

人工浮岛技术在北方地区水质改善中的研究进展

晁雷¹, 刘馨^{1,2}, 胡成¹, 王林山², 邵雪^{1,2}

(1. 辽宁省环境科学研究院/辽宁省流域污染控制重点实验室, 辽宁 沈阳 110031; 2. 东北大学理学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要:人工浮岛技术是近年发展迅速的一种生态污水处理技术,主要应用于富营养化水质的净化。综述了浮岛发展的历史,介绍了建设的种类及方法。宏观地阐述了人工浮岛改善水质的原理,并结合实例,分析了在应用上对处理效果有影响的种种因素。最后对人工浮岛的发展进行了展望。

关键词:人工浮岛;富营养化;载体;覆盖率;水力负荷

中图分类号:X52 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2012)02-0135-04

随着生态工程的兴起及水环境的日益恶化,污水生态净化技术新兴起一种植物修复的技术,被称为人工浮岛技术(Artificial-floating-island technology)。它将水生态修复与水环境治理相结合^[1],模仿植物自然生长规律^[2],通过载体把一些高等水生植物种植到富营养化水体的表面,既是利用生态环境甚至农艺无土栽培的技术,再通过植物吸附和分解等作用降解氮、磷等营养盐,最终达到净化水质的目的^[3]。

1 人工浮岛的发展历史

1979年,人工浮岛才真正作为一项水处理技术被应用,以Floating campus的名称介绍与推广浮岛^[4]。人工浮岛的六大功能包括防止堤岸侵蚀和保护海岸线、为野生动物提供栖息地、美化景观、对水质净化和过滤、生物消毒作用^[2]。1982年开始,日本在慈贺县琵琶湖建造了人工浮岛,作为鲤鱼、鲫鱼、诸子等鱼类的孵卵场,取得了较好的效果^[5]。1995年第六届世界湖泊会议上发表了大量相关论文,人工浮岛技术开始在日本受到广泛重视。1997年日本公共工作研究所建造部建造了由40个单元组成的人工浮岛进行试验,试验表明了对于夏季水华现象的湖泊,人工浮岛是一个有效的净化水质的方法。

从20世纪80年代起,人工浮岛在我国也开始开展了一些有意义的研究。最为著名的是在1991年宋祥甫等^[6-7]人开展了人工浮床的研究与

应用工作,利用浮岛技术种植水稻,获得了较高的干物质产量,在去除水体中导致富营养化的氮、磷元素的同时,也收获农产品、美化水域景观,从而为建立利用浮岛植物净化富营养化水域提供了科学依据。

2 人工浮岛的种类及建设方法

2.1 人工浮岛的种类

人工浮岛按职务与水体直接接触与否可分为干式与湿式两种。干式浮岛按提供浮力与植物培养基容器的位置关系可分为一体式和分体式两种,湿式浮岛按外围框架的有无可分为无框式和有框式两种^[8](见表1)。

表1 人工浮岛的分类
Table 1 Classification of artificial-floating-idand

干式	一体式	培养基容器直接提供浮力
	分体式	浮筒和培养基容器分离
湿式	无框式	椰子纤维网眼浮岛
		植物根系枝条牵连浮岛
	有框式	人工蛭石袋子浮岛
		聚苯乙烯泡沫板浮岛
		竹木浮岛
		多层浮岛、滤料浮岛等

干式浮岛的植株根系不接触水体,不直接对水体进行处理,这种浮岛的体积较大,因而有较大的浮力,栽种的植物一般较高大,在美化环境的同时,也会为鸟类及昆虫提供生息的场所,其水下部分也能作为鱼类产卵场所^[9]。一般在园艺、景观布置及渔业上干式浮岛会得到较为广泛的应用。

湿式浮岛是植物与水体直接接触的一种浮岛类型,浮岛植物通过直接吸收或分解水体中的氮磷营养盐或有机物来净化水体。很多植物都可以利用在湿式浮岛上,这使其具有广泛的适应性,因此在水处理及水体生态修复上湿式浮岛有很多的

收稿日期:2011-09-21

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2010BAC68B02);国家科技重大专项资助项目(2008ZX07208-005)

第一作者简介:晁雷(1978-),男,辽宁省沈阳市人,博士,高级工程师,从事污水生态修复和治理工程技术研究。E-mail: mailchaolei@yahoo.com.cn.

应用和研究^[9]。

2.2 人工浮岛的建设方法

浮岛主要包括三个部分:浮岛载体、浮岛固定装置和浮岛植物^[10]。浮岛设计包括浮岛载体材料的选择、制作,浮岛在水面的摆放方式及固定方式,浮岛植物的选择、移栽。一般要经过实地调查、确定建设目标、分析可行性、估计造价、建造、监测和维护等过程。

浮岛载体是浮岛植物与水面的连接,应考虑的设计原则有:(1)材质比重小,绿色环保,防腐蚀,耐老化,可反复多次使用;(2)采用柔性的连接方法,浮床随水体上下浮动更为方便;(3)具有较大的强度,能抵抗较大风浪冲击;(4)拥有植物栽种的孔穴,能满足植物长期生长种植密度^[11]。

根据浮岛载体的发展历史来看,浮岛载体主要分为三个类型:第一类是植物根茎载体,第二类是有机高分子载体,第三类是无机载体。利用植物根茎的载体是直接富营养化水体中种植沉水植物和挺水植物,但以植物根茎作为载体经常会遇到植物过度繁殖及死亡等问题,因而该技术未能直接应用于大规模的富营养化湖泊的治理中。目前以有机高分子材料作为载体的应用居多,因为其制作工艺非常成熟,且价格低廉,安装、运输和改型都较为方便。无机载体的制作工艺较为复杂,成本也较高,所以当前以实验室研究居多,实际应用的较少。

人工浮岛单元易于移动,易于调整空间配置形式,其固定有重力型、锚定型和杆定型三种基本方法。(1)重力型是靠水下重物的牵拉作用来固定水面浮岛的,任何深度的水体都能靠控制拉绳的长度来进行应用。这种固定方式不会受到水底地质条件的限制,费用也较为低廉,更重要的是基本不会对环境造成影响;(2)锚定型是在固定和转移时都比较方便的一种方法,拉绳的长度也可以随时控制来适应各种水深的条件下的浮岛的固定;(3)杆定型的固定是通过插在浮岛周围的竖杆来固定水面浮岛,这种固定方式要求水深不能太大^[12]。

浮岛植物的选择是浮岛技术中最关键的环节,浮岛所栽种的植物必须满足以3个条件:能够适应当地的气候环境,能够耐受病虫害和较少依赖人工维护。此外,注意当地生态的安全也是选择植物的一个重要条件,若造成生物入侵后的不良效果则得不偿失。但是由于大部分的浮岛植物都或多或少的会改变原来的生态环境,所以对浮岛植物进行驯化必不可少。为了降低驯化的难度,选中的植物一定要是喜水或耐水的,这样驯化

的成功率才会有一定的提高。无论从成本、无害性还是气候适应性等多方面考虑,本土植物是浮岛植物的首选,选用本土植物都能带来事半功倍的效果^[9,12]。

3 人工浮岛的改善水质的原理

人工浮岛技术治理富营养化水体的机理一般认为是人工移栽到浮岛上的水生植物或改良驯化的陆生植物通过根部的吸收、吸附作用和物种竞争相克机理,削减富营养化水体中的氮、磷及有机物质,从而达到净化水质的效果^[13],在有限区域重建并恢复水生态系统,并通过收割植物的方法将其搬离水体,使水质得到改善、水体变清^[14]。其机理主要有5种^[14-16]:(1)浮岛植物为了其自身的生长会通过根部吸收一些氮磷营养盐,再通过植物体内的矿化和代谢将氮磷物质转化成水和其它无机物,最后通过挥发或贮存在体内而达到降低污染物^[17];(2)为了使水体降解污染物质,需加大水体氧化的面积,水生植物的栽种在达到这个效果的同时根系还会分泌能降解有机物的酶,进而使水体中富营养化的物质降解^[18];(3)浮岛植物的光合作用也是改变水质的原因之一,因为除了水生植物,一些浮游藻类的生长也需要光能和营养,栽种水生植物可以与浮藻植物竞争进而抑制后者的生长与繁殖^[19];(4)浮岛植物的根部会通过吸收氧气的吸收形成好氧、缺氧与厌氧的微生物环境,微生物可以吸收一些植物不会或不能直接降解的污染物,之后使植物可以吸收^[20]。而且植物根系能分泌出使嗜氮嗜磷细菌生长的物质,从而间接提高净化率^[21];(5)浮岛在水面要占据一定的水面,使在富营养化的水体中的藻类减少光合作用,延缓水华的爆发。

此外,生态浮岛为水生动物和鸟类、昆虫提供了良好的栖息地,提高生物多样性,有利于生态恢复和景观改善^[18]。

4 人工浮岛在北方地区的应用

作为一种富氧化水体处理的新技术,人工生态浮岛技术得到了越来越多的关注和研究。

屠清瑛等^[22]人在北京什刹海上游实施了生态浮床技术,生物浮床呈四方体结构 $50\text{ m}^2 \times 1.2\text{ m}$,以钢丝网覆盖表面,两侧各有一个空心浮筒使其半沉浮于水体表层。浮床上架有风力发电曝气机和风动曝气机,并带有曝气头沉于水下。水体底层光照条件的改善,有利于沉水植物、植藻类的提早萌发、生长和繁衍,极大地改善水底生态环境。促进健康水生生态系统的恢复生物浮床具有风动曝气、接触氧化、抑藻和提高水底光照强度

等功能。在与臭氧除藻等技术相结合后总氮、总磷分别下降了 $4.74 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 去除率达到 79% 和 91%。

张华^[23]针对沈阳丁香湖水体恶化产生蓝藻的问题,在湖中设置人工浮岛对水质进行改善,浮岛植物以凤眼莲为主,辅以美人蕉等搭配。以丁香湖开园的主会场休闲广场为中心,半径 100 m 范围内设置为浮岛区,浮岛面积覆盖率约为 45%。浮岛每单元几何尺寸为 $3 \text{ m}\times 3 \text{ m}$ 的竹排,竹排单元面积为 9 m^2 ,全部浮岛由合计 1 583 片竹排组成,每片竹排所用竹竿 20 根,竹竿等距排放,其纵横间距均为 30 cm。在初始放养量为 $2.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,7~9 月生长期凤眼莲平均生物干重增加 $18.03 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$,凤眼莲整株的氮、磷平均含量分别为 $11.6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (干重) 和 $2.55 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (干重)。通过 3~4 个月生育周期的处理,对水体中的总氮、总磷指标的去除率达到了 50% 和 59%; 下降到 $6.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

这些研究表明,采用人工浮岛技术治理富营养化水体为水生生物的自然恢复、生存和繁衍营造良好的水环境条件效果十分显著。

5 影响人工浮岛处理效果的因素

5.1 温度对人工浮岛处理效果的影响

在自然条件下,温度与浮岛技术水质净化效果有直接的关系。

罗固源^[24]等人通过构建生态,全面考察了温度对浮床系统的影响。浮床采用聚苯乙烯发泡板,在板上打孔,孔间距为 18 cm,在每块发泡板上栽种 32 株植物(美人蕉)。随着系统水温的逐渐上升,总氮去除率开始增加,在水温达到最大值 35°C 时,去除率为 38.9%; 水温为 28°C 时,总氮去除率达到 44.1%。可见,温度是去除总氮的较大影响作用。随着水温的上升,总磷去除率亦开始增加。水温在 $23\sim 35^\circ\text{C}$ 波动时,去除率为 37.8%~43.6%; 而在冬季低温的条件下,总磷去除效果明显下降,但去除率仍高于 20%。

实验表明在 $2\sim 29^\circ\text{C}$ 时,浮床对总氮和总磷的去除率随着温度的增加而明显增加; 当水温为 $30\sim 35^\circ\text{C}$ 时,去除率随着温度的增加而呈下降趋势。而且温度对总氮去除效果的影响要大于对总磷的影响。

5.2 覆盖率对人工浮岛处理效果的影响

覆盖率是人工浮岛运行性能的重要指标,覆盖率的选取直接关系到水质净化效果及工程实施水体的景观效果。覆盖率过高,会降低大气自然复氧速率,造成水体中溶解氧浓度的下降,不利于

水体中溶解氧的恢复。覆盖率过低,将导致水质净化效果可能不明显。

张晋^[25]使用菖蒲、风车草、美人蕉 3 种植物对重庆市巴南区某净水厂取水区域水体进行中试试验研究,设计了 3 种覆盖率,分别为 30%、40%、50%。覆盖率大小的确定,通过控制泡沫浮板的孔隙率来实现。控制水利停留时间为 3 d,在每种覆盖率下测样 2 次,取其平均值。总氮和总磷在不同的覆盖率下出水浓度变化较大,去除率随覆盖率的增加而增加。但去除率增长速度逐渐降低,相对于总氮而言,总磷去除率增长趋势下降较为明显。

5.3 水质对人工浮岛处理效果的影响

以往对人工浮岛的研究往往局限在单一水体中进行,而不同程度的污染水体对植物吸收氮、磷也有一定的影响。

张志勇^[26]等人就以凤眼莲作为浮岛植物研究了在不同水质下的氮、磷吸收以及去除率。一般而言,凤眼莲对污水中氮、磷等营养物的净化效率与污水中氮、磷营养的浓度负荷有很大相关性。在总氮、总磷初始浓度分别为 $2.06\sim 20.08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.14\sim 1.43 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 条件下,经过 21 d 净化,总氮、总磷浓度分别降至 $0.28\sim 8.87 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.03\sim 0.11 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其对总氮、总磷平均去除率分别为 55.82%~86.55% 和 76.01%~92.53%。随着氮、磷浓度负荷的增加,凤眼莲对氮、磷的去除亦增加,但若氮、磷浓度负荷太高,超过凤眼莲的吸收速度,则净化效率反而下降。

5.4 水量对人工浮岛处理效果的影响

水力负荷是单位体积滤料或单位面积每天可以处理的废水水量,是影响人工浮床处理系统去除氮、磷效果的一个重要因素,一般水力负荷越小,污水的停留时间就越长,氮、磷的去除效率越高。

张志勇^[27]等人,研究了不同水力负荷对去除富营养化水体氮、磷效果的影响。试验装置由 20 个混凝土水池组成。试验期间进水总氮质量浓度在 $3.39\sim 6.77 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,4 个水力负荷下系统出水总氮浓度表现出不同程度的降低,且随水力负荷的提高降低幅度减小。在水力负荷为 0.14 和 $0.20 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 时,出水总氮质量浓度分别在 $0.14\sim 2.15$ 和 $0.50\sim 3.09 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。当水力负荷增加到 0.33 和 $1.0 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 时,出水总氮平均质量浓度则分别增至 2.35 和 $3.38 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

6 结论

实践证明,人工浮岛作为水上的仿陆地生态

系统,是一项绿色生态、性价比高、易于实现的新型技术。它使水生和陆生植物在一个系统上得以完美的组合,使昆虫、鸟类、两栖动物类和谐地栖息在同一个与外界相对隔离的生态系统内,有非常多元的应用。近年来人工浮岛技术在我国南方取得了广泛的应用,在我国北方地区也逐渐得到重视。受到气温的影响人工浮岛在北方应用受到一定程度的限制,但是通过材质的改良、可降解特异污染物的微生物引入、微曝气系统人工强化等技术的应用可以在一定程度上弥补气温对浮岛技术的影响。从而使人工浮岛技术在我国北方地区污水处理和生态修复方面得到更为广泛的应用。

参考文献:

- [1] 邓春光,任照阳. 浅谈植物修复技术在三峡库区富营养化修复中的应用[J]. 安徽农业科学, 2007, 5(5): 1479-1480.
- [2] 王勃,刘阳,王泽民,等. 人工浮岛技术应用前景[J]. 环境保护科学, 2008, 34(5): 23-25.
- [3] 卢进登,帅方敏,赵丽娅,等. 人工生物浮岛技术治理富营养化水体的植物遴选[J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 2005, 27(4): 402-404.
- [4] Hoeger S. Schwimmkampen Germanys article floating islands[J]. Soil Water Cons., 1988, 43(4): 304-306.
- [5] X Song. Bio-production and water cleaning by plant grown with floating culture system[C]. 日本: 第6回世界湖沼曹拔霞浦论文集, 1995.
- [6] 宋祥甫,应火冬,朱敏,等. 自然水域无土栽培水稻的研究[J]. 中国农业科学, 1991, 24(4): 8-13.
- [7] 宋祥甫,金千瑜,黄一南,等. 水上种植对水质的净化效果试验初报[C]. 熊振民. 中国水稻研究所年报. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.
- [8] 丁则平. 日本湿地净化技术人工浮岛介绍[J]. 海河水利, 2007(2): 63-65.
- [9] 唐林森. 人工生物浮岛在富营养化水体治理中的应用[J]. 长江科学院院报, 2008.
- [10] 陈荷生. 太湖生态修复治理工程[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(2): 173-178.
- [11] 井艳文,胡秀琳,许志兰,等. 利用生物浮岛技术进行水体修复研究与示范[J]. 北京水利, 2003(6): 20-22.
- [12] 陈荷生,宋祥甫,邹国燕. 利用生态浮床技术治理污染水体[J]. 中国水利, 2005, 15(8): 50-53.
- [13] 江浩,吴涛,孙怡超. 人工浮床不同植物对水质净化效果试验研究[J]. 海河水利, 2009(2): 12-13.
- [14] 吴伟明,宋祥甫,金千瑜,等. 鱼塘水面无土栽培美人蕉研究[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(3): 206-210.
- [15] 马立珊,骆永明,吴龙华,等. 浮床香根草对富营养化水体氮磷去除动态及效率的初步研究[J]. 土壤, 2000, 31(2): 99-101.
- [16] 李芳柏,吴启堂. 无土栽培美人蕉等植物处理生活污水的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(1): 88-92.
- [17] 夏汉平,王庆礼,孔国辉. 垃圾污水的植物毒性和植物净化效果研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(4): 289-301.
- [18] 童国璋,叶旭红. 生态浮岛技术概述及应用前景[J]. 江西科学, 2010, 28(4): 470-472.
- [19] 鲜殷明,陈海东,邹惠仙,等. 淡水水生植物化感作用研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 664-669.
- [20] 唐艺璇. 杭州市富营养化河道生态浮岛修复的植物选择与示范[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [21] 许航. 水生经济植物塘脱氮除磷的效能及机理研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1999, 32(4): 69-73.
- [22] 屠清瑛,章永泰,杨贤智. 北京什刹海生态修复试验工程[J]. 湖泊科学, 2004, 16(1): 15-16.
- [23] 张华. 人工浮岛在丁香湖水水质改善中的应用[J]. 环境保护科学, 2011, 37(2): 34-36.
- [24] 罗固源,卜发平,许晓毅,等. 温度对生态浮床系统的影响[J]. 中国环境科学, 2010, 30(4): 499-503.
- [25] 张晋. 人工浮岛技术对微污染水源水净化作用的试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [26] 张志勇,郑建初,刘海琴,等. 凤眼莲对不同程度富营养化水体氮磷的去除贡献研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 152-157.
- [27] 张志勇,常志州,刘海琴,等. 不同水力负荷下凤眼莲去除氮、磷效果比较[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(2): 148-154.

Research Progress of Artificial Floating Island Technology in Northern Region Water Quality Improvement

CHAO Le¹, LIU Xin^{1,2}, Hu Cheng¹, WANG Lin-shan², SHAO Xue^{1,2}

(1. Liaoning Academy of Environmental Sciences/Liaoning Province Key Laboratory of Basin Pollution Control, Shenyang, Liaoning 110031; 2. Science College of Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110819)

Abstract: Artificial floating island, a important kind of ecological wastewater treatment technology, mainly applies to the eutrophication purification of water quality. This paper summarised the developments on histong of artificial floating islands technology and its construction types and methods. It also macroscopically expounded the principles of water quality improving by artificial floating islands. In addition, with some examples, it analyzed four influential factors. Finally, it gave the application prospect of artificial floating islands in the future.

Key words: artificial floating islands; eutrophication; carrier; coverage rate; hydraulicload