

Study of Wastewater Resource Ecological Engineering Methods

Jun'an Cui^{1*}, Yang Gao²

¹Qingdao Milky Way Environmental Protection Co., LTD, Qingdao Shandong

²Huangdao Sub-Bureau of Qingdao Environmental Protection Bureau, Qingdao Shandong

Email: qustcuijunan@163.com, gaoyang0817@126.com

Received: Mar. 28th, 2015; accepted: Apr. 7th, 2015; published: Apr. 10th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The ecological engineering, which is based on the biological wastewater resource, has obvious treatment results for COD and NH₃-N in polluted water. Maximizing the economic benefit, environmental benefit and social benefit of wastewater resource has great significance to alleviate the shortage of water resources crisis and to realize the sustainable utilization of water resource. This paper makes a brief introduction to the resources of eco-engineering wastewater treatment methods, eco-plant wastewater treatment mechanism and wastewater treatment technology, and focuses on the progress of the research methods of ecological plant wastewater resource problems. The research provides reference and basis for the development and enhancement of wastewater resource ecological engineering in the future.

Keywords

Water Shortages, Pollution of Water Bodies, Wastewater Resource, Eco-Engineering

废水资源化生态工程方法研究

崔俊安^{1*}, 高 杨²

¹青岛银河环保股份有限公司, 山东 青岛

²青岛市环境保护局黄岛分局, 山东 青岛

Email: qustcuijunan@163.com, gaoyang0817@126.com

*通讯作者。

收稿日期：2015年3月28日；录用日期：2015年4月7日；发布日期：2015年4月10日

摘要

以生物法为基础的废水资源化生态工程，对污染水体中的COD和氨氮等有明显的处理效果。使废水资源化发挥其最大化的经济效益、环境效益和社会效益，对缓解水资源短缺的危机和实现水资源的可持续利用有重大意义。本文就废水资源化生态工程处理方法、生态植物处理废水的机理、废水处理技术及资源化研究情况进行研究介绍，并着重介绍生态植物废水资源化的研究方法、进展及存在的问题；对未来废水资源化生态工程的发展和改进提供了重要的参考和依据。

关键词

水资源短缺，水体污染，废水资源化，生态工程

1. 引言

1.1. 废水资源化

废水资源化是指将生产和生活的废弃用水经合理分类和科学处理后加以综合利用。对于工业废水来说除了对直接处理排放外，还可以对其进行综合治理，对其中有价值的成分加以回收利用，这样不仅解决了环境污染，而且能够产生额外的经济效益。直接处理与资源化相结合是治理工业废水污染的良策，也是社会可持续发展的大势所趋[1] [2]。

1.2. 废水资源化的方法[3]

目前国内外废水的资源化处理方法主要有物理方法、化学方法、物理化学方法、生物方法、生态植物处理方法等。

① 物理方法

利用物理作用分离废水中悬浮状态的污染物质，利用沉淀、气浮和离心等方法分离出各类污染物，从而达到废水回收利用的目的。但是处理过程不改变水中的化学物质，处理不彻底。

② 化学方法

包括投加化学物质，发生化学反应，净化废水；利用中和作用；液氯、臭氧等强氧化剂化学分解和电解原理处理废水，达到废水资源化的目的。但是化学法，处理成本高、处理不完全、产生二次污染等问题。

③ 物理化学方法

包括混凝处理、吸附处理、离子分离、膜分离技术、过滤吸附法等。其特点：节省城市电力消耗，节约城市土地资源，节省城市污水处理投资费用，节省城市污水处理费用，节省城市水资源消耗。缺点是处理慢、效率低、科技要求高。

④ 生物方法

也称为生物化学法，是利用自然界中存在的各种微生物将废水中的污染物进行分解转化，达到净化的目的。处理后的水可以部分回用。生物方法可以高效的去除污水中的有机物，提高出水水质，有效的利用了水资源。缺点是微生物不稳定，周期长，需要的驯化，从而延长了水处理的周期。

⑤ 生态植物处理方法

生态植物处理方法是一种新型的、在条件许可的地区，采用低成本、高效益的污水处理系统。主要是利用各种可以吸收净化废水中污染物质的水生植物和土壤等对城市污水进行降解、净化，达到既去除污染，又对污水进行有效利用的目的，并对所种植的植物进行加工，实现资源的循环利用，具有较高的经济效益。

污水资源化主要包括土地处理和稳定塘两种技术。土地处理的原理是通过农田、林地、芦苇地等土壤-微生物-植物系统的生物、化学、物理等固定、降解作用对污水中的污染物实现净化并对污水中氮、磷等资源加以利用。同时由于土地处理系统从土表层到土壤内部形成了好氧、缺氧和厌氧的多项系统，有助于各种污染物质在不同的环境中发生降解，最终达到去除或削减污染物的目的。稳定塘净化污水的原理与自然水体的自净机理十分相似，污水在塘内滞留的过程中，水中的有机物通过好氧微生物的代谢活动被氧化，或经过厌氧微生物的分解而达到稳定[4]。

2. 生态植物处理废水的机理

2.1. 水生植物适于废水生态治理的原因[5]

- ① 独特的叶片结构能适应弱光的条件；
- ② 通气结构能适应缺氧的条件；
- ③ 输导组织的退化；
- ④ 发达的气囊组织。

2.2. 处理废水的机理

植物对环境的修复是利用植物及其微生物与环境之间的相互作用，对环境污染物进行清除、分解、吸收或吸附，使水体环境重新得到恢复。植物修复既可以用于对有机污染物的分解，也可用于对无机污染物的清理。近年来，水体污染问题受到了广泛的关注，学者对如何预防和治理水体污染做了大量的研究工作。鉴于水生大型植物在湖泊、河流生态系统中的重要作用，许多学者对其在污水检测和治理方面做了研究，并取得了一定的效果。特别在有关 N、P 营养盐类吸收和吸附及重金属去除方面做了大量的试验，并对实验结果做了分析。鉴于水生植物自身特点，它们在水体中重要的生态功能使其在污水防治中具有很大的应用价值。

2.3. 研究现状与进展

在水生植物净化污水的研究中，营养盐的去除主要包括 N、P 的吸收和转化；重金属吸收吸附方面的研究包括 Cu、Cr、Pb 等。

2.3.1. 水生植物对 N、P 的去除

水生植物对 N、P 吸收的研究比较早，并且研究涵盖一定的深度和广度。对各种类型的水体国内外学者都有研究。吴淑杭等[6]做了凤眼莲对猪粪便污水的深度净化效果的研究，结果表明凤眼莲对猪粪便污水有很好的净化效果，在不影响凤眼莲生长的前提下，单位面积水体生长的凤眼莲越多，去除禽畜粪便污水 COD 和 NH_4^+-N 的效果越好，凤眼莲可作为猪粪便污水处理工程氧化塘的首选水生植物。袁桂良[7]通过凤眼莲静态净化养殖污水的试验研究，结果表明凤眼莲对甲鱼污水中的氨态氮、亚硝氮和硝态氮、COD、磷等净化率分别为 71.5%、88.1%、68.5%、90.7%，并建立了凤眼莲静态净化养殖污水净水模型。Daniela Baldantoni 等[8]研究表明，芦苇对 N、P 的吸收是叶部大于根部。

2.3.2. 水生植物对污水重金属的去除

在重金属去除方面，水生植物的角度主要在于吸附量、去除率和植物体不同部位对重金属吸附的比

较等。蔡成翔[9]等采用火焰原子吸收分光光度法测定了凤眼莲对 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Fe^{3+} 等离子的短期个别去除速率、复合去除速率及凤眼莲根茎叶的富集量，结合耐受性实验，对其富集机制进行了探讨。结果表明，凤眼莲在快速高效去除低浓度含铅废水、治理含镉废水和作为铜污染废水的指示性植物等方面有良好的应用前景。Daniela Baldantoni [8]等研究了芦苇不同部位对重金属的吸收吸附量，结果表明全部被检测金属吸附量都是根部大于叶部，而且差异显著。

3. 废水资源化生态工程的定义、处理方法和研究意义

3.1. 废水资源化生态工程的定义

污水资源化生态工程是指在生物链节上各体生物净化降解污水，再被二次利用，使各链节上能量流有一合理转归途径，以达到净化污水和资源化的目的。水生植物因根系发达，可为微形动物及微生物提供良好的固着基，因此形成生物膜，从而提高对污水中有机物及有害元素的絮凝、吸附与降解作用，并可作为优质青饲料二次利用[10]。

3.2. 废水资源化生态工程的处理方法[11]

通过种植水生植物净化水质，是利用许多水生植物特别是水生维管束植物能够大量吸收营养物质，或降解转化有毒有害物质为无毒物质的性质。在废水或受到污染的天然水体中种植大量耐污染净化较强的水生高等植物。使其通过自身的生命活动将水中的污染物质分解转化或富集到体内，恢复水域中的养分平衡；同时通过水生植物的光合作用放出氧气，增加水中溶解氧含量，从而改善水质，减轻或消除水污染。植物除了直接吸收、同定、分解污染物外，常只是间接地参与污染物的分解，它通过对根系菌、真菌等微生物的调控来进行环境的修复。因此，植物对环境的修复过程是由高等植物、真菌细菌等微生物共同组成的整体来完成的，其中包括许多物理、生物和化学过程。水生植物污水治理具有其独特的方式(如图 1 所示)。

其去除水中 N、P 及其他物质的形式大致可分为：吸收作用、根系微生物、吸附作用。

3.2.1. 吸收作用

水生植物的吸收作用可以发生在不同的部位，既可以直接通过根部吸收，也可以通过茎、叶等器官的体表直接吸收。水生植物自身生长需要吸收营养物质，包括有机营养物质、无机盐等，被利用来参加植物体内物质循环，合成植物自身的组织。一些不可利用的物质如重金属等，植物吸收后，可储存在体内的某个部位；对部分有毒的物质，如酚、氰等进入植物体内，可以被降解为其他无毒的化合物[12] [13]。

3.2.2. 根系微生物

植物是人工湿地系统的重要组成部分，植物除吸收作用去除氮、磷等污染物外，更重要的作用是通过根分泌物影响生态系统中微生物的特性，进而影响系统的处理效果。微生物是系统中 COD 和氨氮分解去除的主要执行者[14] [15]。根分泌物种类繁多，数量各异，不仅有糖、有机酸、氨基酸等初生代谢产物，还有酮酚和胺等次生代谢产物以及一些不知名的代谢物[16]，成水平等[17]认为根系微生物种类组成随不同的植物而不同，根系微生物一般包括细菌、真菌和放线菌等。作用于周围环境形成根际，产生根际效应[18] [19]。研究根系微生物的特性对于从微生物的角度研究人工湿地系统内物质的变化和污染物的去除机理具有重要意义。项学敏等[20]对湿地植物芦苇和香蒲根系微生物特性进行了研究，结果表明芦苇和香蒲具有明显的根际效应，根系微生物活性高于非根系的微生物活性，芦苇根系比香蒲更适合亚硝酸细菌的生长。

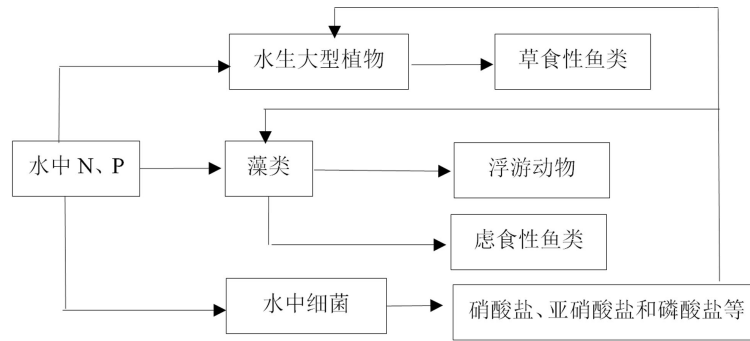


Figure 1. United role of biological purification of water bodies flow chart
图 1. 生物联合作用净化水体流程图

3.2.3. 吸附作用

水生植物的吸附作用主要发生在根部，根部具有发达根毛系统，与水有很大的直接接触表面积。陈瑛等[21]对自然水体风眼莲各部位金属元素含量进行了测定，结果表明金属元素在风眼莲根部富集较多，而且其中大部分是吸附在根的表面。刘建武等[22]对水葫芦根系研究表明，水葫芦根系对苯、硝基苯有明显吸附作用。

3.3. 废水资源化生态工程研究的意义

以生物法为基础的废水资源化生态工程，对污染水体中的 COD 和氨氮等有明显的处理效果。达到既保护生态环境，又降低污水处理费用的目的。进入 21 世纪以来，由于人口、资源和环境的挑战，给废水资源化生态工程带来新的机遇和发展，必将发展成为可替代二级处理甚至三级深度处理的重要水处理途径。本文以水生植物为主要处理方式的生态工程为着眼点，对废水资源化进行了详细的研究和阐述。

4. 生态植物处理废水的典型案例分析及其评价

应用以生态植物为基础的生态工程处理利用各类不同工厂废水如：造纸厂、制药厂、胶片厂等已有很多成功案例[23] [24]。其主要途径是工业废水的减量、回收、转化、回用和再循环。

4.1. 芦苇人工湿地造纸废水资源化利用[25]

芦苇是一种多年生的草本植物，耐盐碱，适应性和抗逆性强，尤其在湿地环境下，生长繁殖极为迅速，且芦苇湿地能通过物理、化学和生物的作用对废水进行自然降解处理。山东省沾化齐明纸业有限公司，充分利用芦苇湿地的这一特性，利用人工芦苇湿地处理造纸废水，变废为宝，使造纸废水得到资源化利用，取得了显著的经济效益、生态效益和社会效益。

4.2.1. 工艺流程

工艺流程示意图，如图 2 所示。

4.2.2. 效益分析

① 经济效益

山东沾化齐明纸业有限公司，日排放工业废水 25,000 m³，建设日处理污水 25,000 m³ 的处理设施需投资几千万元，污水处理费用为 2 元/m³ 左右。利用该方法除可为企业节省建设污水处理设施投资外，每年还可节约污水处理费用 1500 余万元。经过芦苇湿地处理后的工业废水，COD 浓度可降至 500 mg/L 以下，回用率达 70% 以上。沾化齐明纸业有限公司按现有生产规模计算，每年可节约用水 500 万 m³ 以上，

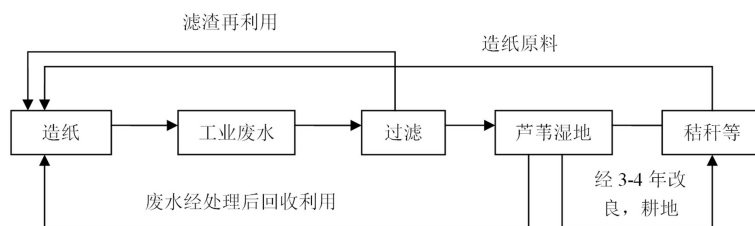


Figure 2. Schematic diagram of technological process
图 2. 工艺流程示意图

节约水费 1000 余万元。芦苇湿地生产的芦苇，收获后可作为造纸原料使用。仅此三项，每年就可为企业创造直接经济效益 2800 余万元。

② 生态效益

沾化齐明纸业有限公司，地处黄河三角洲腹地。山东省滨州市沾化县东北部，地势低洼平坦，土壤盐渍化严重，在此之前，除生长着几种盐碱地指示性植物外，几乎无其他植物生长，生态环境极其恶劣。经过沾化齐明纸业有限公司四年多的开发，如今 400 公顷人工芦苇湿地上，芦苇郁郁葱葱，莺飞鸟鸣，一片生机盎然，生态环境得到明显改善。

③ 社会效益

沾化齐明纸业有限公司采用该方法建设的人工湿地面积达 400 公顷。据有关专家测评，昔日土质贫瘠的盐碱地，经过 3~4 年改良，土壤条件已经达到种植农作物的要求。即该方法可将 100 公顷的盐碱地改良为耕地，有显著的社会效益。

4.2.3. 结论

该方法处理造纸废水经济、有效和实用，有可观的经济效益、生态效益和社会效益。如果条件具备，把已建成的芦苇湿地，与当地的观光旅游、休闲、土地开发相结合，延长企业的产业链，对提高企业的经济效益，促进社会和经济的可持续发展将起到积极的作用。

5. 生态植物处理废水未来的发展方向

总体来讲，水生植物在治理水体污染方面有其自身的优势。但是，其不足之处也是显而易见的。

(1) 污水的治理受季节变化影响较大

水生植物自身特点决定，对污水治理有较好效果又能在冬天正常生长的种类实在不多。冬季不能正常生长，而冬季水体有机物负荷同样很重。这样势必加重后来治理的压力，影响治理的综合效果。王国祥等[26]对凤眼莲的安全越冬问题进行研究，达到了改善冬季水体生态环境目的。因此，改善和筛选冬季净化能力强的种类对进一步利用水生植物治理污水具有重要的现实意义。

(2) 二次污染的问题

水生植物在条件合适情况下，生长速度非常快。如凤眼莲的爆发式增殖对水体环境及水上作业产生了巨大的影响甚至危害。水生植物的快速增殖，覆盖了水体表面，阻止了太阳光的进入，妨碍水生浮游生物的生长，影响水体的生物多样性和增长率。并且不及时收获，植物体的腐烂对环境产生二次污染，影响水体质量。据饶利华[27]研究报道凤眼莲稀屏(密度为 15~20 kg/m² 比密度为 35~40 kg/m²)对污水中的 COD，总氮、氨氮去除率都要高，两者相差近 50%。因此，水生植物通过收获，其净化作用才能得以实现，同时，适时的收获，维持其最大生长速度时的生长密度，有利于提高其净化效率。

(3) 单种植物对污水的治理效果有限

应用多种生活型植物的组合治理污水，单种生活型植物对污水的治理效果是有限的。王国祥等[26]

利用镶嵌组合植物群落控制湖泊饮用水源区藻类及氮污染。结果表明,富营养化湖水经净化后,藻类生物量下降 57.7%,藻类数量下降 2~3 个数量级, TN 下降 60.0%,水质得到明显改善。但是,具体哪些种类组合可达到最好的治理效果,这方面的研究还不是很多,有待今后加强。

另外,水生植物治理修复受污染水体工程周期过长,对突发性污染事故治理效果不明显等问题,在实际工程实施中都应当考虑到。也是未来利用生态植物实现废水资源化需要改进发展的方向。

6. 结论

研究表明,以水生植物为基础生态系统进行水污染控制具有基础建设投资省、维护和运行费用低、稳定性好、管理简便、污水处理效果好、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降低工厂生产成本等诸多优点。未来的研究发展方向应注重本地区原生植物的特性,跨区域引进新型物种的意义,水生植物修复的机理,物质循环、根系与水或土壤的微环境关系、植物与周围微生物如何共同作用等方面。目前利用水生植物净化污水尚有许多不足之处,但随着人们对其研究的深入,特别是在工艺选择和净化机理等方面的努力,水生植物必将在水污染控制治理中发挥更重要的作用,从而更大程度地造福于人类。

致 谢

感谢逢咏雪在我论文写作期间给与的帮助和支持。

参考文献 (References)

- [1] 董爱军,马放,徐善文 (2006) 有机废水资源化研究进展. *中国甜菜糖业*, **1**, 24-28.
- [2] 张运华,李孟 (2009) 冶金工业综合废水回用技术研究与应效果. *武汉理工大学学报*, **12**.
- [3] 郭茂新,孙培德,楼菊青 (2005) 水污染控制工程学. 中国科学出版社,北京.
- [4] 丁乃春,王明霞,何奕,等 (2007) 浅议中国的城市污水资源化生态工程. *环境污染与防治——网络版*, **1**, 1-6.
- [5] 林鸿,吴晓花 (2008) 水生植物适应水环境的特点和净化作用. *园林科技*, **3**, 12-15.
- [6] 吴淑杭,姜震方 (2003) 水葫芦(Water hyacinth)深度净化猪粪便污水研究. *上海农业学报*, **4**, 76-80.
- [7] 袁桂良,刘鹰 (2001) 凤眼莲对集约化甲鱼养殖污水的静态净化研究. *农业环境保护*, **5**, 322-325.
- [8] Baldantoni, D., Alfani, A. and Dieta, P. (2004) Assessment of macro and microelement accumulation capability of two aquatic plants. *Environmental Pollution*, **130**, 149-156.
- [9] 蔡成翔,王华敏,张宗明 (2004) 凤眼莲对铜、铅、镉、锌、铁等离子的短期净化机制研究. *乐山师范学院学报*, **5**, 69-72.
- [10] 徐克 (1999) 污水资源化生态工程研究——凤眼莲对污水 COD 去除率实验. *华夏星火*, **10**, 57.
- [11] 鲍孝容 (2005) 关于我国污水资源化的研究. *环境科学与技术*, **2**, 51-53.
- [12] 蒋志学,邓士谨 (1989) 环境生物学. 中国环境科学出版社,北京.
- [13] 达良俊,陈鸣 (2003) 凤眼莲不同部位对重金属的吸收、吸附作用研究. *上海环境科学*, **11**, 765-767.
- [14] Ymazal, J., Cooper, B.H. and Haberl, P.R. (1998) Removal mechanisms in construed wetlands in Europe. Backhuys Publishers, Leiden.
- [15] 梁威,盾巧红,成水平 (2002) 构建湿地基质微生物与净化效果及相关分析. *中国环境科学*, **3**, 282-285.
- [16] 梅汝鸿,徐维敏 (1998) 植物微生物学. 中国农业出版社,北京.
- [17] 成水平,夏宜静 (19989) 香蒲、灯心草人工湿地的研究. *湖泊科学*, **2**, 66-71.
- [18] 熊明彪,何建平,宋光煜 (2002) 根分泌物对根际微生物生态分布的影响. *土壤通报*, **2**, 145-148.
- [19] 陈光荣,吴振斌 (1999) 两种人工湿地中氮磷净化率与细菌分布关系的初步研究. *华中师范大学学报:自然科学版*, **4**, 575-578.
- [20] 项学敏,宋春霞,李彦生 (2004) 湿地植物芦苇和香蒲根际微生物特性研究. *环境保护科学*, **124**, 35-38.

- [21] 陈瑛, 金叶飞, 王秀琴 (2004) 水葫芦各部位富集能力的研究. *环境保护科学*, **3**, 31-34.
- [22] 刘建武, 林逢凯, 王郁, 胥峥, 张啸 (2002) 水葫芦根系对苯的吸附过程研究. *化工环保*, **6**, 315-319.
- [23] 冀瑞锋, 孙西欢, 马娟娟, 郭向红 (2010) 污水土地处理方法研究进展. *山西水利*, **1**, 51-52.
- [24] 戴全裕, 陈源, 高魏云 (1996) 水培经济植物对酿酒废水净化与资源化生态工程研究. *科学通报*, **6**, 547-551.
- [25] 李在田 (2006) 芦苇人工湿地造纸废水资源化利用. *水处理技术*, **2**, 76-77.
- [26] 王国祥, 濮培民, 张圣照 (1999) 冬季水生高等植物对富营养化湖水的净化作用. *中国环境科学*, **2**, 106-109.
- [27] 饶利华, 陆开宏 (2006) 2种水生植物在污水治理中的应用. *宁波大学学报(理工版)*, **3**, 325-329.