

The Research of the Plants on Phosphorus Pollution Restoration in the Saucer Lake*

Lin Wang¹, Na Zhang¹, Yue Hu¹, Lifang Zou², Mianhao Hu¹

¹School of Tourism and Urban Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang

²Department of Physiology, Basic Medical College of Nanchang University, Nanchang

Email: wanglin4049@163.com, 1012080797@qq.com

Received: Jun. 6th, 2013; revised: Jun. 30th, 2013; accepted: Jul. 6th, 2013

Copyright © 2013 Lin Wang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Phosphorus is the specific pollutant in eutrophication of water body and it is a major nutrient element of plants and microorganisms. Water eutrophication is not only the most common phenomenon, but also a difficult problem in water pollution environment treatment at home and abroad. This paper, based on ecological restoration technology as the breakthrough point, studies some plants in saucer lake wetland, including *Rumex acetosa* L., *Rorippa indica* L., *Hiern*, *Echinochloa crusgalli* L., *Beauv*, *Cyperus rotundus* L., *Daucus carota* L., *Phalaris arundinacea* Linn, the six dominant plant biomass and the purification effect of phosphorus in the sewage, and also analyzes the relationship between roots, biomass above ground and the effect of the sewage purification. According to the growth environment conditions of vegetation and vegetation of its own characteristics, our team explores the optimal combination which makes it adapt to the climate and soil environment of the local area to govern the water pollution.

Keywords: Ecological Restoration; Phosphorus; Biomass; Biological Modulus

碟子湖磷污染的植物修复研究*

王 林¹, 张 娜¹, 胡 月¹, 邹丽芳², 胡绵好¹

¹江西财经大学旅游与城市管理学院, 南昌

²南昌大学基础医学院生理学教研室, 南昌

Email: wanglin4049@163.com, 1012080797@qq.com

收稿日期: 2013年6月6日; 修回日期: 2013年6月30日; 录用日期: 2013年7月6日

摘 要: 磷是富营养化水体中的特征污染物, 是植物和微生物的主要营养元素。而水体富营养化是水体污染中最为普遍的现象, 也是国内外水环境污染治理的难题。本文以生态修复技术为切入点, 研究了碟子湖湿地中酸模、蔊菜、稗草、莎草、野生胡萝卜、藜草六种优势植物的生物量和对污水中磷的净化效果, 分析了根系和地上部分生物量与污水净化效果之间的关系。根据植被的生长环境条件和植被的自身特性探究出最优组合, 使其适应于当地局部地区的气候及土壤环境, 治理水体污染。

关键词: 生态修复; 磷; 生物量; 生物模量

1. 引言

随着经济发展和人口增长, 水体富营养化问题日

*资助信息: 2011年~2012年大学生创新创业训练计划项目(编号: 201210421037)。

趋突出, 其中磷对水体富营养化的贡献尤为特殊。大量磷的存在导致藻类过量繁殖, 引起水质恶化、湖泊退化, 严重破坏水体生态环境, 威胁水生生物的生存, 乃至人类健康。治理水体的富营养化, 第一是严格控

制各类污染源将营养物质带入水体,第二是削减已处于或趋近于富营养化状态的公共自然水体中的 P 含量。

目前采用的方法主要有化学、物理和生物方法。化学法是投撒混凝剂或吸附剂,效果是暂时的,且有副作用;物理方法如清挖底泥,费用较高,技术难度大,掌握不好可能导致水体 P 平衡的破坏,水质更加恶化;生物方法过去多采用在水域中放养凤眼莲等水生杂草,虽收到一定效果,但由于价值低难以收获利用,且产生二次污染。草地类型河岸缓冲带能有效地控制磷向水体中迁移;植被类型、河岸缓冲带的宽度、水文特征、土壤性质、季节变化以及人为活动等是影响其截留效率的因素;加强退化河岸缓冲带的恢复重建工程,尤其是培育合适的植被类型,可以保证河岸生态系统的健康^[1]。

我国是一个拥有较多湖泊的国家,在全国范围内,1 km²以上的湖泊有 2759 个,总面积达到 91,019 km²,占国土总面积的 0.95%,其中约三分之一都为淡水湖泊^[2]。据相关报道显示,我国七大水系和内陆河的水体富营养化程度日趋严重,蓝绿藻频繁发生,从而导致了水体部分功能丧失殆尽,生物多样性受到严峻的挑战^[3,4]。

长江中下游地区为我国浅水湖泊分布最为集中的地区,面积 1 km²以上的湖泊占全国的 23.6%^[5]。在 7 个主要湖泊中,富营养水平的湖泊有 6 个,占总数的 85.7%,超富营养水平的湖泊有 1 个,占总数的 14.3%,由此可见,湖泊富营养化状况非常严重。江西省是我国长江流域的重要省份之一,境内河流湖泊众多,10 km²以上河流有 3771 条,2 km²以上湖泊有 77 个。其中鄱阳湖是我国最大的淡水湖泊,纳赣、抚、信、饶、修五大河及博阳河、西河等来水。鄱阳湖水系流域面积为 6.22 × 10⁴ km²,占全省国土面积的 94.0%^[6]。

随着江西省经济总量的快速增加,城市面积的急速扩大,城郊湖泊的城市化现象越来越突出,而城市化随之带来的富营养化和水体污染是当前社会发展与现代城市建设不容忽视的严重环境问题。目前,南昌城市湖泊中青山湖水生植被已完全退化,成为次生裸地;艾溪湖和前湖处于人口密集的大学城,水环境现状不容乐观,水生植物生物量仅 420 g/m²,水生植

被呈现衰退的趋势^[7-9]。

随着社会的高速发展,人类活动对河流生态系统造成的不利影响逐渐显现,河流生态修复的理念应运而生。20 世纪 30 年代~20 世纪 50 年代是以污水处理和河流水质保护为主的生态修复理论雏形阶段;20 世纪 50 年代~20 世纪 80 年代是以“近自然河道治理工程学”为主要理论基础的生态修复理论形成阶段;20 世纪 80 年代后河流生态修复的重点拓展为河流生态系统恢复,相关修复实践全面展开;自 20 世纪 90 年代我国开始河流生态修复技术的探索,目前在水质净化、生态河堤建设、生态景观设计和新材料应用等科研领域取得了大量成果^[10]。

本文以生态修复技术为切入点,研究了碟子湖湿地中酸模、蔊菜、稗草、莎草、野生胡萝卜、蔊草六种优势植物的生物量和对污水中磷的净化效果,分析了根系和地上部分生物量与污水净化效果之间的关系。根据植被的生长环境条件和植被的自身特性探究出最适组合,使其适应于当地局部地区的气候及土壤环境,治理水体污染。

2. 材料与方法

2.1. 样地介绍

碟子湖(见图 1)位于南昌市红谷滩新区,与庐山南大道和碟子湖大道相连,与黄家湖、孔目湖形成一个水系,与赣江相通。近年来,碟子湖水系因为缺乏管理,导致周边环境脏乱,有些地方成为垃圾场,湖水出现发黑、发臭现象,水面上漂浮大量杂物(见图 2),破坏了碟子湖水系整体形象。被污染的水流入孔目湖影响孔目湖的水质状况,流入赣江,使得赣江的水质受到较为严重影响。选择南昌碟子湖岸一块长 12 m,宽 5 m,总面积 60 m²。坡面硬化的岸边滩涂为采样地点。选择酸模、蔊菜、稗草、莎草、野生胡萝卜、蔊草六种优势植物作为调查植被(见表 1)。

2.2. 样品的采集和制备

2.2.1. 植被样采集和制备

采集的植物样品先用自然水冲洗干净,再用去离子水将植株冲洗几遍,然后分为地上和地下部测定植株地上部分和地下部分的生物量。将鲜样在 105℃下杀青 50 min,再在 70℃下烘 72 h(至恒重),测定其干

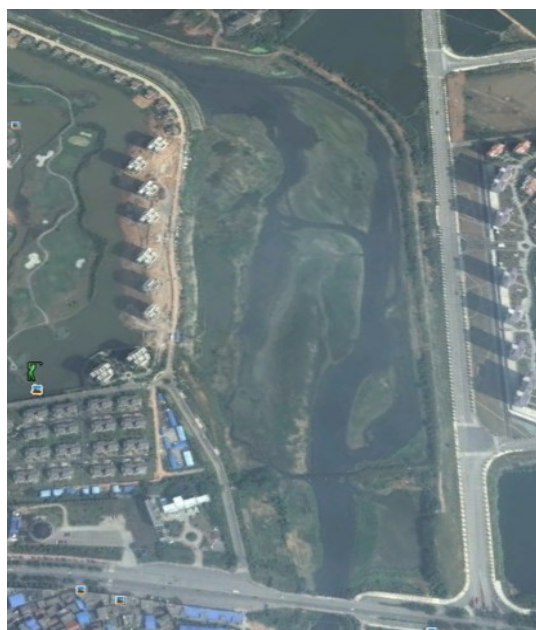


Figure 1. Location of Nanchang saucer lake
图 1. 南昌碟子湖地理位置



Figure 2. Present condition of the lakeside
图 2. 湖岸现状

Table 1. Name of vegetation investigation
表 1. 调研植被名称

代号	名称	拉丁学名
1	酸模	<i>Rumex acetosa</i> L.
2	蔊菜	<i>Rorippa indica</i> (L.) Hiern
3	稗草	<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv
4	莎草	<i>Cyperus rotundus</i> L.
5	野胡萝卜	<i>Daucus carota</i> L.
6	藨草	<i>Phalaris arundinacea</i> Linn

物质量。然后用万能不锈钢粉碎机磨细，过 0.5 mm 筛。对植被样进行消解，稀释，定容于 100 ml 容量瓶中，过滤，作全磷待测液。

2.2.2. 土壤样采集和制备

取土壤样，风干，过 100 目筛。利用 H_2SO_4 、 $HClO_4$ 消煮，冷却定容于 100 毫升容量瓶中，用干燥漏斗和无磷滤纸将溶液滤入干燥的 100 毫升三角瓶中，做全磷待测液。

2.2.3. 水样采集和制备

低于水面下 0.5 m 处采得水样，装于水样瓶，瓶外提上水样采集地点、日期、时间、采样时的水温、气温，采样者姓名。取水样与 25 ml 比色管中，加入 0.04 g 过硫酸钾，旋紧盖子，置于消解器内 120℃ 消解 30 min，取出冷却，备用。

2.3. 样品中磷的测定

2.3.1. 植被样中磷的测定

采用钒钼黄吸光光度法测定植物样品中的磷，植物样品经浓 H_2SO_4 消煮使各种形态的磷转变成磷酸盐。待测液中的正磷酸与偏钒酸和钼酸能生成黄色的三元杂多酸，其吸光度与磷浓度成正比，可在波长 400~490 nm 处用吸光光度法测定。磷浓度较高时选用较长的波长，较低时选用较短波长^[11]。

2.3.2. 土壤样中磷的测定

在高温条件下，土壤中含磷矿物和有机磷化合物与高沸点的 H_2SO_4 和强氧化剂 $HClO_4$ 作用，使之完全分解，全部转化为正磷盐而进入溶液，然后用钼锑抗比色法测定^[12]。

2.3.3. 水样中磷的测定

用钼锑抗分光光度法测定水体中的磷。在一定酸度和锑离子存在的情况下，磷酸根与钼酸铵形成磷钼钒混合杂多酸，它在常温下可迅速被抗坏血酸还原为钼蓝，在 650 nm 波长下测定^[13]。

3. 结果与分析

3.1. 生物量分析

通过实验可知，该湿地植物的平均生物量变化(表 2)范围在 0.933~5.091 g/株(干重)之间，其中莎草的生物量较低，酸模、蔊菜和野胡萝卜的生物量较高，生物量最高的是酸模，尤其是距水面 4.5~5 m 的酸模，其生物量达到 5.091 g/株。不同植物地面部分与地上部分的比值也不相同，蔊菜、藨草、酸模的比值较大，

Table 2. Biomass of wetland plant
表 2. 湿地植物生物量变化

代号	距水面距离(m)	地面部分生物量(g)	地下部分生物量(g)	总生物量(g)
1	0~1.2	3.125	1.078	4.203
2	0~1.2	2.086	0.602	2.684
3	1.2~2.7	0.905	0.453	0.905
4	2.7~4.5	0.617	0.316	0.617
5	4.5~5.0	1.175	0.426	1.175
1	4.5~5.0	3.713	1.378	3.713
6	零星分布	0.812	0.253	0.812

其中最大值为 3.465。酸模 A、焯菜、稗草、莎草、野胡萝卜、酸模 B、藜草地上部分生物量占总生物量的比重均在 70%左右。从湿地植物收获的可操作性分析,地上部分生物量在总生物量中的比重越大,对于湿地生态工程中去除磷越有利,因此,地上部分的生物量同时可以反映根系的生长情况^[14]。

3.2. 总磷去除效果

植物体不同组织中的磷质量浓度呈现出差异。由表 3 可以看出,地上部分植株中磷含量最高的是焯菜,达到 6.932 mg/g,其次是酸模 A,最低的是藜草;地下部分磷含量最高的为靠近水体的酸模,磷含量达到 5.521 mg/g,依次为 1、5、4、3、6、2;同时不同湿地植物地上和地下部分植株中磷的比值也不相同(图 3)。其中焯菜、稗草、莎草地面部分的磷含量高于地下部分的磷含量。相比于土壤中和水体中的磷含量,植物体组织内的磷含量,明显高于土壤和水体中的磷含量。

3.3. 吸收系数、吸收量系数

参考植被对重金属的吸收系数,吸收量系数,提出植被对磷的吸收系数和吸收量系数。吸收系数是指地上部吸收的某种物质含量与土壤中该物质含量之比,用来反映土壤—植物体系中元素迁移的难易程度,评价植物将该物质吸收转移到体内能力的大小。超富集植物地上部吸收系数大于 1,即植物地上部污染物含量超过土壤中该种污染物含量^[15]。表 4 中可以发现,七种样品中的植被吸收系数均大于 1,地上部

Table 3. The phosphorus content in the samples
表 3. 样品中的磷含量

代号	磷含量(mg/g)	
	地下部分	地面部分
1	5.521	5.034
2	3.542	6.932
3	3.996	4.939
4	4.028	4.705
5	4.677	4.142
1	4.174	4.028
6	3.834	3.266
土壤样	2.648	
水样	0.880	

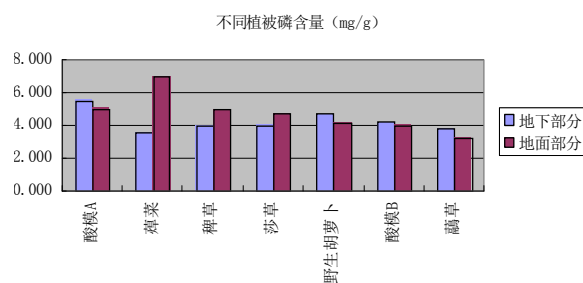


Figure3. Phosphorus content in different plants
图 3. 不同植株磷含量

Table 4. Phosphorus in the plants of absorption coefficient, transfer coefficient and absorption modulus
表 4. 磷在植株上的吸收系数、转运系数、吸收模量

代号	吸收系数	转运系数	吸收量系数	转运量系数	吸收模量 ($\times 10^{-7}$)
1	1.900	0.912	5.938	2.643	7.78
2	2.617	1.957	5.448	6.770	7.14
3	1.864	1.236	1.687	2.470	1.77
4	1.776	1.168	1.096	2.281	0.96
5	1.563	0.886	1.837	2.442	5.78
1	1.521	0.965	5.646	2.600	17.76
6	1.233	0.852	1.001	2.734	0.31

磷的含量超过土壤中磷的污染物含量。

$$\text{吸收系} = \frac{\text{地上部分磷含量}}{\text{基质中磷含量}} \quad (1)$$

$$\text{吸收量系} = \frac{\text{地上部分磷含量} \times \text{地上部生物量}}{\text{土壤中磷含量}} \quad (2)$$

吸收系数仅从元素含量角度考察植物对某类污

染物的吸收能力,忽略了植物生物量的影响。聂发辉和吴双桃等提出了吸收量系数^[16-18],吸收量系数等于吸收系数与植物地上部生物量的乘积,该系数综合考虑了吸收系数和生物量两个重要因素,它不仅能够较好地指示污染元素富集能力,同时也能反映植物的生长对污染环境的适应性,所以与吸收系数相比,吸收量系数是一个表征植物对污染物的吸收能力的更理想的指标。从表中可以发现,吸收系数从 1.233~2.617,酸模、蔊菜的吸收量系数显著比其他的几种植被高,尤其是蔊菜,达到 2.617,同时还具有较高的转运量系数。酸模和蔊菜是较为理想的吸附磷植物。

3.4. 转运系数、转运量系数

参考植被对重金属的转运系数,转运量系数,提出植被对磷的转运系数和转运量系数^[17,18]。转运系数是指地上部吸收的某种物质含量与根系中物质含量之比,用来评价植物将该物质从地下部向地上部的运输和富集能力。转运系数和转运量系数都是用来评价植物将污染物从地下部向地上部的运输和富集能力的指标。

$$\text{转运系数} = \frac{\text{地上部分磷含量}}{\text{根部磷含量}} \quad (3)$$

$$\text{转运量系数} = \frac{\text{地上部分磷含量} \times \text{地上部干重生物量}}{\text{根部磷含量} \times \text{根部干重生物量}} \quad (4)$$

转运系数和转运量系数体现了污染物在植物的地上部和地下部的分配情况。通常认为吸收系数高的植物对该污染物的修复能力强,而转运系数大的植物从根系向地上部器官转移的能力强。从数据中可以发现,蔊菜、稗草和莎草中磷的含量均未根部高于地上部,即转运系数大于 1,植株向地上部分转移污染物能力强。酸模、野生胡萝卜和藨草的转运系数小于 1,但是都在 0.8 以上,植株地上部分转移污染物的能力也较强。

3.5. 吸收模量

吸收模量为植物一次地上部分从土壤中吸收的某种污染物总量与根系作用层土壤中该污染物的总量之比^[15-18]。吸收模量是一个综合性的指标,综合考虑了作物地上部分生物积累量,也考虑了根系作用层中的污染物总量,从而能对污染物的实际修复效果方

面全面地评价植株的吸收能力,作为一个重要的指标来衡量植物修复水体中的富营养物质磷。

$$\text{吸收模量} = \frac{\text{地上部分磷含量} \times \text{地上部分干质量生物量}}{\text{根部磷含量} \times \text{根系作用层基质总量}} \quad (5)$$

酸模、蔊菜、野生胡萝卜都有较大的吸收模量,主要是酸模有较大的生物量,而蔊菜中的磷含量较大,野生胡萝卜分布的面积较小,但是分布相对集中,所以这三类植物是具有较好的吸附能力。从不同作物对磷吸附的吸收模量看,原理水面的酸模 B,据有 17.76×10^{-7} 的吸收模量,是最为理想的吸附植物。

4. 小结

1) 通过对当地土壤和水体中磷含量的测定,碟子湖属于污染水域。酸模、蔊菜、稗草、莎草、野生胡萝卜、藨草适合该地的自然环境和土壤环境,长势良好。同时在距离水面五米的范围内,均有相对鲜明的分布范围。

2) 酸模生物量丰富,尤其是靠岸的酸模,单株生物量达到 5.091 g。六种植被中的磷含量均高于土壤和水体中的磷含量。地上部分植株中磷含量最高的是蔊菜,达到 6.932 mg/g,其次是酸模 A,最低的是藨草;地下部分磷含量最高的为靠近水体的酸模,磷含量达到 5.521 mg/g。

3) 结合植被生物量、分布范围及其相关系数,在实践修复过程中,酸模、蔊菜和野生胡萝卜是较为理想的修复种,能够实现水体和土壤中磷的吸附,缓解或治理湖泊中由于磷引起的水体的富营养化。提出以下三种组合方式:

A: 1 + 2 + 5 + 1

B: 1 + 2 + 3 + 1

C: 1 + 3 + 5 + 1

这三种组合方式都能对富营养化湖泊磷的修复起到较好的效果。

参考文献 (References)

- [1] 汤家喜,孙丽娜,孙铁珩等. 河岸缓冲带对氮磷的截留转化及其生态恢复研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 21(8): 1514-1520.
- [2] 王苏民,窦鸿良. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998, 3-21.
- [3] Y. W. Chen, B. Q. Qin, K. Teubner, et al. Long-term dynamics of

- phytoplankton assemblage microcystis-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China. *Journal of Plankton Research*, 2003, 25(4): 445-453.
- [4] H. W. Paerl. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters. *Limnology and Oceanography*, 1988, 33: 823-847.
- [5] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J]. *湖泊科学*, 2002, 14(3): 193-202.
- [6] 熊小群, 杨荣清. 江西水系[M]. 武汉: 长江出版社, 2007.
- [7] 南昌市统计局. 南昌市经济社会统计年鉴[M]. 北京: 统计出版社, 2010.
- [8] 张海荣. 近 50 年人类活动与艾溪湖富营养化过程关系研究[D]. 江内师范大学, 2007.
- [9] 南昌市环境监测站. 南昌市环境监测站对艾溪湖进行水质调查监测. 2005. <http://www.lsn.cn>.
- [10] 王文君, 黄道明. 国内外河流生态修复研究进展[J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(4): 142-145.
- [11] NY/T 2017-2011, 植物中氮、磷、钾的测定[S]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [12] NY/T 88-1988, 土壤全磷测定法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1988.
- [13] GB 11893-89, 水质 - 总磷的测定——钼酸铵分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [14] 郭爱红, 牛福生, 贾久满. 几种湿地植物对景观水体富营养化治理研究[J]. *北方环境*, 2010, 11(1): 36-39.
- [15] R. R. Brooks. Plants that hyper accumulate heavy metals. New York: CAB International, 1989, 1-2.
- [16] 郑久华, 冯永军, 于开芹等. 复垦基质重金属污染的植物修复试验研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(2): 84-88.
- [17] 聂发辉. 关于超富集植物的新理解[J]. *生态环境*, 2005, 14(1): 36-138.
- [18] 吴双桃. 镉污染土壤超富集植物选择和镉 - 锌复合污染实验研究[D]. 中南林学院, 2003.