

文章编号:1001-4179(2011)19-0058-04

# 大型水生植物与水中氮 磷等含量关系的研究

闫 姍<sup>1</sup>, 徐德兰<sup>2</sup>, 裴宗平<sup>1</sup>, 孙君瑶<sup>1</sup>, 韩宝平<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221116; 2. 徐州工程学院 环境工程学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:**为探讨大型湖泊上覆水生植物与水中氮、磷等元素的关系,对骆马湖中大型水生植物生长区氮(N)、磷(P)、铁(Fe)、锰(Mn)元素含量进行了现场采样和研究,探讨其含量、季节性动态变化及与水生植物的相互关系。结果表明:大型水生植物生长区水中 N、P、Fe、Mn 元素含量均显著低于无草对照区的含量;总氮和锰元素季节性含量大小排序为:6 月,10 月,4 月,总磷和铁则是 10 月,4 月,6 月,差异显著( $P < 0.05$ );在大型水生植物作用下,铁、锰与磷的摩尔比季节性变化规律明显,微量元素对水体富营养化具有一定的调控作用。

**关键词:**水生植物; 污染物浓度; 相关关系; 骆马湖

中图分类号: X173 文献标志码: A

氮、磷元素常常是湖泊生态系统的限制因子<sup>[1]</sup>,而大型水生植物介于水-泥、水-气及水-陆界面处,对生态系统物质和能量的循环和传递起调控作用和水质的生物监测作用,具有良好的净化效果与独特的经济效益。因水生植物生长过程中释放  $O_2$ ,使  $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$  及  $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{4+}$  转化量增加,而  $Fe^{3+}$ 、 $Mn^{4+}$  同  $PO_4^{3-}$  的络合沉淀,进而增加沉积物 N、P 含量<sup>[2-4]</sup>,从而降低水体氮磷元素内源负荷。早在 20 世纪 30 年代,Einsele 研究表明,湖泊磷、铁元素具有密切的相关性,是影响沉积物氧化还原电位(Eh)及磷的释放的重要因素<sup>[5]</sup>。

近年来,围绕着沉积物-水系统的铁、锰循环开展了许多研究工作,但关于大型水生植物作用上覆水体中铁、锰与氮、磷元素相互关系的研究较少。本文主要通过大型水生植物作用上覆水体中氮、磷元素与铁、锰元素的响应关系进行研究,探讨大型水生植物对铁锰氧化过程的影响及与氮、磷生态效应,进一步认识水生植被净化机理,为湖泊生态系统恢复提供科学依据。

## 1 自然地理概况

骆马湖(34°00'~34°14'N,118°06'~118°18'E)是

江苏省四大湖泊之一,位于江苏省北部,京杭大运河中段,湖区南北长 27 km,东西平均宽 13 km,总面积为 375 km<sup>2</sup>,也是我国南水北调东线工程的重要蓄水库。湖区正常蓄水位 23.0 m 时,平均水深 3.3 m,最大水深 5.5 m,年换水 10 次左右,是典型过水性浅水湖泊。湖区生态系统较好,大型水生植物覆盖率达 60%,其中芦苇、香蒲占挺水植物覆盖面积的 80%,而沉水植物多为苦草+马来眼子菜+金鱼藻+菹草群落,占沉水植物覆盖面积 90%。

## 2 工作方法

### 2.1 采样

以有草区为研究对象,与无草区进行对比分析(CK),如图 1(图中采样点为测验区的代表点)。采样时间为 2008 年 6 月 29 日、2008 年 10 月 24 日、2009 年 4 月 18 日。采样时,先用上覆水清洗聚乙烯瓶 3 次,然后再将采集的水样装入瓶,现场测量采样处水体溶氧量、水温及 pH 值等理化指标,再用盐酸调节使水样 pH=1,见表 1。

### 2.2 分析方法

上覆水体主要检测指标为总氮(TN)、总磷(TP)、

收稿日期:2011-06-17

基金项目:江苏省住房和城乡建设厅科技计划项目(200906170001);江苏省教育厅指导计划项目(06KJD610177)

作者简介:闫 姍,女,硕士研究生,主要从事湖泊生态方面研究。E-mail:ysfs\_hao@163.com

通讯作者:徐德兰,男,副教授,主要从事湖泊生态方面研究。E-mail:xdlxw@126.com

铁(Fe)、锰(Mn),测定方法见《水和废水监测分析方法》<sup>[6]</sup>,其中 TN、TP 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法、钼酸铵分光光度法测定,Fe、Mn 元素分析采用原子吸收分光光度法测定。

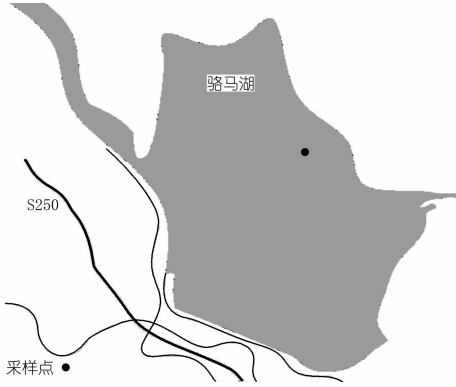


图 1 采样点布置

表 1 上覆水物理化学特性

采样时间/ (年.月.日)	区域	透明度/ cm	氧化还原 电位/mV	pH	水温/ ℃	DO/ (mg·L <sup>-1</sup> )
2008.06.29	有草区	215.60	135.5	8.600	26.00	-
	CK	112.80	120.0	8.200	25.70	-
2008.10.24	有草区	88.22	159.7	8.248	19.54	8.346
	CK	77.18	161.0	8.236	19.18	7.74
2009.04.18	有草区	152.56	160.4	8.330	16.14	7.682
	CK	155.80	165.9	8.400	16.30	8.500

### 3 结果分析

#### 3.1 物理化学特征

从表 1 可知,大型水生植物生长对上覆水物理化学特性具有一定的影响。不同时间,有草区透明度高于对照区(CK)或与对照区相差不大。这主要是由于大型水生植物对上覆水体中的悬浮物具有一定吸附作用,并阻止沉积物再悬浮,所以有草区水体透明度均高于对照区(CK)。但因 Eh、pH 不稳定,从而形成上覆水中 3 个物理化学量变化规律不明显。

#### 3.2 总氮(TN)、溶解性氮(DN)含量特征

表 2 统计分析表明,有草区与无草区上覆水体中的 TN 含量差异性显著( $P < 0.05$ ),有草区 TN、DN 含量均低于对照区(CK),大型水生植物对氮元素循环具有一定的影响;不同季节上覆水体中的 TN 也差异明显,随着植物的生长,上覆水体中 TN、DN 含量变化大,总体表现为 6 月份含量较大,4 月份次之,而 10 月份最弱。研究表明,氮属于气体型循环,循环性能比较完善<sup>[7]</sup>,虽然大多数水生植物都以氨、硝酸盐和亚硝酸盐等可溶性无机氮为氮源,生长过程中吸收部分氮元

素,但由于夏季温度高,微生物活动频繁,地表径流较强,面源污染输入较大及有机氮分解较强<sup>[8]</sup>,增加了水体氮元素含量,从而导致上覆水体中 DN、TN 含量 6 月份含量较大。通过有草区上覆水体中 TN、DN 含量与 CK 区的差值分析,6、10、4 月份 TN、DN 差值分别为 1.63、1.82、1.11 mg/L 和 1.07、1.79、0.23 mg/L。这说明在植物生长初期大型水生植物对氮元素吸收较高,生长旺盛期次之,而在植物生长衰弱期对氮吸收最弱<sup>[9]</sup>。但大型水生植物生长区可溶性氮(DN)与 CK 区的差值在 6 月最大,10 月次之,而在植物生长初期 4 月最小,表明植物生长时间对骆马湖上覆水 DN 的影响较大。因 6、10 月地表径流较大,N、P 元素流入湖区较多,此外植物在 6 月份随着生长量增大,但物质交换也在增强,部分组织开始凋落,这些都是造成大型水生植物生长区可溶性氮(DN)与 CK 区的差值在 6 月最大,10 月份次之,而在植物生长初期 4 月份 DN 差值最小的主要原因。至于是雨水,还是植物生长的影响而导致 DN 差值含量增大的原因,还需进一步分析。

表 2 上覆水矿质元素含量特征

采样时间/ (年.月.日)	区域	TN	DN	TP	DP	Fe	Mn
2008.06.29	有草区	4.70	3.30	0.056	0.033	0.106	0.127
	CK	6.33	5.12	0.063	0.031	0.207	0.137
2008.10.24	有草区	3.90	2.40	0.086	0.063	0.406	0.035
	CK	5.01	3.47	0.091	0.053	0.486	0.052
2009.04.18	有草区	3.41	2.32	0.077	0.013	0.143	0.023
	CK	5.20	2.55	0.080	0.011	0.210	0.027

#### 3.3 总磷(TP)、溶解性磷(DP)含量特征

由表 2 的数据可以看出,骆马湖水生植物对湖泊上覆水 TP、DP 含量具有一定的影响,有草区上覆水体中 TP 含量明显低于无草区( $P < 0.05$ ),而 DP 含量则高于对照区(CK);不同季节上覆水体中的 TP 差异显著( $P < 0.05$ ),上覆水体中 TP、DP 含量峰值均在 6 月份,即在水生植物生长旺盛期为上覆水 TP、DP 峰值,与陈永川等研究结果一致<sup>[10]</sup>。磷属于沉积型循环元素,部分磷因水生植物释氧影响而产生沉积。此外,受水域生态系统食物链影响,一部分磷元素被水生植物吸收,水生植物被水生动物食用,最终被带出水体,这是骆马湖有草区 TP 含量低于对照区(CK)的主要原因。此外,水生植物通过“泵吸”作用从水生植物生长区域获取正磷酸盐,呼吸作用导致的能量代谢是推动水生植物中吸收磷酸盐的动力<sup>[11]</sup>,进而形成春、夏两季上覆水体中 DP/TP 由 16.5% 升为 60%,这是大型水生植物生长区上覆水中 DP 含量高于对照(CK)的主要原因。

### 3.4 溶解性铁、锰含量特征

对骆马湖上覆水中溶解性铁和锰的含量进行分析得出,有草区的 Fe 和 Mn 浓度均明显低于无草区 ( $P < 0.05$ ),与 TP 和 TN 的规律一致。这是由于大型植物生长需要微量元素,同时植物的光合作用释放大量的氧气,在氧化条件下,Fe 和 Mn 主要以高价位难溶性的离子形态沉淀,导致上覆水中离子浓度降低。因而可促使铁、锰的还原产物  $Fe^{2+}$  和  $Mn^{2+}$  自沉积物向水体释放,造成湖水中的铁锰含量增高<sup>[12-14]</sup>。经统计分析发现,不同季节上覆水体中微量元素差异显著 ( $P < 0.05$ ),其中铁和锰的浓度分别在 10 月和 6 月达到最高。相关学者对 Fe、Mn 的循环机理进行研究表明<sup>[4,15]</sup>,在还原性增强时,硫酸盐可被还原, $Fe^{2+}$  向上覆水体扩散时,与  $H_2S$  反应形成 FeS 沉淀并造成骆马湖上覆水体 6 月份的铁含量很低,所以,Fe 的释放行为可能与 DO 无关。在含氧性良好的春季,锰因快速氧化过程被屏蔽,没有释放出来;而对于上覆水体中锰的浓度在秋季(10 月)较低的原因,还需进一步的研究。

### 3.5 上覆水 Mn/TP、Fe/TP 含量特征

目前,对铁锰的循环研究主要集中在海洋沉积物和深水湖泊中,极少涉及浅水湖泊<sup>[16]</sup>。本文通过对骆马湖上覆水中铁、锰与磷摩尔比进行探索性研究。

骆马湖中铁与磷的相关系数为 0.803,锰和磷的相关系数为 0.920,说明骆马湖上覆水体中铁、锰和磷三者之间存在着耦合转化关系。由图 2 可以看出,在大型水生植物生长衰弱期(10 月),沉积物向水体中释放磷的重要形态为 Fe-P<sup>[17]</sup>,这时上覆水中铁、磷浓度增大,且铁的增幅较大;6 月份的 Mn/TP 摩尔数为 1.28,各种活动物理化学及生物频繁,锰大量释放。由于供氧充分,水土界面处 Fe 与 Mn 容易氧化形成氧化层,抑制沉积型磷的释放<sup>[18]</sup>,导致夏季湖水含磷量低。

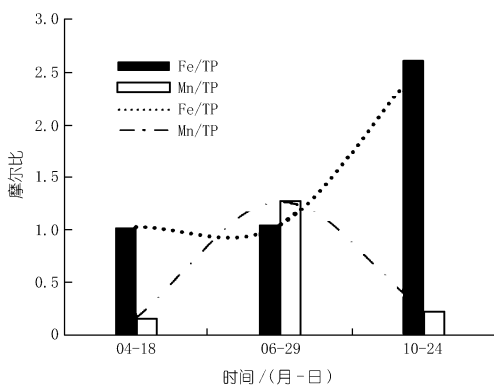


图 2 大型水生植物作用下上覆水中铁锰对磷的影响

## 4 结 论

(1) 大型水生植物对上覆水中的营养盐和微量元素有显著影响。有草区的上覆水中 N、P、Fe、Mn 元素均低于无草区的,且总氮、锰元素含量大小排序为:6, 10, 4 月,总磷、铁则是 10, 4, 6 月,差异显著。

(2) 在大型水生植物作用下,上覆水中的铁、锰元素与磷元素相关性较好,考虑铁、锰元素的影响,能更好地解释总磷随季节变化的规律。由于磷的释放过程受沉积物-上覆水的水动力状况、氧化还原电位、水生生物状况等多种外在条件的影响,并且同一影响因子的作用也是多方面的,因此需进一步研究三者之间具体的作用机理。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Blindow I, Andersson G, Hargeby A, et al. Long-term pattern of alternative stable states in two shallow eutrophic lakes[J]. *Freshwater Biology*, 1993, 30(1): 159-167.
- [3] Warry N D, Kramer J R. Some factors affecting the synthesis of cryptocrystalline strengite from an amorphous phosphate complex[J]. *Canadian Mineralogist*, 14: 40-46.
- [4] 罗莎莎,万国江. 云贵高原湖泊沉积物-水界面铁、锰、硫体系的研究进展[J]. *地质地球化学*, 1999, 27(3): 47-52.
- [5] Einsele W. Über die Beziehungen des Eisenkreislaufs zum Phosphatkreislauf im eutrophen See. *Arch [J]*. *Hydrobiol*, 1936, 29: 664-686.
- [6] 国家环境保护局,水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [7] Budige D J, Zheng S. The biogeochemical cycling of dissolved organic nitrogen in estuarine sediments, *Limnology and Oceanography*, 1998, 43(8): 1786-1813.
- [8] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [9] 周健,曾诚. 水生植物对湖泊生态系统的影响[J]. *人民长江*, 2008, 39(6): 88-91.
- [10] 陈永川,张德刚,汤利. 滇池水体磷的时空变化与藻类生长的关系[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(6): 1363-1368.
- [11] 黄建国. 植物营养学[M]. 北京:中国林业出版社,2004.
- [12] 万曦,万国江,黄荣贵,等. 阿哈湖 Fe、Mn 沉积后再迁移的生物地球化学机理[J]. *湖泊科学*, 1997, 9(2): 129-134.
- [13] 苏春利,王焰新. 墨水湖上覆水与沉积物间隙水中重金属的分布特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(2): 285-290.
- [14] 郑乐平,刘玉梅,钱显文,等. 太湖、巢湖沉积物中重金属污染的总量特征及其区域性差异[J]. *环境化学*, 2009, 28(6): 883-888.
- [15] Donald R, Gordon S. Low temperature anaerobic bacterial diagenesis of ferrous monosulfide to pyrite[J]. *Geochemical et Cosmochica Acta*, 1999, 63(13-14): 2019-2023.
- [16] 朱广伟,秦伯强,高光. 浅水湖泊沉积物磷释放的重要因子——铁和水动力[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(6): 762-764.
- [17] 郑爱榕,沈海维,李文权. 沉积物中磷的存在形态及其生物可利

用性研究[J]. 海洋学报, 2004, 26(4): 49 - 57.

interface in an eutrophic, artificially oxygenated lake [J]. *Aquatic Sciences*, 1994, 56(2): 115 - 131.

[18] Hohener P, Gachter R. Nitrogen cycling across the sediment - water

(编辑: 常汉生)

## Study on relationship between N and P etc. in overlying water with aquatic macrophytes

YAN Shan<sup>1</sup>, XU Delan<sup>2</sup>, PEI Zongping<sup>1</sup>, SUN Junyao<sup>1</sup>, HAN Baoping<sup>1</sup>

(1. *Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China*; 2. *Department of Environmental Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221008, China*)

**Abstract:** In order to investigate the relationship between N and P etc. in the overlying water with aquatic macrophytes, the nitrogen (N), phosphorus (P), ferrum (Fe) and manganese (Mn) in growing zone of aquatic macrophytes in Luoma Lake are sampled and studied. The total content variation, seasonal variation and their correlation are studied. The results show that the concentrations of four elements in the overlying water with aquatic macrophytes zone are significantly lower than that without aquatic macrophytes; the seasonal variation of TN and Mn concentration is the largest in June, followed by October and April, however, TP and Fe concentration is the largest in October, followed by April, June, with significant difference; in addition, the molar ratios of Fe and Mn to TP had significant seasonal variation under the influence of aquatic macrophytes, indicating that the trace elements have some regulatory impact on eutrophication of water body.

**Key words:** aquatic plant; pollutants concentration; relationship; Luoma Lake

(上接第 50 页)

## Research on computing model of minimum ecological flow in flow reduced river reach due to diversion hydropower station

HE Huaiguang<sup>1</sup>, ZHANG Guijin<sup>1</sup>, TIAN Dazuo<sup>2</sup>, MENG Yanqiu<sup>1</sup>

(1. *College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China*; 2. *Hunan Water Resources and Hydropower Science Research Institute, Changsha, 410076, China*)

**Abstract:** For the protection of the ecological environment of the flow reduced river reach between dam and power station of diversion hydropower, the minimum ecological flow should be determined, so it can reflect the differences of river channel characteristics. By taking some typical diversion hydropower stations as examples, the minimum ecological flows are calculated by improved wetted perimeter method and then the influential factors of the minimum ecological flow are studied through single argument analysis; the relationship between the minimum ecological flow and influential factors is fitted by the power function, and the computing models for the minimum ecological flow calculation are obtained. The comparison analysis shows that the calculation result is basically in accordance with the practical condition.

**Key words:** improved wetted perimeter method; minimum ecological flow requirement; computing model; diversion hydropower station

(上接第 57 页)

## Sustainable development planning in the Xinfeng River Reservoir Area based on space partition

LIU Jie<sup>1,2</sup>, XU Zhencheng<sup>2</sup>, PENG Xiaochun<sup>2</sup>, FANG Huaiyang<sup>2</sup>, YANG Dayong<sup>2,3</sup>

(1. *Geography and Planning School, SUN Yat - Sen University, Guangzhou 510275, China*; 2. *South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China*; 3. *School of Environmental Science and Engineering, SUN Yat - Sen University, Guangzhou 510275, China*)

**Abstract:** The regionalization of major development function is an innovation of space regionalization in China, with the purpose of guiding the regional development with space land control of land. Based on the summary of theory and practice of the regionalization of major development function, the concept and method of regionalization of major development function is introduced into the scheme formation of the sustainable development and planning of Xinfeng River Reservoir area. Under the principle of sustainable development and planning, the Xinfeng River Reservoir area is divided into strictly controlled developing zone, guided developing zone and integrated developing zone. The regionalization of major development function determines the developing direction of the reservoir area.

**Key words:** regionalization of major development function; space regionalization; sustainable development; Xinfeng River Reservoir area