

滇池底泥中有机质的分布状况研究

彭 丹 金 峰 吕俊杰 李仁英 杨 浩

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 通过对滇池底泥 118 个样品的有机质含量分析统计和利用 GIS 绘制的底泥 0~5cm, 5~10cm, 10~20cm 3 层有机质空间分布图, 得出底泥中有机质含量的一般范围在 40.00~90.00g/kg。滇池草海底泥中有机质含量明显大于外海含量; 外海有机质垂直分布呈明显规律性 随着深度的增加而递减, 而草海的有机质垂直分布没有明显的规律; 并分析了滇池底泥中有机质含量的环境意义, 为治理滇池提供理论指导。

关键词 滇池; 有机质; 含量; 垂直分布; 空间分布

中图分类号 X524

湖泊沉积物是水体污染物的汇, 又是水体污染物的源, 沉积物中的有机质对污染物的迁移与释放行为起着关键作用。大量的研究从不同角度对湖泊或河流沉积物中的有机质做了分析。如周启星和朱荫梅^[1]对西湖底泥中有机质在不同供氧条件下的分解及 CO₂, CH₄ 的释放做了模拟研究, 结果表明在现有水平下西湖底泥中有机质分解速率最为缓慢, 而加强供氧量, CO₂ 释放速度增加, 降低供氧量 CH₄ 释放速率加快。范成新等^[2]对太湖底泥中的有机质做了表层和分层研究, 发现有机质的分布和人为污染程度有着正相关性, 河口含量明显增加; 垂直分布随着深度的加深呈现出不同的特点: 随深度增加物质含量几乎不变化; 随深度增加, 含量明显下降; 随深度增加含量呈 S 型变化; 底层和深层含量低, 而中间层含量高。王新明等^[3]对广州感潮河段的底泥有机质特征也做了研究, 发现河流底泥中有机质的分布在河道上游以生物源为主, 而下游主要是人为源。王文华等^[4]对北京昆明湖底泥中有机物进行了物理化学和生物化学表征, 对有机物提取物进行红外光谱, 荧光光谱和可见光谱分析, 表明旅游干扰了底泥中正常的有机质沉淀过程, 使得有机质分布呈现不规律性。另外国内外很多研究利用沉积物中的有机质组分含量来研究古环境气候分布规律, 如沈吉等^[5]用江苏固城湖 GSI 钻孔中可溶有机物成分的全面分析来探讨湖泊生物输入状况, 沉积环境和沉积物源的变化。

滇池是一个受人类活动影响强烈的高原湖泊,

近年来污染严重。从 20 世纪 60 年代到 90 年代的 40 年里, 滇池水质由 I 类水下降至 II 类水和超 II 类水, 水质逐步恶化, 草海异常富营养化, 局部沼泽化, 外海严重富营养化^[6]。除了与大量的 N、P 等营养元素的直接排入有关以外, 同时也和底泥中的有机质的增多有着密切的关系。但是对滇池底泥中有机质的研究还不是很多, 大量的研究都集中在底泥中 N、P 的迁移上。本文对滇池底泥中有机质进行全湖采样, 并且通过 GIS 绘出整个滇池底泥中有机质分布图, 初步分析其分布规律和特点, 试图找出滇池污染的内源机制, 为控制污染, 治理污染作理论指导。

1 研究区概况

滇池位于昆明市的下游, 东经 102°02'~102°47', 北纬 24°40'~25°02', 海拔 1888.5 m, 面积 300.7 km², 是云南高原最大的淡水湖。湖体为南北走向, 略成弓状分布, 弓背向东, 北部的近东西向的海埂, 将湖分为两部分, 北部称草海, 是水草生长的沼泽化湖湾, 水深仅 1.5 m。南部称为外海, 是滇池的主体, 主要湖底区深 5~6 m。

2 采样和分析方法

2.1 采样点的分布

为了全面了解滇池底泥中有机 C 的分布特征及规律, 于 2002 年 5 月 7 日至 7 月 30 日间对滇池全湖底泥进行了采样。采样点选用均匀布点法, 从湖

泊最北端至最南端东大河口，按照纬度间隔约0.1°划出若干条与纬度平行的取样线，最北端取样线纬度为25.02°，最南端取样线纬度为24.67°。取样时采用GPS全球定位仪，同时结合1:50000地形图进行校正。沿每条取样线，从湖泊最东岸至最西岸按经度间隔约为0.1°均匀采样，若原先定的取样位置无法采样，则选择尽量靠近这个点的沉积物采样。采样点分布如图1。

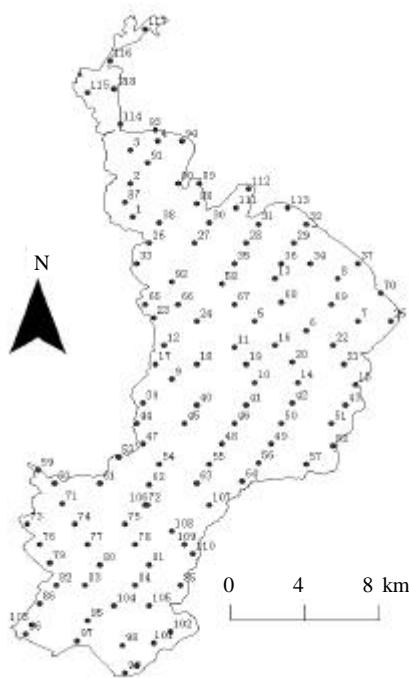


图1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites in the Dianchi Lake

2.2 样品的采集

使用“柱状采样器”进行底泥样品的采集：参照澳大利亚聚丙烯筒式原状沉积物取样器，在实际操作过程中，结合积累的采样经验，对其进行适当的改造。

采到的沉积物样品柱运回实验室，放置于样品架上静置，待上层水溶液澄清后，用乳胶管将上层水吸出，用分样装置将沉积物按0~5 cm、5~10 cm及10~20 cm进行分割，装入密闭样品袋。共118个柱样样品，将其风干，剔除杂质，研磨过100目筛，放入密闭样品袋待分析。

2.3 样品的分析

底泥中有机C的测定采用重铬酸钾外加热法^[7]。

3 结果与讨论

3.1 滇池底泥有机质总体含量范围

对全湖118个样品的每个样品0~5, 5~10, 10~20 cm 3层进行分析，并对有机质含量进行分析统计，得出其频度分布表（表1）。

表1 滇池底泥中各层有机质含量的频数分布表

Table 1 Frequency of organic matter contents in layers of the sediment of the Dianchi Lake

有机质含量 (g/kg)	频数 (0~5 cm)	频数 (5~10 cm)	频数 (10~20 cm)	频数 (0~20 cm)
-9.00	2	2	4	3
10.00-	5	3	5	4
20.00-	2	5	13	7
30.00-	3	6	12	7
40.00-	5	9	13	9
50.00-	5	11	15	11
60.00-	14	9	15	13
70.00-	8	19	11	13
80.00-	12	13	3	6
90.00-	20	7	2	10
100.00-	7	2	1	3
110.00-	8	3	3	5
120.00-	8	9	4	7

统计表明0~5 cm层的有机质含量分布范围在8.24~677.72 g/kg之间，由频度表中可以看出有机质含量多分布在60.00~90.00 g/kg的区间，大约占了样本总数的46%，有机质的平均含量为89.25 g/kg。5~10 cm底泥中有机质的含量范围在4.53~589.65 g/kg，从有机质的频度分布可以看出含量多集中在40.00~80.00 g/kg区间，占了样本总量的61%，其有机质的平均含量为78.02 g/kg。10~20 cm层底泥中有机质的分布范围在7.07~649.03 g/kg。由频度表看出含量多分布在20.00~70.00 g/kg区间，约占了总体分布的79%，有机质的平均含量为71.41 g/kg。对3层综合来看，其有机质的平均含量在79.56 g/kg，含量的一般范围在40.00~90.00 g/kg区间内，约占了62%。

滇池的有机质含量相对与太湖、西湖等淡水湖比较，含量明显较大，这可能与滇池独特的地理位置和污染史有关。一般认为，沉积物有机质主要由生物遗体及其转化、降解的有机化合物组成^[8]。滇池沉积物中的有机质来源可能有以下几个途径：

(1) 长期以来，由于人口增加，经济发展，新开土地大量增加，不断砍伐森林，破坏植被，使得滇池流域存在着严重的水土流失，而水土流失和土壤侵蚀是加剧水环境污染的一个主要因素^[9]。经调

查, 滇池流域的土壤侵蚀面积约占全区的38%, 每年的水土流失量约为106万t, 年平均侵蚀深度为0.68mm, 水土流失的泥沙约37%随河流流入滇池, 每年约有39万吨的泥沙淤积在滇池湖底^[10]。而这些淤积的泥沙中就夹杂着大量的有机质。

(2) 滇池流域污染工业密集, 其中对滇池流域影响最严重的有43家, 并且很多工厂缺少污水处理系统, 直接排放滇池。目前滇池接纳的污水量约为77万m³/天, 每年约为2.81亿m³, 其中工业废水约为2亿m³, 占总排放量的71.2%^[11]。大量的有机污染物随着废水注入滇池, 部分沉积于底泥, 成为有

机质的另一个重要来源。

(3) 滇池富营养化严重, 藻类大爆发后死体沉积湖底, 外加大量的凤眼莲等水生植物的死体沉积也是滇池底泥中有机质的一个来源。

3.2 有机质的垂直分布

选择位于草海、外海不同位置的12个点来分析滇池底泥中有机质的垂直分布特点。这几个点几乎包括了滇池的各个部分, 能够比较好的代表滇池的有机质垂直分布特点。所选点的经纬度, 区域及各层有机质含量见表2。

表2 滇池不同点有机质含量

Table 2 Organic matter content at different sampling sites in the Dianchi Lake

样品编号	经纬度		区域	x (g/kg)	y (g/kg)	z(g/kg)
1	N24°95	E102°66	外海	98.03	60.23	28.86
2	N24°88	E102°72	外海	79.02	63.00	30.36
3	N24°84	E102°69	外海	112.36	82.42	76.65
4	N24°85	E102°76	外海	87.53	85.58	36.03
5	N24°87	E102°75	外海	68.56	60.68	48.15
6	N24°86	E102°73	外海	75.38	95.25	32.56
7	N24°71	E102°64	外海	86.42	47.36	62.42
8	N24°85	E102°72	外海	87.68	85.12	36.45
9	N24°88	E102°74	外海	99.42	81.56	30.13
10	N24°96	E102°67	草海	270.25	287.36	398.13
11	N24°98	E102°63	草海	677.72	589.65	649.03
12	N24°99	E102°65	草海	406.23	331.13	336.65

x、y、z 分别代表0~5、5~10、10~20cm层有机质含量。

由表2可以看出, 外海几个点的有机质含量在整体上随着底泥深度的增加而呈现递减的趋势, 只有点6和点7含量不成规律性。但总体来说外海底泥中的有机质含量随着深度的增加而递减, 呈现明显的规律性, 同时有机质含量大体相似, 都在100g/kg以下, 3层有机质含量也相差不多。而草海中的3个采样点有机质明显增高, 并且有机质分布随着底泥深度的增加并没有明显的规律。这可能是因为, 草海污染比外海更加严重, 长期的工业排污, 城市生活污水的直接排放, 扰乱了草海底泥中有机质的分布规律。

3.3 底泥中有机质的空间分布

对全湖底泥中0~5, 5~10, 10~20cm层的有机质数据, 利用GIS工具绘制全湖底泥中有机质水平分布状况图见图2、图3、图4。

3.3.1 有机质分布的共同点 从0~5, 5~10, 10~20cm3层有机质分布图中可以看出, 草海在整

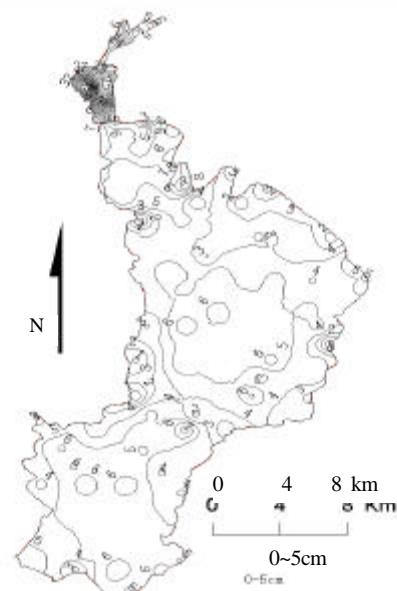


图2 滇池有机质空间分布 (0~5cm)

Fig. 2 Distribution of organic matter in the sediment of the Dianchi Lake (0~5cm)

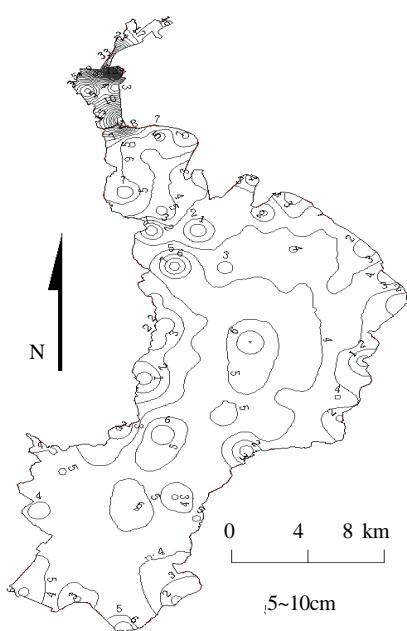


图3 滇池有机质水平分布 (5~10cm)

Fig. 3 Distribution of organic matter in the sediment of the Dianchi Lake (5~10cm)



图4 滇池有机质水平分布 (10~20cm)

Fig. 4 Distribution of organic matter in the sediment of the Dianchi Lake (10~20cm)

个湖区里有着较高的有机质含量，这和草海最靠近昆明市区，周围严重的工业，城市排水分不开。同时草海湖区相对封闭，有机污染物排放进去，分散很困难，因此大部分沉积到湖底，使底泥中有机质含量水平明显高于全湖。有研究表明微生物的生物C量和总的有机C有关，微生物的生物C量占总有机C的比率是随着有机物质的输入而增加的^[12]。草海中微生物含量的数量级一般在 10^6 ，含量非常大，与之对应的是较高的微生物生物C量和总有机质含量。因此，虽然近年来污水排放已得到控制，但是长期的污染使得底泥中的有机质含量仍然居高不下。昆明市政府对草海的底泥进行了疏浚工程，但是由于污染的底泥是有机质的源，所以这种情况应该还会持续很长时间。

其次3层分布图中外海的有机质含量除了个别地方以外都相差不大，并且大致分布比较均匀。

3.3.2 有机质分布的不同点 比较图2、3、4可以看出，图4与图2、图3不太相同。在图2、图3中，靠近螳螂川，湖水出水口海口河附近有机质含量较高，因为湖泊入河口，泥沙沉积，有机质含量自然比其他地方高。可是在图4中，入河口的有机质含量并不是明显增高，这可能是因为水流带来的泥沙沉积都是浅层沉积，10~20 cm深度没有受到影响。

纵观整个3层的有机质含量分布图，看到滇池边缘的一些河流入口处有机质含量相对都高些，这是因为河流带来的大量的有机物质在边缘沉积的作用所致。从图4中还可以看到：外海的盘龙江入湖口处的有机质含量特别高，而这些在图2、3中都是没有的。分析原因，可能是：此处是众多河流的入滇池口，大的河流有盘龙江、大清河，而河流的定向运动对底泥中有机质的沉降具有重要影响，众多的河流带来大量的有机质堆积在这个地方；城市、工业污水也在这个地方注入滇池，而水流的特点可能使得有机质在10~20 cm这个深度积聚。更详细的原因还需要进一步的研究。

总的来说，滇池底泥中的有机质含量很高，并且呈现显著的不平衡性，草海的有机质含量明显高于外海，外海盘龙江入湖口处的有机质含量也很高。这些高含量的有机质使得滇池底泥成为潜在的污染源。

4 湖泊底泥中有机质含量的环境意义

大量的研究已经表明湖泊沉积物是水体污染物的汇，又是水体污染物的源，沉积物中的有机质对污染物的迁移与释放行为起着关键作用。有机质矿化过程中大量耗氧，释放出C、N、P、S等营养盐，

造成严重的水质恶化，水质富营养化；同时，有机质通过吸附，络合沉积物中的重金属、有毒有害有机物等，改变和影响着这些污染物质的生态毒性、环境迁移行为；有机质矿化过程中还产生大量 CH_4 、 CO_2 及挥发性卤代有机化合物等温室气体^[13]，从而可以加剧温室效应，这些过程改变和破坏了地球原有的生态环境和生态平衡，对人类自身的生存和发展也提出了严峻的挑战^[14]。因此，湖泊沉积物中的有机质含量对湖泊以及全球环境有着重要的意义。

因此对滇池底泥中有机质的研究有助于合理的控制污染，进一步加强滇池的污染治理，为滇池的治理提供理论基础。

5 结语

现阶段滇池污染严重，水质恶化，富营养化严重，底泥中的有机质对滇池的污染具有重要的决定作用。因此治理滇池，改善滇池水质，必须减少滇池外源有机质的注入，同时对内源有机质的产生机制作合理的研究，使得内源有机质的产生也能得到有效遏制。最终使滇池沉积物中的有机质被控制在一个合理的水平，这对改善滇池水质、治理整个滇池流域的生态环境都具有重要意义。

参考文献

- 周启星, 朱荫梅. 西湖底泥中不同供养条件下有机质降解及 CO_2 与 CH_4 的释放速率的模拟研究. 环境科学学报, 1999, 19 (1): 11 ~ 15
- 范成新, 季江, 隋桂容. 太湖底泥蓄积和主要的理化性质空间分布特征. 见: 蔡启铭主编. 太湖环境生态研究 (一). 北京: 气象出版社, 1998, 55 ~ 61
- 王新明, 盛国英, 傅家谟, 闵育顺. 广州感潮河段底泥有机质特征. 沉积学报, 1997, 14 (2): 232 ~ 235
- 王文华, 王淑琴, 徐维并, 齐端明. 北京昆明湖底泥中有机物的表征. 环境科学学报, 1995, 15 (2): 178 ~ 185
- 沈吉, 王苏民, 张干. 固城湖中沉积物可溶有机质成分及古气候环境意义. 湖泊科学, 1998, 10 (4): 63 ~ 70
- 齐素华, 艾萍, 王趁义. 滇池的富营养化现状分析及防治对策. 江苏环境科技, 2000, 13 (4): 27
- 陈文新主编. 土壤与环境微生物学. 北京: 北京农业大学出版社, 1990, 75 ~ 78
- 宋建中, 于赤灵, 彭平安, 黄伟林. 珠江三角洲地区土壤与表层沉积物有机质的性质结构研究. 土壤学报, 2003, 40 (3): 335 ~ 343
- 吕俊杰, 杨浩. 水土流失对水环境影响研究进展. 土壤, 2003, 35 (3): 198 ~ 203
- 冯均必. 云南滇池流域水土流失灾害遥感调查. 遥感技术与应用, 1994, 9 (2): 26 ~ 29
- 许宏斌. 世界银行贷款项目中的滇池流域工业污染控制. 云南环境科学, 1996, 15 (3): 24 ~ 26
- Zhang H, Zhang GL. Microbial biomass carbon and total organic carbon of soils as affected by rubber cultivation. Pedosphere, 2003, 13 (4): 353 ~ 357
- 朱广伟, 陈英旭. 沉积物中有机质的环境行为研究进展. 湖泊科学, 2001, 13 (3): 272 ~ 279
- 孙维侠, 史学正, 于东升. 土壤有机碳的剖面分布特征及其密度的估算方法研究. 土壤, 2003, 35 (3): 236 ~ 241

CONTENT AND DISTRIBUTION OF ORGANIC MATTER IN DIANCHI SEDIMENT

PENG Dan JIN Feng LV Jun-Jie LI Ren-ying YANG Hao

(Institute of Soil Science, Chinese Academe of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract Through organic matter analysis of about 118 samples of sediment from the Dianchi Lake, it was found out that the content of organic matter ranged from 40.00g/kg to 90.00g/kg. Based the charts of 0~5cm, 5~10cm and 10~20cm sediment layers with GIS, it could be inferred that the organic matter content of Caohai was evidently higher than that in Waihai; the organic matter content of Waihai declined with the depth. A further explanation will be explored of the relationship between organic matter content and environment. The findings of the research will serve as basic reference for pollution control in the Dianchi Lake.

Key word Dianchi Lake, Organic matter, Content, Vertical distribution, Spatial distribution