

# 鄱阳湖湿地土壤中 Fe、Mn 的迁移特征 及其与水位周期变动的关系

瞿文川 余源盛

(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放实验室, 南京 210008)

**提要** 对鄱阳湖地区蚌湖水下沉积物、滩地草甸上柱状样品不同深度土壤的酸度、氧化还原电位进行了现场测定;对剖面各层次的 Fe、Mn 总量,还原性 Fe、Mn 含量,以及有机质等进行了分析。实验表明:鄱阳湖湿地土壤中 Fe、Mn 有其独特的分布规律和迁移特征。元素 Fe 仅在水土界面轻微富集, Mn 则向界面和深层双向富集;还原性 Fe、Mn 受氧化还原边界层的控制呈垂向分布。另外,元素 Fe、Mn 的水平迁移与水位变动相关,退水时 Fe、Mn 具有向湖中心迁移的特征。

**关键词** 鄱阳湖 沉积物 剖面 Fe-Mn 迁移

## 1 前言

鄱阳湖纳赣江、抚河、信江、饶河、修河五河来水,经湖口注入长江,是一个过水型吞吐湖泊。具有高水是湖,低水似河的自然地理景观<sup>[1,2]</sup>。鄱阳湖湿地属于洪水期被水淹没,枯水期广泛出露的低湿地。按地面高程由高至低可分为草滩、泥滩、积水洼地三个组成部分<sup>[3]</sup>。鄱阳湖典型湿地位于赣江与修水交汇处,属于赣江主支与修水共同形成的复合三角洲前缘,由三角洲分支河道两侧天然堤向湖区加积延伸过程中所形成的、在枯水期又彼此分隔的九个碟形洼地组成,包括蚌湖、沙湖、中湖池和常湖池等<sup>[4]</sup>。蚌湖位于吴城镇北面,鄱阳湖西北部;沙湖、中湖池、常湖池分布在吴城镇周围,洪水期它们即成为鄱阳湖大湖的一部分。鄱阳湖水位随季节变化而落差大,由于湿地土壤有其特殊的水环境(水份和通透性),引起土壤中部分矿物质元素的再分布和迁移。既有剖面上的垂向迁移,也有地面高程由高至低的水平迁移。Fe、Mn 作为典型的氧化还原敏感性元素对其它微量元素及核素的地球化学循环起着一定的控制作用。以前研究也表明:湖水中的 Fe、Mn 受氧化还原边界层的控制<sup>[5-6]</sup>。而对 Fe、Mn 在沉积物中的地球化学行为及和氧化还原电位的关系,特别是在湿地土壤中 Fe、Mn 的迁移特征研究得很少。Fe、Mn 作为氧化还原敏感性元素也是反映湖泊氧化还原条件和突发性气候事件的重要指标<sup>[6]</sup>。本文在对鄱阳湖湿地土壤的氧化还原电位、pH 测定的基础上,分析了不同形态 Fe、Mn 的分布特征,重点研究了湿地土壤中元素 Fe、Mn 的迁移特征及与水位变

·“八五”国家科技攻关课题(85-16-06-03)资助。

来稿日期:1994-08-01;接受日期:1994-12-03。

作者简介:瞿文川,男,1966年生,助理研究员。1992年南京大学分析化学专业硕士毕业,主要从事湖泊沉积和地球化学科研工作。发表有“网状玻璃碳光谱电化学池的制作及其应用”等论文多篇。

动的关系,并讨论了三峡工程可能引起的水位变化对鄱阳湖地区环境的影响。

## 2 样品的采集和分析

鄱阳湖湿地高程在 13.60~19.00m 之间(吴淞基点)。按地面高程,湿地土壤可分为草甸土、潜育草甸土及水下沉积物三种类型。其中草甸土分布的高程范围约 14.3~19.0m,潜育草甸土为 13.9~14.3m;水下沉积物为 13.9m 以下。湿地的范围与大小、植被类型、土壤类型、出露天数则由鄱阳湖水情控制,而长江和五河水文情势及其相互作用又直接影响鄱阳湖水情波动。有汛期水位高、持续时间长(4月至9月)的特点,涨水迟早和水位高低主要决定于五河水情;枯水期为10月至翌年3月,退水迟早和快慢取决于长江水情<sup>[7]</sup>。鄱阳湖洪枯水位呈季节性周期变化特征。

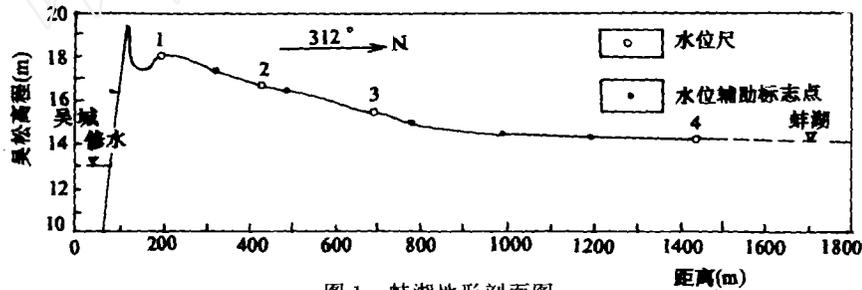


图1 蚌湖地形剖面图

Fig. 1 Topographic section profile of Poyang Lake

为了观测和测定周期性的水情动态变化与湿地土壤中元素的富集和迁移的关系。在鄱阳湖蚌湖不同高程设立了四个标尺,分别为1#(17.66m)、2#(16.20m)、3#(15.00m)、4#(13.80m)(图1)。采样时间为1994年3月11日(水位为13.85m左右)。各采样点的高程分别为:1#附近,高程为17.60m;2#至3#之间,高程约15.80m;4#附近,高程约13.80m(水深约10cm)。利用专门采样装置进行采样,每个采样点重复采样三次。所采沉积物柱深度约50cm,并立即用塑料纸密封(防止氧化反应)。所采沉积物柱完整规则的沉积韵律层理清晰可见。对沉积物柱按1cm的间距精细分截,其pH和Eh用便携式仪器进行现场测试;而还原性Fe、Mn、速效性P、活性还原性物质等测试项目根据要求分别制成提取液待测,后用分光光度计、原子吸收分光光度计测定。全量分析样品则酸溶处理后用等离子体发射光谱进行测定。同时,在吴城附近的大汉湖、中湖池、常湖池及沙湖不同高程的滩地采集了表层土样。

## 3 结果和讨论

湖水中的悬移质及其吸附的元素或化合物,通过沉降和压实作用而成为湖泊沉积物的主要部分。此外,水土界面的物质交换作用都可被看作是湖水对沉积物中元素或化合物的富集或迁移过程。元素因各自性质不同,迁移特性各异。研究表明:Fe的扩散通量只有沉降通量的3%左右,所以沉降到沉积物中的Fe绝大部分保留在沉积物中;Mn的情况则不同,其扩散通量约占沉降通量的40%,可经孔隙水向上覆湖水和沉积物深层次作上、下双向扩散迁移,从而在界面和沉积物较深层次出现双向富集<sup>[8]</sup>。此外,湖水中Mn的含量比Fe少得多,仅为Fe的10%左右。本文对Fe、Mn的垂向分布、移动规律以及在水平方向上的迁移情

况和水位变动的关系等进行探讨。

### 3.1 Fe、Mn 的垂向分布及移动规律

3.1.1 水下沉积物中 Fe、Mn 的垂向分布和移动规律 蚌湖水下沉积物中 Fe、Mn 的垂向分布如图 2 所示。从图中可以看出 Fe 在表层 0~1cm 处含量较高,表层以下含量略低且变化不大;而 Mn 在界面也出现高值,1cm 以下含量突降,然后在 3cm 处又出现高值,而 5~15cm 含量随深度有所递增,再往下随深度呈下降趋势。由此可见,水下沉积物中 Mn 在界面和较深层次(15cm 左右)出现双向富集,Fe 则仅在界面出现轻微富集。

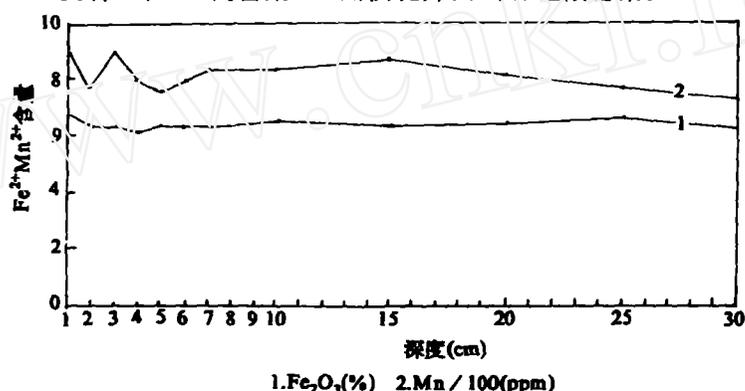


图 2 蚌湖水下沉积物元素 Fe、Mn 的垂向分布

Fig. 2 Vertical distribution of Fe and Mn in submerged deposits of Banghu Lake

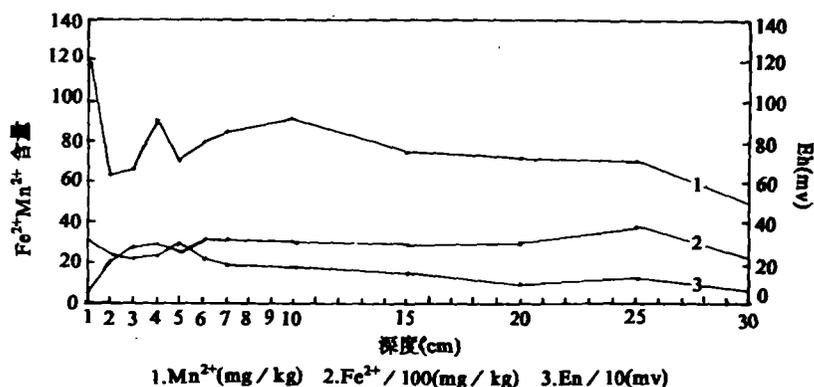


图 3 蚌湖水下沉积物还原性 Fe、Mn 和氧化还原电位的垂向分布

Fig. 3 Vertical distribution of reduced Fe and Mn and redox potential in submerged deposits of Banghu Lake

表 1 我们列出蚌湖水下沉积物不同深度的酸度(pH)及氧化还原电位(Eh)。还原性 Fe、Mn 的分布受氧化还原边界层的控制,如图 3 所示:Fe 和 Mn 的氧化还原性质不同,Mn 的氧化电位比 Fe 高,因而作为有机质分解的氧化剂,其本身被还原,并通过孔隙水向上覆盖水和深层(5,10)cm 双向扩散迁移,使在 0~1cm 及 10cm 深度处还原性 Mn 的含量出现高值。Mn 的总量分布也呈双向富集特征。湖水中的溶解氧可使 Fe 氧化,使表层的还原性 Fe 含量降低,形成较高的氧化还原电位。值得注意的是 Eh 在 5~6cm 处也出现一个峰值,这可能是

受水土界面上流动态湖水中较稳定的溶解氧使氧化还原边界层下移,或由于有机质含量逐渐降低,生物耗氧减少双重因素的影响而出现的。所以在 5~6cm 处还原性 Fe 含量下降明显。但由于 Fe 的沉降通量比扩散通量大得多,由湖水输入沉积物的 Fe 绝大部分不再参与沉积后再迁移过程,而滞留于沉积物中,所以在界面上总 Fe 有轻微富集。

表 1 蚌湖水下沉积物不同深度的 pH 及 Eh 分布  
Tab. 1 Distribution of acidity (pH) and redox potential (Eh)  
in different depths in submerged deposits of Banghu Lake

深度 (cm)	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	25	30
pH	6.57	6.56	6.77	6.69	6.53	6.34	6.16	6.77	6.86	7.45	7.10	7.04
Eh (mV)	312.4	219.6	217.6	228.5	294.7	215.3	187.4	171.1	150.5	98.1	134.2	77.6

3.1.2 草甸土中 Fe、Mn 的垂向分布规律及迁移特征 潜育草甸土或滩地草甸土在淹没之前,Fe、Mn 的垂向分布与在水下沉积物的分布有相似之处。以蚌湖滩地草甸土的剖面测定值为例(图 4),Fe 在表层 0~1cm 出现高值,而表层以下随深度增加呈下降趋势,表明了表层的富集现象。潜育草甸土或滩地草甸土中 Fe 在表面富集的主要原因是土壤出露后,毛细管水上行时所携带可流动态的还原性 Fe,上行到表层后因氧化作用而富集起来,长时期的出露使 Fe 的氧化特征更明显,所以无论垂向和水平迁移的存在,其总量也远小于富集,因此出露期愈长,Fe 表层富集的现象愈明显。而 Mn 除在表层 0~1cm 处出现高值,在 5~6cm 处也出现了峰值,呈现双向富集的特征,这与 Eh 具有两个峰值相吻合。

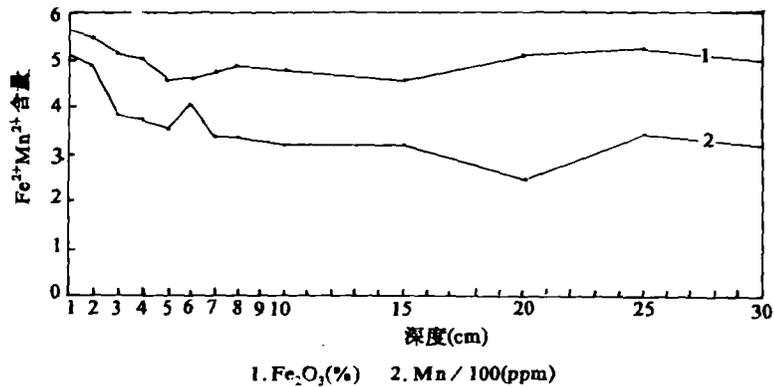


图 4 蚌湖滩地草甸土中元素 Fe、Mn 的垂向分布

Fig. 4 Vertical distribution of Fe and Mn in meadow soil of Banghu Lake

比较图 2 和图 4,可以发现水底沉积物和草甸土中 Fe、Mn 的垂向分布基本类似,但草甸土中 Fe、Mn 的含量较水底沉积物低些。这除了和草甸土的物质类型及理化性质不同外,元素的水平迁移可能是主要的原因。

图 5 为草甸土中还原性 Fe、Mn 及对应的 Eh 垂向分布图。从图中可以发现有以下特点:

(1) 还原性 Fe、Mn 的总量尚不足水下沉积物中的 1%,尤其是还原性 Fe 只占 0.68%,可见脱水氧化对 Fe 的影响之大。

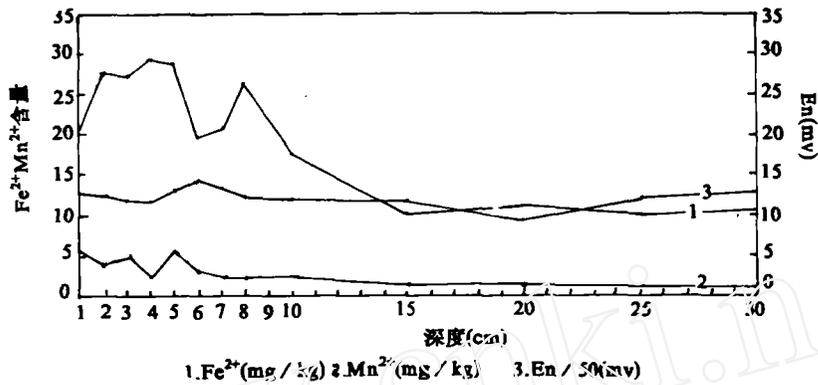


图5 蚌湖滩地草甸土中还原性 Fe、Mn 和氧化还原电位的垂向分布

Fig. 5 Vertical distribution of reduced Fe and Mn and redox potential in meadow soil of Banghu Lake

(2) 除表层(0~1cm)外,还原性 Fe 随剖面深度而降低的规律较明显。说明脱水氧化过程中,剖面下层的还原性 Fe 随毛细管水的上升而迁移,但最后被氧化而减少,因而表层还原性 Fe 低于 2~5cm 处的。

(3) 还原性 Mn 的分布特征。表 2 列出了蚌湖滩地草甸土不同深度的 pH 及 Eh。还原性 Mn 除了在水土界面上有明显的富集外,在剖面 5cm 深处又出现第 2 个峰值,该层位于氧化还原的交界面上。6cm 深度处 Eh 从 650.2mV 上升到 714.4mV,还原性 Mn 也由 5cm 处 5.38mg/kg<sub>±#</sub> 陡降为 2.97mg/kg<sub>±#</sub>,由此氧化层的阻隔使剖面 7~30cm 处的 Eh 呈逐步下降的趋势,15cm 以下基本趋于平衡。

表 2 蚌湖滩地草甸土不同深度的 pH 及 Eh 分布

Tab. 2 Distribution of acidity (pH) and redox potential (Eh) in different depths in meadow soil of Banghu Lake

深度 (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	25	30
pH	5.86	5.59	5.14	5.10	5.10	4.96	5.02	4.80	5.01	5.00	5.32	5.04	5.12
Eh (mV)	630.2	616.8	591.1	584.4	650.2	714.4	664.0	607.1	602.1	586.2	464.7	605.0	639.0

### 3.2 Fe、Mn 的水平迁移特征

与一般平原土壤有所不同,鄱阳湖湿地土壤中 Fe、Mn 除了剖面上的垂向迁移外,尚存在水平方向的迁移。我们在蚌湖湖心的 4# 标尺至 1# 标尺之间高程为 13.80m 及 16.00m 两点进行了采样,其结果如表 3 所示。

从表中可以发现 Fe、Mn 在 13.80m 高程的含量均比 16.00m 高程的含量高,这一现象说明了元素 Fe、Mn 从高处向低处水平迁移的趋势。水平迁移的动力可能是退水过程中的湖水及间隙水的流动,带动了还原态、可溶态的 Fe、Mn 的迁移。鄱阳湖地区湿地土壤较低的 pH 和 Eh 也利于其迁移。就鄱阳湖地区而言,其退水过程是个相对较长的时期,这就为元素 Fe、Mn 形态变化和移动提供了足够长的时间。反之,其涨水过程受季风降雨等影响,涨水较快,在淹没处元素还原到可溶性状态前水已上涨,使少量可溶态元素在大量水中的迁移小得

几乎难以发现。因此,鄱阳湖湿地土壤元素存在有从高处向低处单向迁移的特征。

表 3 蚌湖不同高程 Fe、Mn 含量(全量)分布

Tab. 3 Distributiou of Fe and Mn in different elevations of Banghu Lake

深度(m)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)		MnO(mg/kg)	
	13.80m	16.00m	13.80m	16.00m
0~1	67.8	56.8	1174	665
1~2	63.8	54.8	993	632
2~3	62.9	51.2	1155	497
3~4	60.7	50.3	1029	462
4~5	63.0	45.7	958	456
平均	63.6	51.8	1064	547

在吴城附近的大汉湖、中湖池、沙湖等,对它们在不同高程的滩地进行表层采样分析后的结果,如表 4 所示。从表 4 可以发现各湖表层沉积物 Fe、Mn 含量在不同高程的分布规律与蚌湖是一致的,即从滩地草甸土→潜育草甸土→水下沉积物含量逐渐增高。可见这一现象为普遍规律。

表 4 大汉湖、中湖池、常湖池及沙湖表层沉积物中 Fe、Mn 含量(全量)分布

Tab. 4 Distribution of Fe and Mn in surficial sediment of Dachahu,

Zhonghuchi, Changhuchi and Shahu Lakes

采样地点	泥滩(水下沉积物)		草滩(潜育草甸土)		草滩(滩地草甸土)	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)	MnO(mg/kg)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)	MnO(mg/kg)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)	MnO(mg/kg)
大汉湖北岸	64.8	879	56.0	396	42.7	—
中湖池西北岸	66.8	1105	61.0	464	52.0	—
常湖池西岸	68.2	1258	68.6	—	64.1	1255
沙湖	100.4	601	51.8	559	50.1	550

#### 4 结论

鄱阳湖是一个过水型吞吐湖泊,水位落差大,水生生物资源丰富。由于周期性的水位涨落变化,使鄱阳湖湿地土壤中元素的迁移作用较一般自然土壤和农田土壤强烈。特别是 Fe、Mn 为典型的氧化还原敏感性元素,对其它微量元素及核素的地球化学循环也起着控制作用<sup>[5,6]</sup>。另一些元素其移动性受水情变化影响不明显,甚至在鄱阳湖吞吐水量如此之大的情况下也没有太大变化。湿地土壤元素的迁移将引起土壤发育及生态环境发生变化,影响植物生长发育,进而影响土壤生产率。而长江三峡工程修建后,10 月份因蓄水而使长江下泄量减少,鄱阳湖水位提前下降,导致湿地提前显露,原来可为候鸟提供越冬食物及栖息条件的浅水区,提前显露为滩地<sup>[9,10]</sup>,而且出露期愈长,其变酸及缺磷程度都将会加剧,同时也减少了水生植物的生长时期。这部分滩地无论其有机质、有效性养分等都下降,部分不良性状也将随出露期延长而反映出来。对此,可通过建筑湖泊洼地通向外湖或外河的水道闸坝,滞缓洼地退水过程,维持原有的生态环境或减小三峡工程对其影响。

## 参 考 文 献

- 1 闵 寿. 鄱阳湖简介. 湖泊科学, 1993, 5(1): 96~97
- 2 卢 兵, 汪泽培. 鄱阳湖湖泊气候及其围垦后的变化. 湖泊科学, 1995, 7(1): 77~84
- 3 胡春华等. 鄱阳湖典型湿地沉积物粒度分布及其动力解释. 湖泊科学, 1995, 7(1): 21~32
- 4 朱海虹等. 鄱阳湖的成因、演变及三角洲沉积. 见: 中国科学院南京地理研究所集刊, 第 1 号, 北京: 科学出版社, 1983
- 5 万国江, 黄荣贵, 王长生等. 红枫湖沉积物水-土界面 Fe、Mn 的分布和迁移特征. 科学通报, 1990, 35(8): 612~615
- 6 Benoit G and Hemond H F. *Environ Sci Technol*, 1990, 24: 1233~1234
- 7 《鄱阳湖研究》编委会. 鄱阳湖研究. 上海: 上海科技出版社, 1988
- 8 陈振楼, 黄荣贵, 万国江. 红枫湖沉积物顶部<sup>210</sup>Po<sub>ex</sub>垂直剖面的差异. 科学通报, 1992, 37(21): 1974~1977
- 9 谭培民, 蔡述明, 朱海虹等. 三峡工程与长江中游湖泊洼地环境. 北京: 科学出版社, 1994
- 10 朱海虹. 鄱阳湖候鸟越冬地生态环境及三峡工程对其影响的预测. 湖泊科学, 1989, 1(1): 52~61

## THE MIGRATION OF FE AND MN AND ITS RELATION TO PERIODIC VARIATION OF WATER LEVEL IN POYANG LAKE WETLAND SOIL

Qu Wenchuan      Yu Yuansheng

(*Lake Sediment and Environment Lab., Nanjing Institute of Geography & Limnology, CAS, Nanjing 210008*)

### Abstracts

Poyang Lake, a special freshwater lake, is an inflow-outflow lake with falling water level and rich aquatic creature resources. The migratory behavior of Poyang Lake wetland soil elements is more remarkable than that of ordinary soil because of its periodic variation of water level. The typical elements, Fe and Mn, which are sensitive to oxidation-deduction control the geochemical circulation of some other trace elements. In this paper, the acidity(pH) and redox potential(Eh) of the wetland soil cores of Poyang Lake at different depths are observed in the spot. The distribution of the total content of elements, Fe and Mn, reduced Fe and Mn, organic matter etc. at different depths on the section is also studied. The results show that Fe and Mn are of special distribution pattern and migratory characteristics. Fe was only accumulated lightly on the water-land boundary layer, but Mn not only on the boundary layer, but also in deep layers. The distribution and migratory characteristics of reduced Fe and Mn which are controlled by the redox boundary layer occurred in the vertical direction. Fe and Mn migrated in the horizontal direction was also found, which was related to the change of water level. When tide is on the ebb, Fe and Mn migrate to the lake centre. Results in Dacha Lake, Sha Lake etc. around the Wucheng County showed the same conclusion. Finally we discussed the influence on the environment of Poyang Lake area owing to the variation of water level caused by the Three-Gorge Project. After the building of the Three -Gorge Project, because discharge amount of the Yangtze River decreases in October caused by storing floodwater, Poyang Lake water level will descend significantly, and wetland of Poyang Lake will emerge earlier, resulting in, the change of soil characteristics.

**Key Words**      Poyang Lake, sediment, section, Fe-Mn, migration