

水生植物在湖泊富营养化生态修复中的应用

何淑英¹ 李继香² 徐亚同¹

(1. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062; 2. 同济大学国家污染控制与资源化研究重点实验室, 上海 200092)

摘要 介绍水生植物修复技术和其对氮磷的净化能力, 重点阐述了水生植物在水体生态修复中的重要地位及其在湖泊治理中的生态功能。利用水生植物控制湖泊富营养化具有成本低、美化环境等多种优点。

关键词 水生植物; 富营养化; 生态修复

中图分类号 :X171 **文献标识码** :B **文章编号** :1004-693X(2007)S2-0078-04

近 20 年来, 我国湖泊水环境污染和富营养化日趋严重^[1]。由于人口增长和城市化进程的加快, 工农业的发展, 特别是农用化肥及农药的大量使用, 使排入湖泊、水库的磷、氮、钾等营养物质增加。据统计我国 131 个大中型湖泊中, 89 个湖泊被污染, 67 个湖水水体达富营养化程度。特别是长江中下游湖泊出现严重的藻型富营养化, 许多湖泊水生植被消失, 水质恶化^[2-3]。国内外的经验表明, 湖泊富营养化的治理, 通常采取控制污染源(外源与内源)、改善水质和恢复生态、实施流域管理这 3 个步骤。其中生态修复是十分关键的内容, 只有修复退化的湖泊生态系统, 湖泊富营养化才能真正得到控制。

1 水生植物在生态修复中的作用

我国的富营养化湖泊, 大多是由长期不被合理利用的草型湖泊转变而来。从整体上看, 以水生植物为主要初级生产者的湖泊水质较好, 水生生物的多样性较高。高等水生植物种群的减少是健康水生生态系统退化的重要标志。由贫营养型向富营养型发展是湖泊自然演变的过程, 沉水植物的出现是湖泊富营养化发展过程中自然选择的结果。沉水植物吸收底泥和水中的营养盐生长, 分泌的化学信息素可遏制浮游植物生长, 并共生有利于有机物矿化分解的微生物群落, 其生长周期以月和季节为主, 不同沉水植物优势种群的生长季节往往交叉演替, 在年度内形成适宜于高等水生生物生存的环境, 对水质起持续的净化作用。当水体营养程度进一步提高后, 在某种水生高等植物生长的不利季节, 特别是在其机体的萎缩部位, 着生藻类容易滋生。着生藻类、生

物残体和颗粒悬移质的增加使水体透明度减少, 沉水植物生长率相应减少, 成为以浮游植物为主的生物多样性少的富营养化湖泊。

1.1 对营养物质的吸收作用

在人类活动影响以前, 虽然湖泊存在着自然富营养化的过程, 但这个过程很缓慢, 主要得益于大量的湿地与水生植被的发育。这些水生植物根部、茎部可从水体和底泥中吸收氮磷等元素^[4], 将营养物质固定在体内, 收割时将其带出水体生态系统。可见, 水生植物发育良好, 可有效削减排入湖中的营养盐负荷, 起到净化湖水和防止富营养化的作用。

1.2 对水相的生态作用

水生植物能够减小水中的风浪扰动, 降低水流速度, 减小水面风速^[5], 为水生动物提供庇护场所, 减少对水体的扰动, 促进悬浮固体沉积, 防止固体重新悬浮^[6]。

1.3 对沉积物的作用

植株根系能吸收光合作用产生的氧气以及大气中的氧, 一部分供植物呼吸作用, 一部分向根区释放, 扩散到周围缺氧的环境中, 在还原性的底泥中形成氧化态的微环境, 促进根区微生物的生长、繁殖和好氧生物对有机物的分解, 并有助于硝化菌的生长^[7]。因此, 水生植物是沉积物-水-气的有机结合部, 对气体有传输和释放作用。

1.4 在水生态系统中的地位与作用

水生植物是水生态系统的重要组成部分和主要的初级生产者, 对生态系统物质和能量的循环和传递起调控作用。通过大量吸收水体中的各种营养物质, 同时, 固定与转化太阳能并向系统中的其他组分

提供能量,使整个水生生态系统得以运转。它在改善水域生态条件,优化水域环境,在为水生动物提供栖息生存、繁衍生殖、索饵育肥、逃避敌害的场所方面起着极其重要的作用。

高等水生植物是水生生态系统的重要组成部分,它不仅具有较高的生产能力和经济价值,而且具备很强的环境生态功能^[8]。水生植物对氮、磷等植物必须的16种元素除吸收、同化及完成其他生理功能外,还可将多余部分的量贮存在组织体内,因而可消除富营养化带来的污染。高等水生植物能保持清澈的水质和复杂多样的环境条件,为鱼类、鸟类等水生动物的栖息和繁殖提供丰富多彩的生活环境。水生高等植物的存在,有利于维持良性的生态系统,并能在较长时间内保持水质的稳定。因此,可以说高等水生植物的恢复是水生生态系统恢复的关键。

沉水植物是湖泊生态系统的重要组成部分,是主要的初级生产者之一,是湖泊生态系统的物质循环和能量流动重要环节,可以稳定和改善底质,增加溶氧,吸附悬浮物,抑制藻类生长,能为多种动物提供休憩、繁殖或避难场所,是维持湖泊生物多样性的主要因素之一,沉水植物对湖泊生物学结构及水质有重要作用^[9],且沉水植物群落可以有效促进悬浮物的沉降,提高水体透明度^[10]。

2 水生植被恢复的基本条件

制约水生植物生长的环境因子包括水温、光照、pH值、水中营养盐含量、溶解氧和底质条件等^[11]。沉水植物对低温有较好的适应性,最适宜的生长温度为15~30℃,当水温超过30℃时,多数沉水植物难以生长。水下光照条件对浮叶植物和挺水植物的影响较小,主要影响沉水植物光合作用,一般认为,水底光照强度不足入射光的1%时,沉水植物就不能定居。多数沉水植物对pH值的耐受范围为4~12,适应范围为6~10。在一定的营养盐浓度范围内,随着营养盐浓度的增加,对水生植物的生长有促进作用,但营养盐浓度过高时,富营养化造成植物过量吸收水体营养,从而抑制水生植物的生长。底质是沉水植物根系的固定点,又是其生长所需矿质元素的主要来源。进行水生植被恢复时,要重点考虑光照和底质条件。

在已经严重退化的水域内恢复历史景观是可能的,在历史上没有沉水植物的水域上重建水生植被要分析其可能性。其关键因素是:提高水体透明度;消除沉水植物重建时的破坏因子,比如风浪、食草鱼类等^[12]。

3 水生植物对氮磷的净化能力

湖泊水体中水生植物的分布对氮、磷因子会产生一定影响,不同种类的水生植物在相同生态环境中生长状况不尽相同,且不同的植物种类以及植物体不同的器官其吸收能力都不相同,且随生长期而变化^[13]。对水体中的氮、磷等营养元素的吸收净化能力存在很大的差异,其作用效果和影响强度则与植物种类有一定关系。

3.1 水生植物的分布

沉水植物主要分布在中到中-富营养湖泊中,在富营养湖泊很少分布,浮叶和挺水植物在不同营养类型湖泊的沿岸带均有分布。挺水植物大多分布于湿地、浅滩、湖滨带^[14]等处生长,即合适深度的繁衍场所,生长环境具有很大的局限性。

3.2 不同类型水生植物吸收氮磷的特点

水生植物组织中氮和磷含量受到水体营养状况和植物生长状况影响。N和P含量以沉水植物最高,浮叶植物次之,挺水植物最低。浮叶植物和沉水植物与水柱营养含量的关系较挺水植物密切,在区域尺度上,中营养以上水体中,沉水植物和浮叶植物的N、P质量浓度与湖泊的营养类型存在着较明显的关系,肯定了浮叶植物和沉水植物对水柱N和P的富集作用,其原因与浮叶植物和沉水植物比较强的水生适应性是一致的,同时,这两种类型植物都具备根和茎同时吸收营养的能力。

大型沉水植物则通过根部吸收底质中的氮和磷,从而具有比浮水植物更强的富集氮磷的能力。沉水植物有着巨大的生物量,与环境进行着大量的物质和能量的交换,形成了十分庞大的环境容量和强有力的自净能力。在沉水植物分布区内,COD、BOD、总磷、铵氮的含量都普遍远低于其外无沉水植物的分布区。不同的沉水植物对水体中的总氮、总磷均有显著的去作用。在关于常见沉水植物对滇池草海水体(含底泥)总氮去除速率的研究中发现:物种去除能力的大小顺序依次为伊乐藻>苦草>狐尾藻>篳齿眼子菜>金鱼藻>菹草>轮藻。此外,黑藻对磷的需求较低,并可利用重碳酸盐作为光合作用的碳源。

总而言之,恢复以沉水植物为主的水生植物,可以有效地降低氮、磷的循环速度,控制浮水植物过度增长,是重建富营养湖泊生态系统的重要措施。

4 水生植物恢复技术

恢复水生植物,修复生态系统,是现阶段在无法实行全流域截污的条件下进行改善水质的有效途

径。只有重建并依靠优化的水生植物大面积的稳定存在,才能实现逐步恢复和提高河道水质的目的,即筛选出一批价值高、净化能力强、耐污性能好的物种,可以在一年四季的时间里,在水体上下层空间中配置优化的植物群落。镶嵌植物群落组合(由浮水、浮叶、沉水植物优势种的斑块构成)可有效地减少藻类的生物量。在富营养化湖泊大型水生植物恢复中,物种和群落是恢复生态系统的主体,恢复物种和群落的选择是恢复成败的关键因素之一。水质恢复和水生植物的重建是漫长的过程,实际治理中,还要采取多种手段综合进行。

4.1 先锋物种的选择

先锋物种的选择是在对水体植物生物学特性、耐污性、对氮磷去除能力的研究基础上,筛选出一些具有一定耐受性、能适应湖泊水质现状的物种作为恢复的先锋物种,同时为水生植物群落的恢复提供建群物种^[15]。

4.2 群落配置

一般来说,水生植物群落的配置应以湖泊历史上存在过的某营养水平阶段下的植物群落的结构为模板,适应性地引入经济价值高、有特殊用途、适应能力强、生态效益好的物种,配置多种、高效、稳定的植物群落、人工植物群落包括两方面的内容:水平空间的配置和垂直空间的配置。在湖泊水生植被恢复群落配置时,应同时考虑生态学和经济学原则,将生态型群落和经济型群落的配置有机结合起来。

4.3 水生植物的恢复

4.3.1 挺水植物

挺水植物的恢复一般不需要演替过程。在确定目标植被的空间分布和种类组成后可以直接进行种植。芦苇、香蒲等挺水植物种类大多为宿根性多年生,能通过地下根状茎进行繁殖。在早春发芽之后带跟移栽成活率最高。在湖水比较深的地段可移栽比较高的种苗,原则是种苗移栽后有 1/3 以上挺上水面。

4.3.2 浮叶植物

浮叶植物对水质有较强的适应能力,对湖水水质和透明度要求不严,可以直接进行目标种的种植或移栽,但对水深有要求。可以采取营养体移栽、撒播种子或繁殖芽、扦插根状茎等多种方式。

4.3.3 沉水植物

沉水植物对水深和水下光照条件的要求都很严格,因此沉水植物的恢复是湖泊水生植被恢复的重点和难点。沉水植物恢复时,应根据湖区沉水植物分布现状、地质、水质现状等因素,选择不同生物学、生态学特性的先锋种进行种植。湖区污染严重、沉

水植物难以存活时,可先移植漂浮植物如凤眼莲、大藻或浮叶植物菱对湖水先净化,待透明度提高后再种植沉水植物,建立先锋群落。沉水植物恢复时,应从水浅的岸边开始,并在低水位季节进行。

水生植物在富营养化水体中难以形成稳定植被,透明度低,不能维持正常的光合作用,因此有必要探索、营造适合水生植物生长和扩增生境条件。通过对太湖地区不同水生植物的生理、生态学特征的比较与围隔试验,发现影响沉水植物修复的主要问题是光照透明度、风浪、底泥环境、鱼牧食等。研究发现通过消浪、控藻等措施将有助于改善光照透明度,恢复水生植物。

5 水生植物恢复途径

治理富营养化湖泊的一个重要内容是水生植物生态修复,它能提高本土沉水植物覆盖度又是修复湖泊生态系统的重要措施,沉水植物对湖泊或河流中的生物因素与非生物因素有重要影响,沉水植物对湖泊生物学结构及水质有重要作用。根据浊水稳态向清水稳态转换的驱动力分析,提出改善沉水植物生境的措施,以实现富营养化湖泊由藻型浊水稳态向草型清水稳态的转换。

5.1 降低水中的营养盐浓度

随着水体中营养盐浓度进一步提高,水体中的浮游植物与固着藻类增多,固着藻类遮蔽沉水植物的表面,使植物光合作用效率降低,浮游植物的增多使透明度迅速下降,当浮游植物过多而影响沉水植物光合作用时,水生植物迅速死亡。与此同时,浮游植物也失去庇护所,被鱼类捕食,浮游动物捕食压力减小使得浮游植物进一步增加。此时食物网被破坏,食杂性鱼类不得不到底质中觅食,这样就加剧了底质的再悬浮。在浮游植物增加和底质再悬浮的双重作用下,水体的透明度进一步降低。

控源截污是生态修复的前提,也是降低水中营养盐的非常有效的手段,污染源控制后,凭借水体的自净与沉淀功能,湖泊水体中营养盐浓度会有明显降低。

5.2 提高水体透明度

透明度是浮游植物与无机悬浮物量的综合反映,它受物理、化学、生物影响。减少浮游植物量与底质再悬浮的措施均能改善水体透明度。如水生植物浮床可以降低营养盐浓度,营造围隔可以降低底质再悬浮。

5.3 控制杂食性与草食性鱼类、螺类

控制草食性鱼类的生长一方面可以消除因鱼类在底质觅食引起的底质悬浮,另一方面保证沉水植

物在恢复初期水草不被牧食。鱼类、螺类的新陈代谢可促进水体中溶解态氮磷含量增加 ,同时促进沉水植物的生长。

5.4 降低水位

湖泊水位的提高将影响沉水植物的光合作用 ,当水深超过沉水植物的光补偿深度时 ,沉水植物将因不能进行光合作用而死亡 ,所以水位提高到一定深度对水生植物的影响是致命的也是迅速的 ,在一周内沉水植物可能死亡。在有调控条件的情况下 ,改善沉水植物的光合作用条件 ,是恢复沉水植物的有效措施。

5.5 采用软围隔营造静水环境

在小型湖泊的局部水域中采用软围隔消浪 ,可以有效营造静水环境 ,防治因风浪影响而引起的底质悬浮等不良作用。

6 结 语

富营养化湖泊中水生植物修复的主要目的是通过水生植物促进生态系统的自净能力和良性循环 ,通过分析水生植物对水中氮、磷等营养元素和污染物的吸收及分解作用 ,可选择不同的水生植物及其组合来适应不同的受污染水体。还可通过控制水生植物的数量来调控净化能力的大小 ,以修复受污染水体并保持水质。

利用水生植物控制湖泊富营养化有多种优势 :成本低 ,能耗小 ,对环境扰动小 ,植物资源可回收再利用 ,并获得一定经济效益 ,有较高美化环境价值 ,利于整体生态环境的改善。因此进行水生植物恢复来协助治理湖泊具有广阔的应用前景。根据我国湖泊富营养化发展的现状与原因 ,恢复和重建水生植被以提高湖泊自身的自净能力是解决湖泊富营养化和实现湖泊资源可持续利用的关键。

参考文献 :

[1] 金相灿 ,屠清瑛 .湖泊富营养化调查规范 [M].2 版 .北京 :中国环境科学出版社 ,1990 :100-101 .
[2] YANG Q X ,LI W C. Environmental changes since foundation of Pen-Fish-Farming in east Taihu lake[J]. China Environmental Science ,1996 ,16(2) :101-106 .
[3] YANG Q X ,LI W C. Effects of high density Pen-Fish-Farming on aquatic macrophyte and its countermeasure[J]. Chinese Journal of Applied Ecology ,1996 ,7(1) :83-88 .
[4] 吴振斌 ,邱东茹 ,贺锋 ,等 .水生植物对富营养化水体水质净化作用研究 [J]. 武汉植物学研究 ,2001 ,19(4) :299-303 .
[5] 苏胜齐 ,姚维志 .沉水植物与环境关系评述 [J]. 农业环

境保护 2002 21(6) 570-573 .

[6] SOMES N L G ,BREEN P F ,WONG T H F. Pre-prints of the 5th inter-national conference on wetland system for water control[M]. Vienna :University Bo-den-kulture Wien ,1996 :1-8 .
[7] 成水平 ,吴振斌 ,夏宜琚 .水生植物的气体交换与输导代谢 [J].水生生物学报 ,2003 27(4) :413-417 .
[8] VANDENBERG M S ,COOPS H ,MEIJER M L et al. Clearwater associated with a dense chara vegetation in the shallow and turbid lake veluwemeer ,the netherlands[J]. Ecolog-ical Studies ,1998 ,131 :339-352 .
[9] CARPENTERT ,KITCHELL J F. The temporal scale of limnetic primary production[J]. Am Nat ,1986 ,129 :417-433 .
[10] 金相灿 ,颜昌宙 .太湖北岸湖滨带观测场水生植物群落特征及其影响因素分析 [J]. 湖泊科学 ,2007 ,19(2) :151-157 .
[11] CARPENTER S R ,LODGE D M. Effects of submerged macrophytes on ecosystem processes[J]. Aquat Bot ,1986 ,26 :341-370 .
[12] 童昌华 .水体富营养化发生原因分析及植物修复机理的研究 [D]. 杭州 :浙江大学 ,2004 .
[13] 缪绅裕 ,陈桂珠 .人工湿地中的磷在模拟秋茄湿地系统中的分配与循环 [J]. 生态学报 ,1999 ,19(2) :236-241 .
[14] 刘伟龙 ,胡维平 .西太湖水生植物时空变化 [J]. 生态学报 ,2007 27(1) :159-170 .
[15] 金相灿 .湖泊富营养化控制和管理技术 [M]. 北京 :化学工业出版社 ,2001 .

(收稿日期 2007-07-10 编辑 舒 建)

(上接第 77 页)

在南水北调中线工程实施前 ,要通过强化节水和推进合理用水 ,使地下水超采状况有所控制。在咸水覆盖区 ,越流补给的咸水会破坏地下淡水储水条件 ,应采取措施停止深层地下水开采。在南水北调实施后 ,一般年份城镇要全部禁采地下水 ,并在全部供水区范围内限制超采地下水 ,干旱年地下水与南水北调来水联合运用应急 ,从而使地下水位逐步恢复到合理状态 ,使生态环境逐步恢复 ,实现良性循环。

参考文献 :

[1] 陈望和 .河北地下水 [M].北京 :地震出版社 ,1999 :42-43 .
[2] 张光辉 ,王金哲 .海河流域中东部平原地下水补给与释水机制探讨 [J]. 水文 ,2002(3) :5-9 .
[3] 王巧平 ,李明良 ,卢胜勇 .河北省京津以南平原区地面沉降预测研究 [J]. 南水北调与水利科技 ,2002(2) :27-30 .
[4] 乔光建 ,张均玲 .邢台市平原区地下水环境问题分析 [J]. 水资源保护 ,2002(4) :21-24 .
[5] 乔光建 ,张均玲 .邢台市地下水环境现状和保护对策 [J]. 水资源保护 ,2003(1) :52-54 .

(收稿日期 2007-04-30 编辑 高渭文)