

滇池水-沉积物界面氮分布特点 及其对控制蓝藻水华的意义*

黄丽娟¹, 常学秀^{1,2}, 刘洁¹, 王海龙¹, 赵瑾¹

(1. 云南大学 生态学与环境科学系, 云南 昆明 650091;

2. 中国科学院 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏 南京 210008)

摘要:造成水体富营养化的污染源可以分为外源和内源,当湖泊的外源得到控制以后,内源营养盐的释放仍然可以发生富营养化,甚至爆发藻类水华.研究营养物质在水-沉积物界面的地球化学行为,对于控制水体富营养化和水华爆发具有重要意义.以滇池为研究对象,测定了间隙水和上覆水中总氮(TN)、氨态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)和有机氮(ON)的质量浓度.结果表明:无论在草海还是外海,间隙水中TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 及ON质量浓度均高于上覆水,说明底泥中的氮元素有向水体中扩散的趋势;草海上覆水及间隙水中TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量浓度均高于外海,其受污染的程度比外海高.研究揭示了滇池底泥中氮分布区域和垂直变化特征,阐明了内源氮负荷在湖泊富营养化中所起的作用.

关键词:滇池;内源污染;间隙水;上覆水

中图分类号:X 171.5 **文献标识码:**A **文章编号:**0258-7971(2005)03-0256-05

纵观全球,几乎所有的湖泊和其他娱乐用水都存在着不同程度的富营养化^[1,2],而在我国,80%的湖泊受到以富营养化为特征的水体污染^[3].根据对全国130余个湖泊的调查资料显示,高营养化湖泊占调查总数的43.5%,中营养化湖泊占调查总数的45%^[4].而藻类的水华(algal blooms)爆发则是许多发生了富营养化的湖泊和水体所面临的挑战^[1],并已成为国内外十分关注的环境问题之一^[5].

水-沉积物(又称作底泥)界面的营养物质的地球化学行为对湖泊,尤其是浅水湖泊的水环境质量与生态系统有着极为重要的影响^[6,7].由于营养物质的过量输入,使沉积物成为湖泊营养盐的重要蓄积库^[8,9],蓄积在沉积物中的营养物质在一定条件下通过形态变化、改变界面特性和释放等途径严重影响湖泊上覆水体的质量^[10,11].即便外源污染物得到控制,由于湖泊沉积物释放的氮、磷等营养元素,湖泊富营养化状态还能维持较长时间^[12],甚至出现水

华^[13].因此,研究水-沉积物界面营养物质的地球化学行为对于控制水华爆发具有重要意义.

滇池流域位于云贵高原中部,流域面积2920 km²,是我国著名的高原淡水湖泊和西南地区最大的内陆浅水湖泊,已被列入全国13个重点保护水系之一^[14].滇池的特点是:入湖河流短,没有外流域大江、大河补充水源,来水量少,水资源严重匮乏,水交换慢,效率低,水体流动慢,属于静水型湖泊.滇池的这些特点决定了污染物易进难出,即污染物一旦进入湖体就很难排除湖外,在湖中停留时间长,容易沉积到湖底,在水-沉积物界面进行交换.据估计,滇池草海疏浚前沉积物累积的TN,TP的负荷量分别高达38010 t和6300 t,分别是当时滇池TN,TP年入湖量的7倍和9.8倍^[15].大量营养盐在底泥中的滞留和累积使得底泥具有很高的营养内负荷,具有内源污染的潜在危害.

本文以滇池为研究对象,测定了间隙水和上覆

* 收稿日期:2005-02-10

基金项目:国家重点基础研究发展规划课题(973)项目资助(2002CB412306);土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金资助(035112).

作者简介:黄丽娟(1980-),女,云南人,硕士生,主要从事污染生态方面的研究.

水中的 TN 、 $NH_4^+ - N$ 、 $NO_3^- - N$ 及 ON 质量浓度,分析了滇池中氮元素的分布区域和垂直变化趋势,以期阐明内源氮负荷在湖泊富营养化中所起的作用。

1 材料与方法

1.1 样品采集及处理 2003年4月16日,分别在草海中、海埂、灰湾和海口4个位点采集样品,采

样点具体位置见图1,样品基本理化性质见表1。用柱状采泥器采取表层底泥和上覆水,每个监测点分别采集5个平行样,采用虹吸法取得上覆水(离表层底泥约0~60 cm),底泥在4000r/min的条件下离心30 min后得到间隙水。水样获得后直接测定获得 TN 、 $NH_4^+ - N$ 和 $NO_3^- - N$ 质量浓度,通过计算得出 ON 质量浓度。

表1 采样点基本情况

Tab. 1 The basic conditions of sampling sites

采样点	水温/	底泥颜色	pH值	氧化还原电位/mV	w(底泥有机质)/%
草海中	18	深黑色	8.53	-235.9	19.88 ±0.50
海埂	17	灰黑色	7.67	-195.7	10.60 ±0.68
灰湾	18	灰黑色	7.88	-193.0	11.41 ±0.34
海口	19	灰褐色	7.81	-190.7	8.58 ±0.83



图1 采样点位置图

Fig. 1 Sampling sites

1.2 方法 水中总氮的测定采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法(GB11894-89)^[16]。水中氨态氮的测定采用酚盐分光光度法(GB/T8538-1995)^[16]。水中硝态氮的测定采用酚二磺酸分光光

度法(GB7480-87)^[16]。水中有机氮质量浓度的计算:有机氮质量浓度=总氮质量浓度-(氨态氮质量浓度+硝态氮质量浓度)。

2 结果及分析

2.1 TN质量浓度 在4个采样点中,草海的样点中 TN 质量浓度最高,上覆水中 TN 质量浓度为 7.573 mg/L ,间隙水中质量浓度为 12.021 mg/L ,分别是外海3个点平均值的3.2倍和2.3倍。在外海3个采样点中,海口点上覆水中 TN 的质量浓度最低,为 1.775 mg/L 。间隙水中 TN 质量浓度最低的是海埂样点,为 4.127 mg/L ,并且不论在草海还是外海,间隙水中 TN 质量浓度比上覆水高。

2.2 $NH_4^+ - N$ 质量浓度 草海中采样点中 $NH_4^+ - N$ 质量浓度最高,上覆水中为 1.082 mg/L ,间隙水中为 2.060 mg/L 。而外海3个样点上覆水和间隙水中 $NH_4^+ - N$ 平均质量浓度分别为 0.147 mg/L 和 1.327 mg/L 。 $NH_4^+ - N$ 质量浓度最低的是海口样点,上覆水和间隙水中质量浓度分别为 0.077 mg/L 和 1.244 mg/L 。并且不论在草海还是外海,间隙水中 $NH_4^+ - N$ 质量浓度比上覆水高。

2.3 $NO_3^- - N$ 质量浓度 $NO_3^- - N$ 的测定结果刚好与 TN 和 $NH_4^+ - N$ 的结果相反。无论在外海还是草海, $NO_3^- - N$ 在上覆水中的质量浓度均高于其在间隙水中的质量浓度。在草海中采样点,上

覆水和间隙水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的质量浓度分别高达

5.171 mg/L 和 4.604 mg/L.

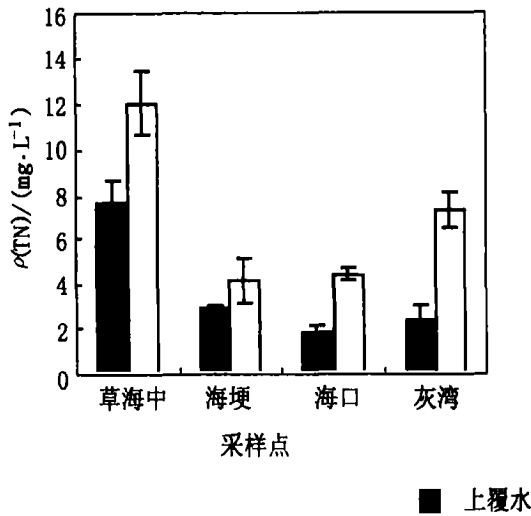


图 2 滇池水中 TN 质是浓度

Fig. 2 Mass concentration of TN in water of Dianchi Lake

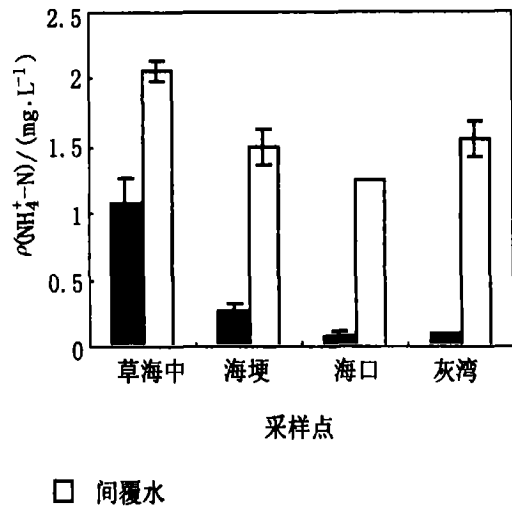


图 3 滇池水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 质量浓度

Fig. 3 Mass concentration of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ in water of Dianchi Lake

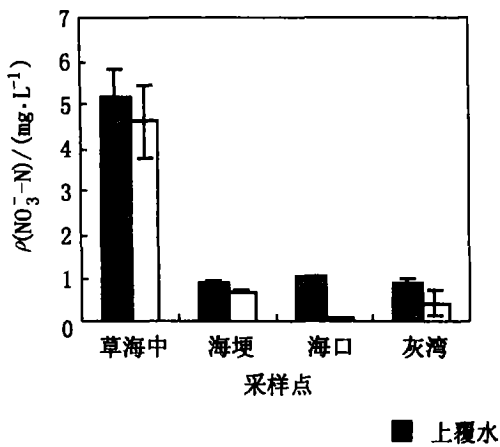


图 4 滇池水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量浓度

Fig. 4 Mass concentration of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in water of Dianchi Lake

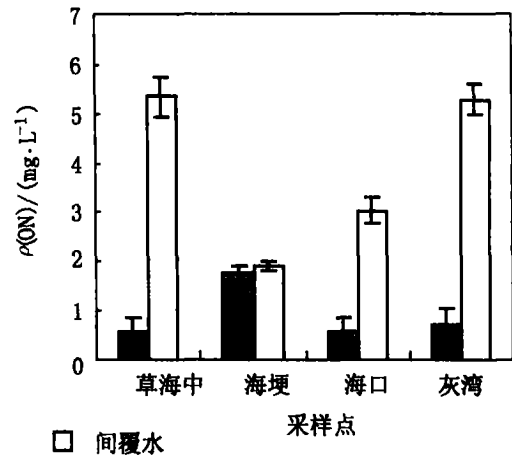


图 5 滇池水中 ON 质量浓度

Fig. 5 Mass concentration of ON in water of Dianchi Lake

2.4 ON 质量浓度 ON 质量浓度的计算结果与 TN 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 质量浓度的测定结果相似,即不论在草海还是外海,其在间隙水中的质量浓度高于其在上覆水中的质量浓度.在草海中采样点,上覆水中 ON 的质量浓度为 1.320 mg/L,在间隙水中则高达 5.357 mg/L.而在外海,ON 在上覆水中的平均质量浓度为 1.282 mg/L,间隙水中则为 3.043 mg/L.

3 结论及讨论

3.1 滇池底泥中的氮元素有向水体中扩散的趋势 各形态的氮在泥 - 水界面存在着相互的交换,一

方面浮游生物碎屑以及各形态的氮随着颗粒物的吸附沉积于湖底;另一方面底泥的反硝化过程中产生的 N_2O 和 N_2 还可从水中向大气逸出,形成相对的平衡体系.过去的试验结果表明,在滇池水环境条件下的泥 - 水界质平衡体系中, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 主要是由上层水向底泥扩散,而底泥向上层水扩散的则主要是有机氮和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,而且有机氮和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的释放速率大于 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ^[17],这与本实验结果相符.另外,由于底泥中有机质含量很高,外海为 10.19%,草海则高达 19.88%,有机质的分解矿化消耗了绝大部分的溶解氧,加之滇池水体中蓝藻、水葫芦等疯长,阻碍了大气中氧气向水中扩散,

因而底泥处于厌氧状态(表1),有利于反硝化作用的进行,大量沉积于底泥中的氮元素被还原为 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 而释放.释放的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 首先进入沉积物的间隙水中,这一步骤通常被认为是营养盐释放速率的决定步骤^[18~20];再逐步扩散到沉积物的表面,进而向湖泊沉积物的上层水扩散,形成湖泊TN的一部分.所以,就出现了间隙水中TN, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 及ON质量浓度均比上覆水中高的现象,说明底泥中N有向湖水中扩散的趋势.

3.2 氮质量浓度是草海高,外海低 因为草海比较靠近昆明市区,接纳了大部分未经任何处理或稍作处理但仍未达标的生活污水、工业废水,加之草海面积小(面积为 7.52 km^2 ,仅占滇池水域面积的2.5%;湖容为 0.188 亿 m^3 ,为滇池的1.3%),水体流动少等原因,使大量的营养盐富积下来,造成TN, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量浓度高的现象.据调查,2000年草海入湖污染负荷已占到整个滇池的45%,草海已成为昆明市区的纳污库^[21],成为污染最严重的水域^[22].与草海相比,外海的情况较好,在采样的3个点中,海口的TN, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 质量浓度均是最低的.因为海口水域面积较宽,是滇池的主要出水口,水体经常循环流动,所以,水中的营养盐含量相对较低.

4 结束语

本研究通过测定滇池水-沉积物界面上覆水和间隙水中TN, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 及ON的质量浓度,初步探讨了氮元素在滇池水体中的分布规律和赋存形式,揭示了内源释放的氮元素参与了水体中营养盐的循环过程,并逐步成为湖泊营养来源的一个重要途径,在滇池富营养化及蓝藻水华爆发过程中起到了一定的作用.

本研究有助于了解影响蓝藻水华爆发的生源要素的循环规律和浅水湖泊富营养化发生的机理.

参考文献:

- [1] 李小平. 美国湖泊富营养化的研究和治理[J]. 自然杂志, 2002, 24(2): 3—8.
- [2] 李开源, 丁明. 云南程海蓝藻毒性研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1998, 20(3): 193—196.
- [3] 国家环保总局. 1999年中国环境状况公报[J]. 环境保护, 2000, (6): 3—8.
- [4] 王小雨, 冯江, 胡明忠. 湖泊富营养化治理的底泥疏浚工程[J]. 环境保护, 2003, (2): 22—23.
- [5] 刘红涛, 李杰, 席宇, 等. 铜离子对铜绿微囊藻生长及生理的影响[J]. 郑州大学学报(医学版), 2004, 39(1): 7—60.
- [6] KIM Lee-Hyung, Choi Euiso, Stenstrom Michael K. Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments[J]. Chemosphere, 2003, 50(1): 53—61.
- [7] LIJ KLEMA L, KOELMANS A A, PORTIELJE R. Water quality impacts of sediment pollution and the role of early diagenesis[J]. Water Sci Technol, 1993, 28: 1—12.
- [8] PEEN M R, AUER M T, Van Orman E L, et al. Phosphorus diagenesis in lake sediments: investigation using fractionation techniques [J]. Mar Freshwater Res, 1995, 46: 89—99.
- [9] 曲久辉. 我国水体复合污染与控制[J]. 科学对社会影响, 2000, (1): 36—40.
- [10] TING D S, APPAN A. General characteristics and fractions of phosphorus in aquatic sediments of two tropical reservoirs[J]. Water Sci Technol, 1996, 34(7): 53—59.
- [11] ZHOU Q, GIBSON C E, ZHU Y. Evaluation of phosphorus bioavailability in sediments of three contrasting lakes in China and U K[J]. Chemosphere, 2001, 42(2): 221—225.
- [12] 郑曦, 刘登义. 镜湖富营养化污染及其治理的初步研究——底泥氮磷及入湖污水对富营养化的影响[J]. 徐州师范大学学报, 1999, 17(2): 54—56.
- [13] ROSSI G, PREMAZZI G. Delay in lake recovery caused by internal loading[J]. Wat Res, 1991, 25: 567—575.
- [14] 杨一光, 杨桂华. 滇池自然地理概要[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1985, 7(增刊): 1—8.
- [15] 中国科学院. 草海底泥污染现状调查与评价[M]. 北京: 中国科学出版社, 1997.
- [16] 谢贤群, 王立军. 水环境要素观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [17] 汪丽. 滇池水体中氮的化学形态及特征[J]. 云南环境科学, 1993, 12(3): 76—79.
- [18] 范成新, 相崎守弘. 好氧和厌氧条件对霞浦湖沉积物-水界面氮磷交换的影响[J]. 湖泊科学, 1997, 9(4): 337—342.
- [19] SPAN D. Variation of nutrient stocks in the superficial

- sediments of the Lakes Geneva from 1978 to 1988[J].
Hydrobiologia, 1990, 20(7): 161—166.
- [20] BAUDO R. Sediment: chemistry and toxicity of ir-
place pollutants [M]. Michigan: Lewis Publishers,
1990: 130—144.
- [21] 李发荣. 滇池草海水体景观及水生生态变化趋势分
析研究[J]. 云南环境科学, 2003, 22(增刊): 97—
100.
- [22] 江东福, 翟 苹, 马 萍, 等. 滇池于雨季水和底泥的
化学监测及其放线菌群[J]. 云南大学学报(自然科
学版), 1985, 7(增刊): 112—122.

The distribution characteristics of nitrogen across water-sediment interface and its significance for controlling algal blooms in Dianchi Lake

HUANG Li-juan¹, CHANG Xue-xiu^{1,2}, LIU Jie¹, WANG Hai-long¹, ZHAO Jin¹

(1. Department of Ecology and Environment Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Lakes' eutrophication become a serious environmental problem in China, and the algae bloom is the challenge of all the eutrophicated lakes. Pollution sources of eutrophication lakes include external sources and internal sources. When the external pollution sources are controlled, eutrophication will still happen because of the existence and release of inner loading nutrient in sediments. Then nutrients become the leading factor of the lakes' eutrophication. The mass concentration of total nitrogen (TN), ammonia ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$), nitrate ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) and organic nitrogen (ON) in interstitial water and overlying water of Dianchi lake was mensurated. The results are as following: No matter in Caohai or Waihai, the mass concentration of TN, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and ON are higher in interstitial water than those in overlying water, which indicates that the nitrogen in the sediment has been releasing into the water column and play an important roll in the eutrophication process of Dianchi Lake. So more attetion should be paid to the internal pollution sources when controlling the eutrophication of Dianchi Lake. The mass concentration of TN, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ are higher in Caohai than those in Waihai, so it can be conclude that the pollution degree of Caohai is more serious than that of Waihai. The spatial distribution characteristics of nitrogen and the rolls of internal sources in lakes' eutrophication are explained clearly from the research.

Key words: Dianchi Lake; internal source pollution; interstitial water; overlying water