环境中,这种植物可以正常生长且具有较高的吸收效率。当浓度高于 10 mg/L 时,植物呈现枯萎状态且吸收效率变低。同时,针对铅(Pb)、铜(Cu)、镉(Cd)等,也做了植物吸收效率和植物生长方面的研究。研究发现,虽然铅对植物生长没有影响,但铜和镉表现出了毒性,其毒性的阈值分别为 0.5 $\mu\text{g/mL}$ 和 1~2 $\mu\text{g/mL}$,超过这个限度,植物将出现萎黄病、根部发育不全和植物生长速度严重下降等现象^[11]。

基于相应的研究目的,通过使用不同的参数和方法,可以对植物的不同组成部分进行分析。一些学者分析不同的参数如 pH 值、化学需氧量(COD)、导电性、残渣总量(TS)、生物需氧量(BOD)^[22]、总固氮量(TN)、总固磷量(TP)、正磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)^[23]、通过原子吸收光谱学得到的不同的重金属如 Cr、Zn 的含量等^[24],这些参数在不同的时间段内被测定得到,其中一些参数反映了改变植物生长环境中的光照和热量等是否会提高植物对重金属的吸收量和植物生长质量^[25]。在测定植物中重金属含量的过程中,植物的各种化学成分也被分析出来^[26]。

5 结语

湿地植物使环境内 pH 值下降,这适宜于微生物生存,从而降低废水中的 BOD 和 COD。REDDY^[14]的研究表明,废水溶解的 CO_2 在植物的高效光合作用期间消耗殆尽。这种活动同时增加了水中溶解氧的含量,为水中的好氧细菌提供了适宜的生存环境,从而降低了 BOD 和 COD。从脱氮方面考虑,废水中进行硝化作用是最主要的脱氮机制。水葫芦储存重金属最多的部位依次为囊体、茎、叶、根,这表明水葫芦将重金属从根部运输到茎、叶,最后到达光合作用较低的囊体中。许多研究表明水葫芦的根部具有对染料等污染物的高适应性和高吸收性,且价格低廉易于繁殖。这些特性表明水葫芦在工业污水处理池中的应用价值极高。许多植物被用于处理水体的富营养化,由于水浮莲具有生长速度快和

产量高的特性,被认为是效果最好的。但是,植物生长和去除水体富营养化受多方面影响,如温度、水体浓度和植物生长的生理学限制等。低温、高盐浓度和低的营养物质浓度会降低植物净化水质的性能。

水葫芦可以高效地降低水体固体物浓度、pH 值、电导率、重金属含量、BOD、COD 等,且在 96 h 内就可产生明显效果。在目前水污染极其严重的形势下,水葫芦可用于净化一次或二次处理后的废水。水浮莲具有降低富营养化水体 N、P 含量的特性,并可改善水质。浮萍对富营养化水体具有高适应性。同时,水葫芦、浮萍属植物、水芹菜、蒲草属植物等具有降低废水中 Cd、Hg 和 Pb 含量的优势。

未来,水葫芦可以应用在二级或三级废水处理系统,并将同时以降低水体富营养化和生物需氧量为目标^[27-28]。近期研究首次在分子基础上理解了金属超积累的植物对金属的容忍度。分子技术促进了对植物的基因调控系统和植物体内金属平衡的研究^[29],其研究进展将有利于进一步研究植物修复技术和植物对极端金属环境的容忍性。

参考文献

- [1] RIZWANA M, DARSHAN M, NILESH D. Phytoremediation of textile waste water using potential wetland plant; Eco sustainable approach[J]. International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies (IJMS), 2014, 1(4): 130-138.
- [2] NRIAGU J O. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere[J]. Nature, 1979, 279: 409-411.
- [3] SAYYED G, SAYADI M. Variations in the heavy metal accumulations within the surface soils from the chitgar industrial area of tehran[J]. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 2011, 1(1): 36-46.
- [4] 罗吉. 我国重金属污染防治立法现状 & 改进对策[J]. 环境保护, 2012(18): 22-24.
- [5] NIEBOER E, RICHARDSON D H. The replacement of the nondescript term 'heavy metals' by a biologically and chemically significant classification of metal ions[J]. Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical, 1980, 1(1): 3-26.
- [6] THILAKAR R J, RATHI J J, PILLAI P M. Phytoaccumulation of chromium and copper by *Pistia stratiotes* L. and *Salvinia natans* L. all[J]. Journal of Natural Product and Plant Resources, 2012, 2(6): 725-730.
- [7] TANGAHU B V, SHEIKH ABDULLAH S R, BASRI H, et al. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation[J]. International Journal of Chemical Engineering, 2011(31): 1-31.
- [8] RAKHSHAE R, GIAHI M, POURAHMAD A. Studying effect of cell wall's carboxyl-carboxylate ratio change of *lemna minor* to remove heavy metals from aqueous solution[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 163(1): 165-73.
- [9] 张慧, 李宁, 戴友芝. 重金属污染的生物修复技术[J]. 化工进展, 2004(5): 562-565.
- [10] HUTCHINSON G E, EDMONDSON Y H. A treatise on limnology [J]. Journal of Basic Microbiology, 1975(3): 264-348.
- [11] NAIDU R, SMITH E, OWENS G, et al. Managing arsenic in the environment; from soil to human health[M]. Collingwood: CSIRO Publishing, 2006.
- [12] MANDI L. Marrakesh wastewater purification experiment using vascular aquatic plants *Eichhornia crassipes* and *Lemna gibba* [J]. Water Science and Technology, 1994, 29(4): 283-7.
- [13] REDDY K. Diel variations of certain physico-chemical parameters of water in selected aquatic systems[J]. Hydrobiologia, 1981, 85(3): 201-207.
- [14] REDDY K. Fate of nitrogen and phosphorus in a waste-water retention reservoir containing aquatic macrophytes[J]. Journal of Environmental Quality, 1983, 12(1): 137-41.
- [15] ZHENBIN W, YICHENG X, JIAQI D, et al. Studies on wastewater treatment by means of integrated biological pond system; design and function of macrophytes[J]. Water Science and Technology, 1993, 27(1): 97-105.
- [16] BOYD C E. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters[J]. Economic Botany, 1970, 24(1): 95-103.
- [17] LISSY P M, MADHU G. Removal of heavy metals from waste water using water hyacinth[J]. ACEE International Journal on Transportation and Urban Development, 2011, 1(1): 48-52.
- [18] RAHMAN M, HAQUE E, HASANUZZAMAN M, et al. Evaluation of antinociceptive and antidiarrhoeal properties of *Pistia stratiotes* (Araceae) leaves[J]. Journal of Pharmacology and Toxicology, 2011, 6(6): 596-602.
- [19] JOURNEY W K, SKILLICORN P, SPIRA W. Duckweed aquaculture [M]. A New Aquatic Farming System for Developing Countries. The World Bank, Washington DC, 1993.
- [20] METCALF, EDDY, TCHOBANOGLOU G, et al. Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse[M]. McGraw-Hill, 1991.
- [21] SMITH M, MOELYOWATI I. Duckweed based wastewater treatment (DWWT): Design guidelines for hot climates[J]. Water Science and Technology, 2001, 43(11): 291-299.
- [22] MAHMOOD Q, ZHENG P, ISLAM E, et al. Lab scale studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Martens Solms) for biotreatment of textile wastewater[J]. Caspian J Env Sci, 2005, 3(2): 83-88.
- [23] OZENGİN N, ELMACI A. Performance of duckweed (*Lemna minor* L.) on different types of wastewater treatment[J]. Journal of Environmental Biology, 2007, 28(2): 307-314.
- [24] PRAJAPATI S K, MERAVI N, SINGH S. Phytoremediation of chromium and cobalt using *Pistia stratiotes*: A sustainable approach[J]. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 2012, 2(2): 136-138.
- [25] SNYDER K V. Removal of arsenic from drinking water by water hyacinths (*Eichhornia crassipes*) [J]. JUS SJWP, 2006(1): 41-58.
- [26] MUTHUNARAYANAN V, SANTHIYA M, SWABNA V, et al. Phytodegradation of textile dyes by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from aqueous dye solutions[J]. International Journal of Environmental Sciences, 2011, 1(7): 1702-1712.
- [27] BRIX H, SCHIERUP H H. The use of aquatic macrophytes in water-pollution control[J]. Ambio Stockholm, 1989, 18(2): 100-107.
- [28] MIDDLEBROOKS E. Upgrading pond effluents: An overview[J]. Water Science and Technology, 1995, 31(12): 353-368.
- [29] Sarma H. Metal hyperaccumulation in plants: A review focusing on phytoremediation technology[J]. Journal of Environmental Science and Technology, 2011, 4(2): 118-138.

农业高清影像数据库建立及应用研究

董 擎 辉

(黑龙江省农业科学院 信息中心,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要:在信息时代,对农业高清影视素材编辑、分类、再利用,进行农业高清影视素材数字化管理,已成为发展的趋势。现结合农业信息化发展的特点,阐述了“农业高清影像数据库”建立的目的和意义,并论述了数据库建立的重要技术环节。

关键词:农业数据库;高清影像;数字化管理;信息保障

中图分类号:S-058 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)08-0207-02

在信息技术高速发展和推广应用的今天,信息资源已成为各行业重要的战略资源。互联网⁺时代改变了人们存储、分类和获取信息的方式,信息技术与农业科学越来越紧密的结合起来,农业信息技术已经成为独立的技术体系,用以研究农业信息的获取、处理、分析、存储、传播和应用,为发展现代农业提供全新的技术支持和全方位的信息服务^[1]。

1 农业高清影像数据库建立的意义

农业高清影像数据库的建立,运用媒资管理系统中内容管理的思路,实现高清影视素材的有序存储和快捷

检索,使大量农业影像素材管理更加规范化、合理化和简单化,提高农业科教片制作的工作效率,为农业信息资源保障储备重要素材,也为将来农业服务云平台建设奠定有效基础。

农业高清影像数据库分为高清影像数据和影像索引数据 2 类。高清影像数据包括高清视频数据、高清图像数据、音频数据、元数据及相关文档数据等;影像索引数据是对影像数据建立多种类的影像分级索引,以实现

2 农业高清影像数据库的建立

2.1 农业高清影像数据库的设计

2.1.1 数据库建立的总体思路 根据农作物数据库建设的需求,研究高清影像数据分布式安全存储技术及相关元数据的管理技术,通过对高清影像数据的生产和已

作者简介:董擎辉(1982-),女,黑龙江伊春人,硕士,助理研究员,现主要从事农业信息化等研究工作。E-mail:6687768@163.com.

收稿日期:2015-12-25

Application and Mechanism of Wetland Plants in the Treatment of Textile Industry Wastewater

GAO Zhiyong^{1,2}, XIE Hengxing^{1,2}, LIU Nannan¹, LIU Shili¹

(1. School of Chemistry and Life Science, Weinan Normal University, Weinan, Shaanxi 714099; 2. Key Laboratory for Ecology and Environment of River Wetlands in Shaanxi Province, Weinan, Shaanxi 714099)

Abstract: Textile industry produce a large number of highly colored wastewater. These millions tons of wastewater eventually flow into the river, which does harm to the survival of mankind seriously. Wastewater contains large amounts of heavy metals, nitrogen and phosphorus compounds, while increasing the chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), and total solids (TS). Therefore, the purification treatment of wastewater is necessary. Phytoremediation is highly efficient and cheap on the treatment of wastewater. It has a specific solution called aquatic macrophytes plant treatment systems (AMATS), using wetland plants as environmental protective technique. It is widespread to utilize wetland plants such as water hyacinth, water lettuce and duck weed, because of low cost and easy operability. This paper investigated the recent research, and reviewed the characteristics and mechanisms of plants on wastewater treatment.

Keywords: wetland plant; phytoremediation; aquatic macrophytes treatment system; water hyacinth; water lettuce