

# 艾溪湖沉积物中色素对外源有机污染的响应

张海荣<sup>1</sup>, 贾玉连<sup>2</sup>, 刘厚仙<sup>2</sup>, 胡忠<sup>2</sup>, 庄检平<sup>2</sup>

(1 惠阳中山中学, 广东 惠州 516211; 2 江西师范大学 地理环境学院, 江西 南昌 330026)

**摘要:** 对艾溪湖沉积物柱样中叶绿素、胡萝卜素、颤藻黄素、蓝藻叶黄素等色素进行了提取, 用紫外可见分光光度法进行测定, 根据各色素所代表的环境意义, 揭示了艾溪湖 300 多年来的环境变化等特征。结果表明, 近几十年来, 艾溪湖一直处于富营养化状态, 湖泊正在萎缩, 其富营养化态势与该地区 20 世纪 50 年代后的一系列人类活动密切相关。

**关键词:** 艾溪湖; 外源输入; 色素; 湖泊初级生产力; 指数增加

**中图分类号:** X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)01-0083-04

## Feedback of Pigments in Sediment of Aixi Lake to Exogenous Organic Matter

ZHANG Hai-rong<sup>1</sup>, JIA Yu-lian<sup>2</sup>, LIU Hou-xian<sup>2</sup>, HU Zhong<sup>2</sup>, ZHUANG Jian-ping<sup>2</sup>

(1 Huiyang Zhongshan Middle School, Huizhou 516211, Guangdong, China;

2 School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330026, Jiangxi, China)

**Abstract** Several pigments in Aixi Lake including chlorophyll, carotenoids, oscillaxanthin and myxoxanthophyll are extracted and tested, and their contents in lake sediments are calculated. The evolution of Aixi Lake's environment is discovered by means of the environmental meaning that every pigment stands for. The results show that Aixi Lake becomes seriously eutrophic, it is in shrinking stage for several decades, which is tied up with many human activities of this region since 1950 s.

**Key words:** Aixi Lake; external source import; pigment; elementary productivity of lake; exponent increase

## 0 引言

湖泊沉积物有机质与色素, 作为流域与湖泊古初级生产力的反映, 在湖泊沉积环境演变研究中, 是一种有效的代用指标, 得到较为广泛的应用<sup>[1-5]</sup>。同时, 它们具有相对较为复杂的内、外源组成与沉积后期分解速度不等等因素, 因此, 作为湖泊富营养化过程的指示指标, 受到研究者的重视<sup>[6-8]</sup>。

笔者以近 30 年来逐渐富营养化的南昌东部的艾溪湖开展表层底泥与浅孔柱状样的色素记录研究, 通过有机质污染的输入与湖泊沉积物色素的关

系, 探讨湖泊在城市化过程中由贫营养到富营养演化中色素的响应特点。

## 1 湖泊概况

艾溪湖位于南昌东部, 赣江南支东南岸, 系赣江废弃古河道积水而成的湖泊。南北长约 5 km, 东西宽约 0.8~1.4 km。商周时期已经成湖, 太平天国时期, 曾是太平天国训练水军<sup>[9]</sup>的地方。1956 年在临近赣江南支的下游建闸, 后几经围垦, 湖泊渐趋萎缩, 现仅有 4.5 km<sup>2</sup>, 平均水深 9 月至次年 3 月的枯水季节不足 2 m。20 世纪 80 年代以前, 流

收稿日期: 2007-10-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40673015)

作者简介: 张海荣(1976-), 男, 江西宁都人, 从事湖泊研究。E-mail: zhzhang57896952@126.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

域是以农耕为主的田园区,近 30 年来,随着城市的迅速扩展,逐渐由郊区变城区,目前为南昌市高新区的一部分。流域内集中了南昌市许多污染严重的工矿企业,特别是南昌钢铁厂、南昌氨厂、几家漂染厂和造纸厂,废水排放量大,并多由湖泊南部的当阳桥进入湖泊,使艾溪湖及周边地区的污染日益严重,水质不断恶化。80 年代以来,湖水已由中营养水平上升到现在的中、富营养状态,氨氮、总磷、生化需氧量、化学需氧量均已超标,铁质与氨态氮含量高,并呈现由湖北面向湖南面逐渐升高趋势。另外几个较小的排污口与湖泊北部左岸的子湖滞水区富营养化趋势也比较严重。

2 采样、实验与年代的确立

2.1 沉积年代测定

用低木底液体闪烁计数法对 3 个深度的样品进行<sup>14</sup>C 年代测定,结果表明:深度在 75 cm 的样品对应 1650 年;13.8 cm 对应 1956 年;3.6cm 对应 1998 年。根据此初步确定年代序列(图 1)。

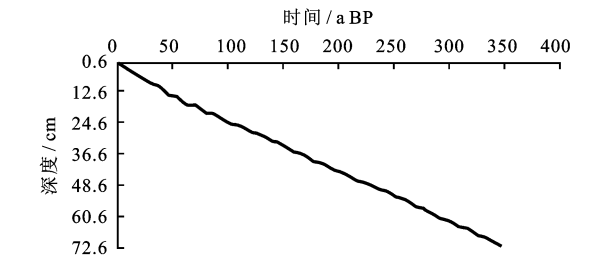


图 1 艾溪湖年代与深度关系  
Fig. 1 Age-Depth Curve of Aixi Lake

2.2 样品的采集与处理

柱状岩心是利用 Beeker 型静压式采样器在湖泊东北部采集的(图 2),钻孔进尺 81 cm,获取样心 75 cm。表层底泥是利用 2 kg 拖斗式采泥器采集的,沿着湖泊延伸方向,每隔 200 m 左右采集 1 个(图 1)。样品采集后,迅速送交实验室;样心按 0.6 cm 间隔进行分样,在烘箱 45 °C 环境下烘干。所有样品均称其干、湿质量,以计算其含水量。

2.3 样品有机质含量测定

称取 5 g 干样,用研钵碾细,焚化炉内 550 °C 灼烧 5 h,冷却后称质量,求出样品烧失量(有机质含量)。

2.4 样品中色素的提取与测定

色素含量的测试,参考文献[3, 6, 11] 的方法。根据各色素的特有波长,分别测定叶绿素及其衍生物(CD)、类胡萝卜素(TC)、颤藻黄素(Osc)和蓝藻

叶黄素(Myx)的吸光值,并计算各色素的含量。

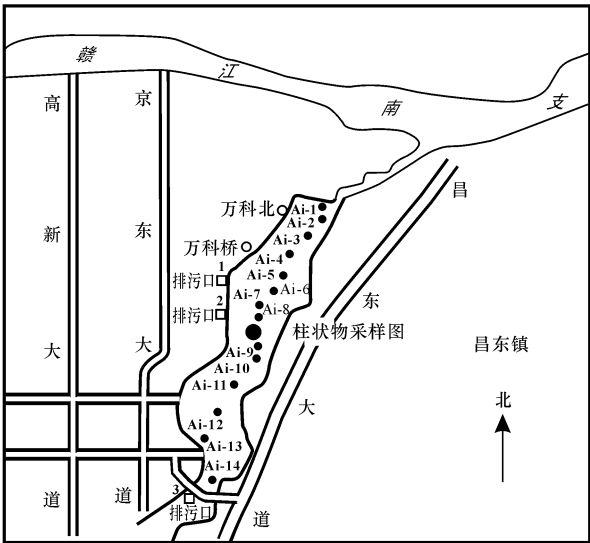


图 2 艾溪湖位置与采样  
Fig. 2 Location of Aixi Lake and Sampling Distribution

3 结果与讨论

3.1 色素表层变化特征

有机质在湖泊西北部子湖滞水区含量高,同时在排污口也很高,不过排污口 1 与排污口 3 附近水动力较强,沙质含量高,有机质增高趋势不显著,越向湖泊南部,含量也越高。色素的 CD 与 TC 也具有与有机质相同的变化趋势。揭示出湖泊上游南部最大排污口 3 是艾溪湖有机污染的外源输入口,并且 CD 与 TC 基本上也以此排污口的外源输入为主。CD/TC 质量分数比值以污染较为严重的排污口与滞水区较高,湖泊南部富营养程度加深区域较高,向北部先逐渐降低后逐渐增高,一直到湖泊北部中营养的湖区。这指示湖泊有机质以外源为主。但是湖泊狭长,且 TC 比 CD 降解速度快,在外源输入由湖泊南部向下游搬运过程中,由更多的 TC 降解造成 CD/TC 质量分数比值增加(图 3)。

Osc 与 Myx 具有相对较为相似的变化趋势。以污染较为严重的排污口与滞水区最低,中营养的湖泊东北部也较低,随着污染程度的增加,由湖泊西北部到东南区,色素含量随着增加,在污染程度进一步加剧后,色素随之增加,其中以 Osc 表现的最为显著。指示浮游生物中占主导地位的蓝藻科(蓝藻叶黄素(Myx)的生物载体)与颤藻科的 Oscillatoria 和 Arthrospira(颤藻黄素(Osc)的生物载体)都具有对外源有机污染物的输入及其造成的是

湖泊富营养化状况的良好的指示, 揭示了湖泊营养状况<sup>[10]</sup>的时空变化, 并且  $O_{sc}$  比  $Myx$  对这种环境时序更加敏感。

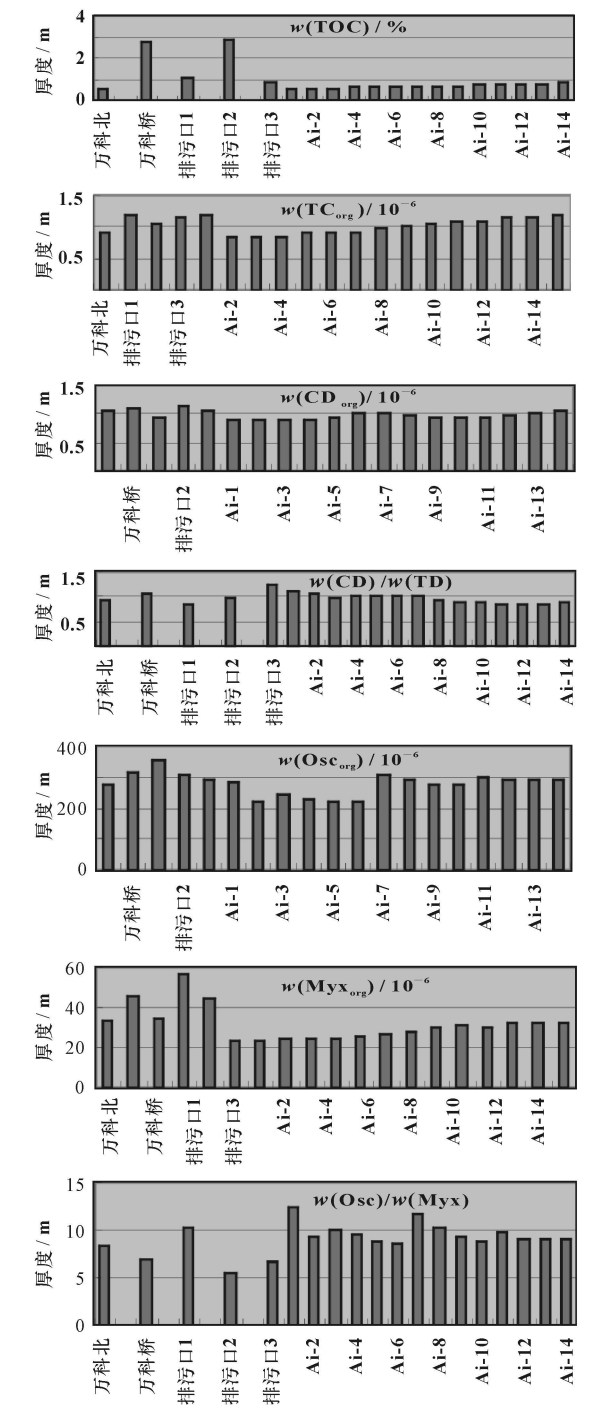


图 3 艾溪湖表层底泥色素的空间变化特征  
Fig 3 Characteristics of Pigment Indices from the Surface Sediment of Aixi Lake

3.2 色素的柱状变化特征

柱状沉积物按照颜色序列可分为 3 层: 顶部 19 cm 为灰黑至深黑色淤泥, 有机质含量高, 有臭味。

中部 40 cm 为青灰色淤泥, 底部逐渐过渡为黄褐色淤泥, 含粉砂, 厚 20 cm (图 4)。

色素与有机质的变化, 大致分为 3 个阶段:

第 1 阶段对应深度 13.8 ~ 75 cm, 对应年代为 1650 ~ 1956 年。此阶段有机质与各色素含量总体水平较低。有机质 ( $Org$ ) 质量分数平均为 6.87%;  $CD$  为  $0.0536 \times 10^{-6} org$ ,  $TC$  为  $0.173 \times 10^{-6} org$ , 而  $O_{sc}$  为  $47.4699 \times 10^{-6} org$ ,  $Myx$  为  $3.3730 \times 10^{-6} org$ ,  $CD/TC$  为 0.328,  $O_{sc}/Myx$  为 14.22。表明艾溪湖在这个时期初级生产力水平较低, 湖泊污染程度小, 沉积物有机质以内源为主。

第 2 阶段对应深度 4.2 ~ 13.8 cm, 对应年代为 1956 ~ 1998 年。对比上阶段各色素含量总体水平急剧增高, 并具有指数增加的特征。有机质 ( $org$ ) 质量分数显著增加, 平均为 9.1%;  $CD$  为  $0.491 \times 10^{-6} org$ ,  $TC$  为  $0.655 \times 10^{-6} org$ , 而  $O_{sc}$  为  $211.814 \times 10^{-6} org$ ,  $Myx$  为  $22.721 \times 10^{-6} org$ ,  $CD/TC$  为 0.962,  $O_{sc}/Myx$  为 9.368。比较高的  $CD/TC$  值, 指示沉积物有机质来源以外源为主, 湖泊污染程度急剧加深; 而较高的  $O_{sc}$  与  $Myx$ , 指示湖泊浮游藻类繁盛, 外源营养盐诱导下的湖泊初级生产力增高。从下到上  $O_{sc}/Myx$  则逐渐减小, 表明湖泊污染日趋加重, 富营养化加剧, 颤藻植物群生物量增加的同时, 蓝藻生物量增加的更快, 这与表层底泥所揭示的两种浮游植物群的色素分布的环境含义是一致的。

第 3 阶段对应表层深度 2.4 cm 左右, 对应年代为 1998 ~ 2006 年。有机质与各色素含量都有所降低, 表明外源有机污染输入有所遏制, 湖泊水体富营养化程度有所缓解, 但仍然保持在较高水平。可能与近 3 ~ 5 年来政府加强了截污与入湖污水处理等措施, 较为有效地控制了艾溪湖周边地区污水的排放, 关闭了一些污染比较大的印染厂、漂染厂, 并且南昌洪都钢铁厂生产向外流域迁移等有关。湖中以有机质、 $CD$ 、 $TC$ 、 $O_{sc}$  及  $CD/TC$  质量分数比降低最为显著, 而  $Myx$  只是波动降低。有机质、 $CD$ 、 $TC$  降低直接与外源输入的减少有关, 而且  $CD/TC$  的降低标志着内源色素的比例有所上升,  $O_{sc}/Myx$  也显著降低。

就整个剖面说,  $O_{sc}/Myx$  值一直较高, 指示颤藻科的 *Oscillatoria* 和 *Arthrospira* 属是浮游植物群的优势种群。随着湖泊富营养化加深,  $O_{sc}/Myx$  比值逐渐减小, 说明蓝藻是相对越来越显著的种群。

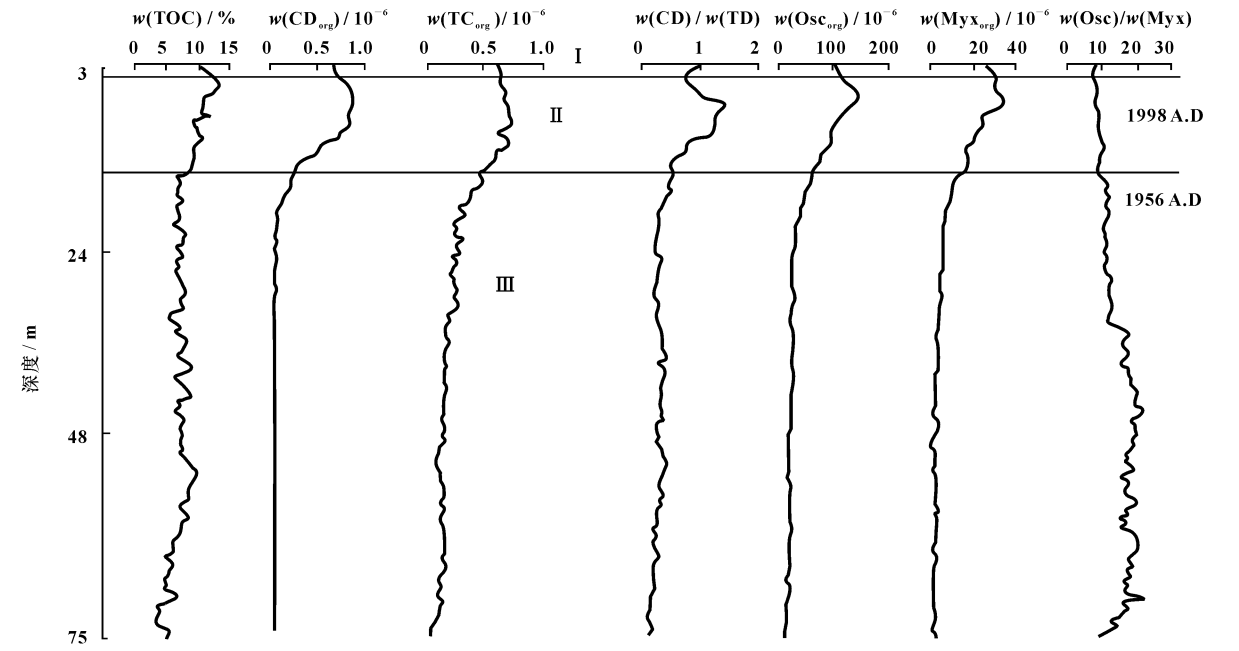


图 4 艾溪湖沉积剖面色素指标特征

Fig. 4 Characteristics of Pigment Indices of Sedimentary Core from Aixi Lake

参考文献:

[ 1 ] Harris P G, Zhao M, Rosell Mele A. Chlorin Accumulation Rate as a Proxy for Quaternary Marine Primary Productivity [ J ]. Nature, 1996, 383: 63-65.

[ 2 ] Zullig H. Ecological and Paleoenvironmental Information Using TC and CD Index[ J ]. Limnology and Oceanography, 1981, 26: 970-976.

[ 3 ] 吴敬禄, 蒋雪中, 夏威夷. 云南程海近 500 年来湖泊初始生产力的演化[ J ]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(2): 95-98.

[ 4 ] 薛 滨, 潘红玺, 夏威夷. 历史时期希门错湖泊沉积色素记录的古环境变化[ J ]. 湖泊科学, 1997, 9(4): 295-299.

[ 5 ] 瞿文川, 吴瑞金, 王苏民. 近 2600 年来内蒙古居延海湖泊沉积物的色素含量及环境意义[ J ]. 沉积学报, 2000, 18(1): 13-17.

[ 6 ] 王义壮, 邱海鸥, 彭爱华. 涨渡湖沉积物中色素的测定和环境意义研究[ J ]. 分析实验室, 2006, 25(5): 31-35.

[ 7 ] 贾东国, 彭平安. 珠江口近百年以来富营养化加剧的沉积记录[ J ]. 第四纪研究, 2002, 22(2): 158-165.

[ 8 ] 杨 明, 邱海鸥, 汤志勇. 东湖沉积物中色素的环境意义研究[ J ]. 环境科学与技术, 2005, 28(3): 48-51.

[ 9 ] 张 琳, 王咨臣, 彭适凡. 南昌史话[ M ]. 南昌: 江西人民出版社, 1980.

[ 10 ] Swain B. Measurement and Interpretation of Sedimentary Pigment[ J ]. Freshwater Biology, 1985, 15: 53-75.

欢迎订阅 2008 年《吉林大学学报(地球科学版)》

《吉林大学学报(地球科学版)》是教育部主管、吉林大学主办的地球科学类综合性学术期刊。其前身是《长春科技大学学报》(1998 年前是《长春地质学院学报》), 主要刊登地球科学各领域的最新科研成果。

《吉林大学学报(地球科学版)》为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊, 现为美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《剑桥科学文摘: 自然科学》(CSA) 等检索文献源和《中国科学期刊文摘数据库》等源刊。

《吉林大学学报(地球科学版)》国内外公开发行, 双月刊, 单月 26 日出版, A4 开本, 168 页, 定价 16 元, 全年 96 元。国内统一刊号 CN 22—1343/P, 国际标准刊号 ISSN 1671—5888。国内由吉林省报刊发行局发行, 邮发代号 12—22; 国外由中国国际图书贸易总公司发行, 发行代号 BM5074。

欢迎广大读者到当地邮局(所)订阅。