

芦苇型湿地生态系统的潜水水质状态研究

王为东¹, 王大力¹, 尹澄清¹, 陈海婴², 姜 婧², 郑 军²

(1. 中国科学院生态环境研究中心 环境水化学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 河北省保定市环境保护监测站, 保定 071051)

摘要:以白洋淀芦苇滩地为实验地,研究了湿地生态系统中潜水的的水质状况。苇地潜水运动受到芦苇根孔的强烈影响。受芦苇根区生物呼吸作用的影响,潜水 pH 值(6.94 ± 0.14)显著低于淀水(9.17)。潜水中 CO_2 分压约为淀水的 85~1039 倍。潜水水质类型在离淀 2.7 至 6.7m 发生变化,逐渐由 Cl^- 转变为 Ca^{2+} 。自苇地边缘至中央, H_T (总硬度), A_T (总碱度)与 $\sum C_i$ (主要离子总量)逐渐升高。潜水中 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 的平均摩尔比值为 0.60,明显低于淀水(1.31)。淀水和潜水 Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量无显著差异,平均值分别是 176, 116 和 112mg/L。苇地滩水区为一过渡带,对磷氮污染物具备首先的过滤作用。在离淀 0.7m 处 TN, TP 和活性磷酸盐的减少量分别为 63.3%, 84.6%, 80.8%。

关键词:潜水;水质;湿地;芦苇

A study on the groundwater quality of the Baiyangdian wetland ecosystem

WANG Wei-Dong¹, WANG Da-Li¹, YIN Cheng-Qing¹, CHEN Hai-Ying², JIANG Jing², ZHENG Jun² (1. SKLEAC, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Baoding City Environmental Monitoring Station, Hebei Province, Baoding 071051, China)

Abstract: The Baiyangdian Lake wetlands have a characteristic of fragmented landscape, which is constituted with the reed communities, ditches and shallow waters with submerged vegetation. Due to the long-term drought, the water area of the lake has decreased greatly and is only Ca. 40% of the normal. Because of the wastewater discharge from Baoding City in the upstream and nonpoint source pollution, the Baiyangdian Lake is heavily polluted and eutrophic. We have found that there is a well-developed root channel system under the reed community ground and this system leads the water flow in the ground. Our examination showed that the root channels were mainly distributed above 160cm along the soil profile. The area ratio of living root channels to dead ones was approximately 1.2 : 1. The total area of root channels made up more than 1% of the scanned profile area. Previous researches found that the lake-side ecotones had a high filtration effect for the phosphorus and nitrogen to the lake.

A reed bed with area of 30m×70m, surrounded by water, was selected as the experimental site for the groundwater quality. Field experiments were carried out in May and June of 2000 and the purpose was to study the relationship between the water quality and the removal of nutrients to the lake. The groundwater depth was about 2.3m below the ground and the verge of reed bed had a slope down to the water. The dominant community is *Phragmites australis* var. *baiyangdiansis* in the plot. Six sampling holes with a diameter of 11.5cm were extracted from the verge to the center. The distances between the sampling holes and lake water were 0.7m, 2.7m, 6.7m, 10.7m, 13.7m and 15.7m, respectively. The first two holes were situated at the sloping field. A pumping pit (2m×1m×2.8m) was excavated at the center of the reed bed. A

基金项目:国家自然科学基金资助项目(项目编号 39970152, 59978051)

收稿日期:2000-07-20;修订日期:2001-02-09

作者简介:王为东(1973~),男,山东荣成人,博士生。主要从事水生态学与天然水质学研究。

spontaneous imbibition pump was applied to take out the water in the pit so as to engender water head gradients and promote lake water to infiltrate into the pumping pit through reed bed soil. Groundwater samples were collected from the holes using polyethylene bottles after pumping water from the pumping pit for 4 days, 6 days and 10 days. Physical and chemical indices, nutrient elements were analyzed.

The groundwater quality of the reed community is characterized by the high concentrations of carbon dioxide, hardness and alkalinity. The CO_2 concentration and partial pressure in the groundwater in the reed community were 0.66~11.15mmol/L and 1868~22802Pa, respectively. They were 110~1858 and 85~1039 times higher than those in the lake water, which were 0.006mmol/L and 21.9Pa, respectively. It is suggested that the strong respiration of reed rhizosphere and the microbe in the radicular region greatly consumed oxygen and produced CO_2 . The affluent carbonate in the calcareous soil and high CO_2 formed a complex buffering system, which determined most physical and chemical characteristics of the groundwater and affected biochemical reactions.

The hardness of groundwater ranged between 6.58mmol/L and 23.29mmol/L, significantly higher than that of lake water, 5.84mmol/L. The mean molar ratio of Mg^{2+} to Ca^{2+} of groundwater was 0.6, and it was lower than that of lake water (1.31). The alkalinity of groundwater was 4.75~19.72mmol/L, markedly higher than that of lake water, 3.96mmol/L. From the verge to the central area of reed bed, hardness and alkalinity increased gradually. There were good correlations among hardness, alkalinity and the total contents of major ions. Chloride, sulfate and the additive content of sodium and potassium in the groundwater and lake water remained constant in all the groundwater sampling plots and lake water. The mean content of Cl^- , SO_4^{2-} and $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ was 176, 116 and 112mg/L, respectively. The type of groundwater quality changed from Cl^- to CO_3^{2-} at 6.7m from the lake water. When more than 6.7m away from the lake water, the dominant anion and cation in the ground water were bicarbonate and calcium, significantly different from the lake water.

Because of the filtration of reed bed soil, the concentrations of TN (total nitrogen) and TP (total phosphorus) in the groundwater were only 16.5% and 9.0% of those in the lake water, and at the point of 0.7m from the brink of reed bed, the concentrations of TN and TP were reduced by 63.3% and 84.6%. It is suggested that the high concentrations of carbon dioxide, hardness and alkalinity might be responsible for the good performance of nitrogen and phosphorus removal.

Key words: groundwater; water quality; wetlands; root channel; reed; Baiyangdian

文章编号: 1000-0933(2001)05-0919-07 中图分类号: Q178.1, Q178.5 文献标识码: A

近年来, 由于湿地生态功能研究的不断深化, 水陆交错带作为水体生物地球化学屏障与过滤器的功能备受关注^[1]。许多研究表明, 湿地生态系统由于具有特殊的界面特点和生态功能, 能有效控制农业非点源污染^[2~4]。

白洋淀素有“华北明珠”之称, 是以芦苇为优势群落的湿地生态系统。以前有人曾就白洋淀对陆源营养物质的截留作用等作过初步研究^[5]。发现苇地滨水交错带对来自陆源的营养物质有强烈的截留作用; 芦苇群落的根区土壤具有明显的截留作用, 通过地下潜流汇入淀区的磷氮等污染物质大部分被截留下来。

国外曾有人对不同湿地生态系统中的生物地球化学循环与水化学状态作过研究^[6~9], 但我国这方面的研究较少。为了进一步研究芦苇型湿地生态系统中地下潜水的水化学动态变化, 选择位于白洋淀区的南刘庄村苇地作为实验样地, 进行实地研究。以期对湿地系统生物地球化学循环的情况和利用湿地进行污染物处理提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验样地

实验于 2000 年 5~6 月份在河北省安新县南刘庄村东北的小杨家淀湖滩进行。所选苇地四面环水,面积 $30 \times 70 \text{ m}^2$ 。由于大旱,苇地平均高度(指离淀水面垂直距离)为 2.1m,地下潜水位平均深度为 2.3m。芦苇种类为白洋淀变种(*Phragmites australis* var. *baiyangdiansis*),其中品种主要是栽苇,间杂横草。实验初始苇高为 2.5~2.6m,直径 1cm 左右,结束时苇高 3m,直径 1.5cm。芦苇密度为 55.3 ± 2.2 株/ m^2 ,平均盖度为 99%。

1.2 实验设计

实验用抽水坑位于苇地中央地带,坑大小为 $2 \times 1 \text{ m}^2$,深 2.8m,静止水位 50cm。以 BOZ 型自吸泵抽水,使淀水至苇地中央形成水位差梯度,以促进淀水通过苇地土壤渗入中央坑。坑与岸边区之间,用土钻打取若干采集孔蓄积水样,孔径为 11.5cm。采样点编号 S0~



图 1 水样采集点分布图

S7(见图 1),其淀水~苇地距离(D)相应为 0,0.7,2.7, Fig. 1 The distribution of spots for water sampling

6.7,10.7,13.7,15.7,16.7m。其中,S1 与 S2 位于苇地

边缘坡地,孔深分别为 0.7m 和 1.85m,S3~S6 孔深为 2.9m,各孔中静止水位为 40cm。S7 为抽水坑。在抽水坑抽水 4d、6d、10d 后的傍晚,分别采取水样,分析常规理化指标与主要营养元素等。

其中,pH 用雷磁 pHB-4 型酸度计测定。主要离子成分含量用容量法测定^[10], $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量以差减法求得^[11]。总氮(TN)用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法分析,氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)和硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)分别用纳氏试剂光度法和紫外分光光度法分析,总磷(TP)用过硫酸钾消解,然后和活性磷酸盐一样用钼锑抗分光光度法分析^[10]。

2 结果与讨论

2.1 苇地格局及剖面基本结构

白洋淀水陆交错带地形复杂,有沟壕 3700 条,纵横交错。苇地与淀水的面积之比约为 1:3.5。由芦苇群落、苇地间沟壕以及浅水植被区等构成白洋淀特有的水陆交错景观格局。

根据泡沫反应较为强烈可以判断实验滩地土壤为含碳酸钙的石灰性土壤。从地面起到 30cm 以上为中壤,30cm 以下为重壤,其中在 90~120cm 和 160~220cm 间夹杂有砂壤层。剖面清查表明芦苇根孔主要分布在 160cm 以上,其中在 20~40cm 与 60~80cm 之间根孔分布最为密集。在清查剖面($2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$)中,活根孔面积占总根孔面积的 54.9%,死根孔面积占 45.1%,死活根孔的面积总和超过清查剖面面积的 1%。其中径级在 5mm 以上的根孔主要分布在地面下 20~120cm。而径级在 1~2mm 的根孔在整个清查剖面中基本上呈均匀分布。径级 $\leq 5 \text{ mm}$ 的根孔占总根孔数目的 82.3%。

白洋淀水陆交错带土壤中有纵横交错的芦苇地下根孔系统。虽然大量的芦苇根孔径级较小,比表面积却很大。其特殊的界面特性对流经该区域物质的生物地球化学循环具有重要意义^[12]。

表 1 各采样点主要理化指标

Table 1 The physical and chemical indices of sampling plots

水样点 Sampling plots	水温($^{\circ}\text{C}$) Water temperature	pH	主要离子成分 The main ions(mg/L)							
			Mg^{2+}	Ca^{2+}	R^*	Cl^-	SO_4^{2-}	$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	ΣCi
S0	28.3 ± 1.5	9.17 ± 0.27	40.27	50.66	1.31	184.52	116.20	241.21	143.56	776.42
S1	23.0 ± 3.7	7.22 ± 0.09	30.35	81.76	0.61	179.43	96.80	289.85	131.23	809.42
S2	19.9 ± 2.7	7.13 ± 0.08	35.22	99.08	0.59	176.30	100.00	339.27	119.31	869.18
S3	18.3 ± 4.5	7.00 ± 0.02	43.97	119.92	0.60	170.42	109.60	394.80	98.92	937.63
S4	16.2 ± 3.7	6.87 ± 0.08	57.59	187.25	0.51	183.35	103.20	671.22	105.94	1308.55
S5	18.2 ± 4.3	6.76 ± 0.06	107.98	284.09	0.63	178.26	109.60	1183.18	90.96	1954.07
S6	19.6 ± 5.3	6.72 ± 0.08	113.04	280.24	0.66	170.42	145.00	1203.31	106.50	2018.51
S7	21.8 ± 3.7	6.83 ± 0.03	79.38	211.94	0.62	168.85	148.20	825.60	106.76	1540.73

* S0 点 $\text{CO}_3^{2-} = 25.56 \text{ mg/L}$,其余各点可忽略不计; $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 中 Na^+ 约占 87%。* $R = \text{Mg}^{2+} / \text{Ca}^{2+}$ 摩尔比

2.2 各采样点潜水的主要理化指标变化

2.2.1 温度与 pH 变化 从表 1 中可以看出,苇地潜水中温度基本恒定,且显著低于淀水。S1 位于苇地边缘坡地,离坡面较近,S7 与大气的有效接触面积增大,所以两点温度略有升高。

南刘庄白洋淀水中浮游植物密度较高,生物量超过 6mg/L,以蓝藻门占绝对优势。水色浓绿,透明度仅为 20cm。日间光合作用迅速消耗水中的 CO_2 ,结果水体中积累 CO_3^{2-} 与 OH^- 导致 pH 值升高。故 S0 的 pH 值较高,达 9.17。

苇地潜水 pH 平均值为 6.94 ± 0.14 ,显著低于淀水。这是芦苇滩地生物量较大,根区生物呼吸作用大量产生 CO_2 的结果。

从表 1 中可以看出,S1 至 S6 各采样点 pH 值的变化有一缓慢的递降趋势,与 D 的相关方程如下:

$$\text{pH} = 7.228 - 0.033D \quad n = 6 \quad R^2 = 0.9962$$

由此方程可以看出,苇地潜水 pH 值随 D 变化较为缓慢。土壤与天然水体均具有一定的缓冲性,苇地内部的二氧化碳平衡体系受大气干扰较弱,主要是由苇地内部控制地下水 pH 值的各个缓冲系统控制,这是 pH 值变化较小的基本原因。敞口的 S7 则由于水体-空气界面的 O_2 与 CO_2 交换速率加大, CO_2 部分逸出,pH 值略有升高。

2.2.2 CO_2 与 P'_{CO_2} 变化 以水体的 A_c 和 pH 作为已知量,可以推得水体中游离 CO_2 浓度为^[13]:

$$C_{\text{CO}_2} = A_c \cdot \frac{a_{\text{H}^+}^2}{a_{\text{H}^+} \cdot K'_1 + 2K'_1 K'_2}$$

式中, A_c 为碳酸盐碱度,此处等于总碱度 A_T ; a_{H^+} 为氢离子活度; K'_1 与 K'_2 分别为碳酸的 1 级、2 级表观电离常数。

水体中 CO_2 的分压(P'_{CO_2})与游离 CO_2 总浓度的关系可仿照亨利定律^[13]表达:

$$P'_{\text{CO}_2} = \frac{C_{\text{CO}_2}}{\alpha}$$

式中, C_{CO_2} 为水中游离 CO_2 浓度; α 为 CO_2 的溶解度系数。计算结果见表 2。从中可以看出,淀水中 CO_2 分压较低,约是大气中 CO_2 分压(约为 324Pa)^[13] 的 67.6%。此为水体中大量藻类光合作用消耗 CO_2 的反映,而 CO_2 被同化比从大气的气体交换加以补充要快^[13]。潜水中 CO_2 含量与分压均显著高于淀水,分别为淀水的 110~1858 倍和 85~1039 倍。这是芦苇根系及根区微生物的呼吸作用大量产生 CO_2 所造成的。随着 D 增加,潜水中 CO_2 含量与分压逐步增大,游离 CO_2 在二氧化碳总量($\sum \text{CO}_2 = C_{\text{HCO}_3^-}(T) + C_{\text{CO}_3^{2-}}(T) + C_{\text{CO}_2}(T)$)中所占的摩尔百分率也增加,即

$\text{CO}_2\% = 0.0503 \sum \text{CO}_2 + 0.0794$ 。S5 与 S6 两点的 CO_2 与 P'_{CO_2} 显著高于相邻点。

2.2.3 水质类型变化 如下关于水质类型的探讨,各离子含量多少均是以单位电荷离子为基本单元的物质的量浓度进行比较。

按阿列金分类法^[11]对表 1 中各采样点潜水水质的主要离子成分进行分类,南刘庄小杨家淀的水质类型为 Cl^{II} ,这不同于白洋淀主淀水化学类型 C^{Mg} ^[14]。南刘庄由于直接接纳来自保定的府河,它带有大量工业废水、生活污水和农业弃水,一直是白洋淀污染严重的区域,这是离子组成不同的主要原因。水陆交错带土壤由于湿地植物和微生物呼吸作用,导致 CO_2 分压提高,使交错带土壤的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 溶出,水中的 Na^+ 也交换出土壤和沉积物中的部分 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 。土壤母质中 CaCO_3 及其它易溶性盐类含量丰富,使得 S1~S7 各点 Ca^{2+} 与 HCO_3^- 含量均高于 S0。S1 由于离淀水较近,苇地地下水与淀水之间渗透性良好。 HCO_3^- 和

表 2 各采样点 CO_2 、 P'_{CO_2}

Table 2 CO_2 and P'_{CO_2} of sampling plots

样点号	CO_2	P'_{CO_2}
No.	(mmol/L)	(pa)
S0	0.006	21.9
S1	0.66	1867.9
S2	1.28	2952.7
S3	1.79	3662.8
S4	4.61	9427.8
S5	10.23	20923.6
S6	11.15	22802.1
S7	4.80	11266.0

Ca^{2+} 仍分别低于 Cl^- 和 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 因而与 S0 水质类型相同, 同为 Cl^- 。距淀 2.7m 处的 S2 水质类型则处于中间过渡态, 为 Cl^- , 即水质类型由氯化物类水转变为碳酸盐类水, 阳离子中 Ca^{2+} 含量已略微超过 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量。自 S3~S7, 虽然离子总量及各离子含量发生变化, 但水质类型恒定, 均为 Cl^- 。 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 已分别在阴离子和阳离子中占主要地位, 成为控制苇地地下水水质类型的主导因素。

天然水中主要离子含量通常占水体溶解盐类量的 90% 以上, 苇地与淀水之间水质类型的显著差异表现出苇地的特殊作用, 这可能是苇地对污染物质截留作用的基础。关于这方面有待于进一步研究。

2.2.4 主要离子成分变化 从图 2 中可以看出, 总硬度 (H_T) 与总碱度 (A_T) 具有较为一致的变化趋势。除 S5 与 S6 外, 自淀水至苇地中央, 二者均呈现出递增趋势。 H_T 与 A_T 相关显著, 相关方程为:

$$A_T = 0.9033H_T - 1.5799 \quad R^2 = 0.9971$$

天然水体中二氧化碳-碳酸盐平衡体系是一个复杂的平衡过程, 其中碳酸的电离平衡与碳酸盐的沉淀溶解平衡密切相关, 且互相联系, 相互制约, 所以二者具有较好的相关性。

由于石灰性土壤的溶出作用以及淀水与苇地之间的交换作用, 自 S0 至 S7 (S5 与 S6 例外) 各点 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 与 HCO_3^- 渐次升高, 表明土壤的溶出作用越来越强, 而淀水与苇地的交换作用越来越弱。 苇地潜水中较高的硬度对于磷酸盐的去除具有一定的作用, 例如钙就可以和磷酸盐生成几种不溶的固相^[13]。 足够量的碱度值可以促进有机悬浮物及胶体物质的絮凝, 也可以中和底质中的多余有机酸以促进微生物的活动, 加速有机物的分解。 另外水体中的 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 可以同许多重金属离子生成络合物或离子对, 从而降低了重金属对水生生物的毒性。

虽然随距淀水愈来愈远, H_T (包括镁硬度与钙硬度) 增加, S1~S7 的 Mg^{2+} 与 Ca^{2+} 摩尔比值却颇为接近, 变化范围为 0.51~0.66, 平均值是 0.60 ± 0.05 , 而 S0 的 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 则为该值的 2 倍多, 达 1.31。 这是因为地下水受石灰性土壤溶出的影响, Ca^{2+} 含量明显升高。

由于 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 容易淋失而迁移到深层地下水, 且在土壤与地下水之间的交换性较好, 所以自苇地边缘到中央, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量基本恒定, 平均值为 $112.90 \pm 17.41 \text{mg/L}$ 。

各采样点的 Cl^- 平均值为 $176.44 \pm 6.04 \text{mg/L}$, 差异不显著。 这与 Cl^- 随水迁移性较好, 不易被土壤吸附有关。

SO_4^{2-} 与 Cl^- 具有相似的变化规律, 平均值为 $116.08 \pm 19.81 \text{mg/L}$, 除 S6 与 S7 含量较高外, 其余各点基本恒定。 这是由 SO_4^{2-} 的保守性显著所决定的。

从表 1 中还可以看出, 苇地中各采样点的 $\sum \text{Ci}$ 均较淀水高。 除 S5 与 S6 外, S1~S7 离子总量呈现逐步上升的趋势。 由于淀水与苇地中各采样点的 Cl^- , SO_4^{2-} 与 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量基本恒定, 所以 $\sum \text{Ci}$ 主要是由 H_T 与 A_T 所决定。 这说明控制白洋淀淀水与苇地地下水水质类型的主要因素为二氧化碳-碳酸盐平衡体系。 该体系是一个动态平衡的过程, 无机碳的不同形式之间以及它们同气相的 CO_2 和固相的碳酸盐之间存在着多种具有内在联系的物理与化学平衡^[13]。 包括 CO_2 的溶解逸出平衡, 溶解 CO_2 的水合平衡, 碳酸的电离平衡和碳酸盐的沉淀溶解平衡等。 这些平衡之间相互作用与制约, 从而影响到水质化学指标如 pH、碱度、硬度、缓冲能力以及重金属离子的毒性等等。

另外, 自 S0~S7 各采样点的硬度、碱度与离子总量呈良好的正相关性, 这也进一步说明离子总量的变化主要是由总硬度与总碱度所决定的。 $H_T (\text{mmol/L})$, $A_T (\text{mmol/L})$ 与 $\sum \text{Ci} (\text{mg/L})$ 的相关方程如下:

$$\sum \text{Ci} = 71.698H_T + 314.26 \quad R^2 = 0.9954$$

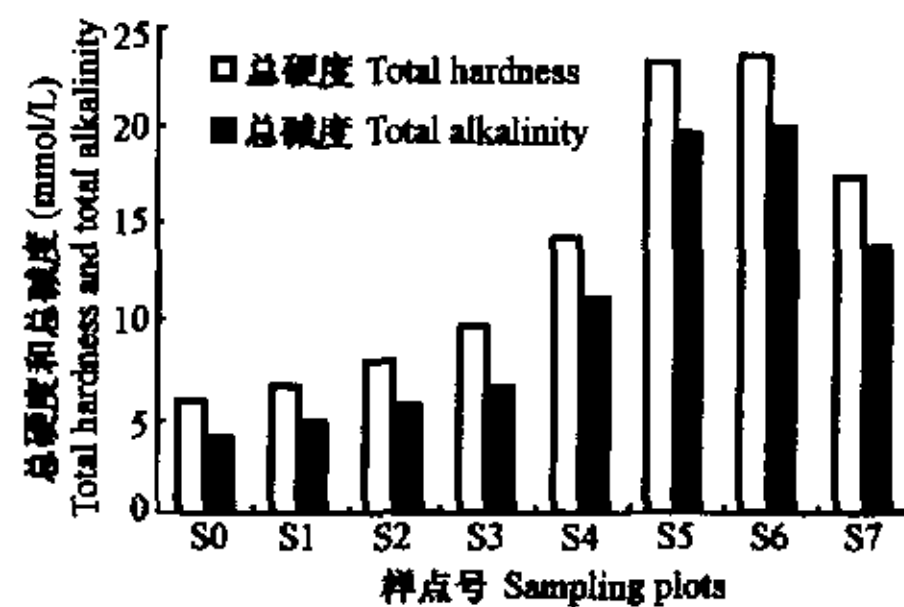


图 2 各采样点总硬度与总碱度

Fig. 2 The total hardness and total alkalinity of sampling plots

$$\sum Ci = 79.383A_T + 439.53 \quad R^2 = 0.9986$$

需要指出的是, S5 与 S6 两点在 S1~S7 中较为特殊。二点的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ 、 CO_2 、 P'_{CO_2} 和 $\sum Ci$ 均显著高于相邻点。下文中二点的氮元素含量也较相邻点高。这可能是由于土壤的局部差异与不均一性所造成的,也可能在这两点周围存在弱透水层或不透水层,造成了相应离子的局部富集。

2.2.5 磷氮污染物的变化特点 通常认为,磷氮污染物浓度升高是湖泊富营养化的主要原因之一。尤其是水体对 P 较为敏感。P 往往成为水体初级生产力的限制因子和富营养化的控制因素。开展磷氮污染物的研究,特别是如何降低水体中 P、N 浓度显得尤为重要。湿地生态系统由于独特的界面特点,对磷氮污染物具有明显的截留作用,从而减少陆源污染物的入湖量,达到控制非点源污染的目的。

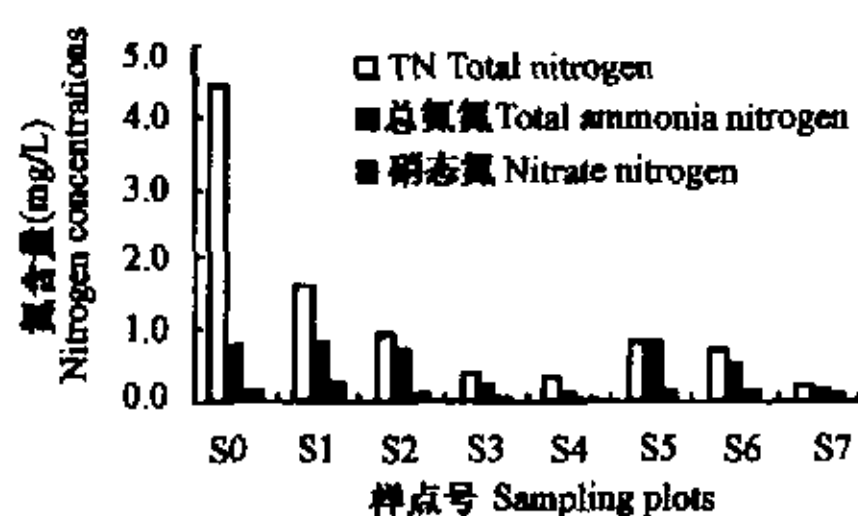


图3 各采样点 TN, NH_4^+-N , NO_3^--N 的平均值

Fig. 3 The average of TN, NH_4^+-N , NO_3^--N in sampling plots

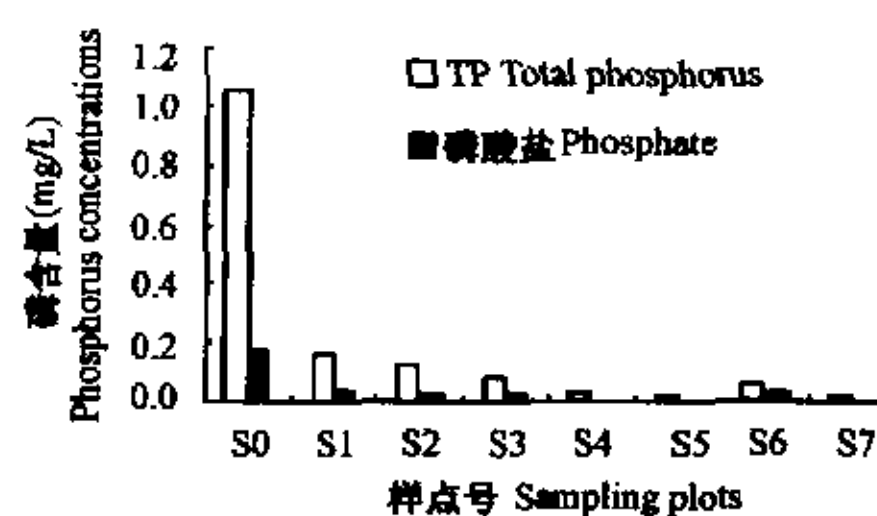


图4 各采样点 TP 与活性磷酸盐的平均值

Fig. 4 The average of TP and total reactive phosphorus in sampling plots

南刘庄的白洋淀水污染较为严重, TN 与 TP 分别为 $4.440 \pm 1.004 \text{ mg/L}$ 和 $1.050 \pm 0.197 \text{ mg/L}$, 按照国际上普遍采用的 OECD 湖泊分级标准^[16], 已达富营养化状态。

从图 3 与图 4 中可以看出, 经过苇地土壤的过滤作用, S1~S7 各采样点与 S0 相比, TN 明显降低。自 S1 至 S7 (S5 与 S6 除外), TN 含量呈递减趋势。平均减少量为 83.6%。 NH_4^+-N 与 NO_3^--N 在各采样点间数值不等, 这与土壤中氮的转化较为复杂有关。S1 至 S7 各采样点 TP 与磷酸盐均较 S0 低, 平均减少量为 93.5% 和 91.0%。值得注意的是, 在淀水与苇地之间有一过渡区, 即苇地边缘坡地。该处两个采样点 S1 距水 0.7m, S2 距水 2.7m。绝大部分的 TN, TP, 活性磷酸盐在此两点得到截留。淀水流至 S1 处 TN, TP, 活性磷酸盐的减少量分别为 63.3%, 84.6% 和 80.8%。至 S2 处上述 3 指标的减少量累计达 78.2%, 88.3% 和 87.6%。S1 中静止水面离苇地坡地表面仅 35cm, S2 中静止水面距地面 1.45m, 在该过渡区中分布有大量芦苇根茎。由芦苇地下根状茎形成的根孔(包括死根孔与活根孔)提供了一个良好的污染物吸附转化界面, 此“多介质界面”特有的微生物活性加速了水体污染物的降解与转化^[12], 从而使得大量的磷氮污染物在该界面区得以截留, 水质得到显著净化。自 S3~S7, 由于距地面较深, 芦苇根孔分布较少, 苇地土壤的净化作用得以体现, 因而各项污染物浓度仍有不同程度的降低。由此可以看出, 芦苇根孔与湿地土壤的综合效应可使流经湿地的污染物浓度显著降低, 从而达到污染物降解与水质净化的目的。

如何合理开发和利用湿地, 构建人工湿地系统以及保护和利用芦苇是当今人类共同关心的问题。芦苇地下根孔系统与苇地土壤的综合作用体系为利用湿地工程处理污泥与污水提供了一条新思路, 也可控制农村非点源污染提供一条最为经济而富有实效的可持续发展之路。

参考文献

- [1] Gopal B, Hillbricht-Ilkowska A and Wetzel R G. *Wetlands and ecotones, Studies on land-water interactions*. New Delhi: National institute of ecology and international scientific publications. 1993.
- [2] Hunt P G, Stone K C, Humenik F J, et al. In-stream wetland mitigation of nitrogen contamination in a USA Coastal Plain stream. *Journal of Environmental Quality*, 1999, 28(1): 249~256.

- [3] MacDonald H F, Bergstrom J C, Houston J E. A proposed methodology for measuring incremental environmental benefits from using constructed wetlands to control agricultural non-point-source pollution. *Journal of Environmental Management*, 1998, 54(4): 259~267.
- [4] Nairn R W and Mitsch W J. Phosphorus removal in created wetland ponds receiving river overflow. *Ecological Engineering*, 2000, 14(1~2): 107~126.
- [5] 尹澄清, 兰智文, 晏维金. 白洋淀水陆交错带对陆源营养物质的截留作用初步研究. *应用生态学报*, 1995, 6(1): 76~80.
- [6] Wright D J and Otte M L. Wetland plant effects on the biogeochemistry of metals beyond the rhizosphere. *Biology & Environment-Proceedings of the Royal Irish Academy*. 1999, 99B(1): 3~10.
- [7] Mendelssohn T A, Sorrell B K, Brix H, et al. Controls on soil cellulose decomposition along a salinity gradient in a *Phragmites australis* wetland in Denmark. *Aquatic Botany*. 1999, 64(3~4): 381~398.
- [8] Hite C D and Cheng S L. Spatial characterization of hydrogeochemistry within a constructed fen, Greene County, Ohio. *Ground Water*, 1996, 34(3): 415~424.
- [9] Toetz D. Water chemistry and periphyton in an Alpine wetland. *Hydrobiologia*, 1995, 312(2): 93~105.
- [10] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 第三版. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 252~286.
- [11] 汤洪霄. 用水废水化学基础. 北京: 中国建筑工业出版社, 1979. 97~111.
- [12] 王大力, 尹澄清. 植物根孔在土壤生态系统中的功能. *生态学报*, 2000, 20(5): 869~874.
- [13] Stumm W and Morgan J J. *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters (2nd Ed.)*. New York: John Wiley & Sons Inc. 1981. 171~229, 282~284.
- [14] 万国江, 万 曦, 唐德贵, 等. 白洋淀的水质化学特征. 见: 章 申, 唐以剑等主编. 白洋淀区域水污染控制研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1995. 32~35.
- [15] Vollenweider R and Kerekes J. *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control*. Paris: OECD. 1982.
- +++++

《人口和全球安全》介绍 (Population and Global Security)

作者: Micholas Polunin

索书号: C92/P831/1998Y

本书主要内容:

1. 人口增长和全球稳定性; 2. 全球人口和所承受的压力; 3. 人口展望; 4. 人口爆炸的时间在何时; 5. 人口、经济发展和环境保护; 6. 环境承受力的规则: 减少过度消费和保持人口稳定; 7. 人类健康和行星安全; 8. 世界人口和营养状况; 9. 全球迁居群: 一个千年的展望; 10. 妇女和家庭计划方案; 11. 人口计划的观点和相关宗教; 12. 一个可估价的能量; 13. 自然极限的面对; 14. 未来的希望

刘丽华 武汉大学图书馆外国教材中心