

## 香溪河库湾春季水华期间可溶性碳动力学研究

叶麟<sup>1,2</sup> 韩新芹<sup>1,2</sup> 蔡庆华<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所,淡水生态与生物技术国家重点实验室,武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院,北京 100039)

**摘要:**2005 年 2 月 23 日—4 月 28 日,对三峡水库香溪河库湾内一样点进行每天采样,监测水体中叶绿素 *a* 与可溶性碳(DOC)浓度的变化,研究在春季水华暴发期间 DOC 的动力学特性。监测结果表明,随着时间的推移,叶绿素 *a* 有逐渐升高的趋势。其间共暴发了两次水华,其中第一次历时较短,第二次历时较长。DOC 的变化趋势与叶绿素 *a* 基本吻合。整个暴发过程中的叶绿素 *a* 与 DOC 的回归分析表明,二者具有较好的相关性( $R^2 = 0.62$ ),但第一次暴发过程中的相关性很高( $R^2 = 0.72$ ),而第二次暴发过程中的相关性较低( $R^2 = 0.30$ )。根据天然水体中 DOC 来源的主要途径,推测在第一次暴发过程中 DOC 的来源主要是水体中藻类的光合作用的代谢产物,而第二次暴发过程中 DOC 的来源主要是水体中藻类死亡腐烂而产生的有机物质。

**关键词:**可溶性碳(DOC);叶绿素 *a*;水华;香溪河库湾;三峡水库

**中图分类号:**Q178.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3207(2006)01-0080-04

可溶性碳(DOC)一直是国内外生态学研究的热点。水体中 DOC 按其光学特性可以分为无色 DOC 和有色 DOC。无色 DOC 的主要组成是碳水化合物和氨基酸,其主要来源是浮游植物光合作用过程中释放的胞外 DOC<sup>[1]</sup>;有色 DOC 的成分主要是棕黄酸和腐殖酸,它们主要是水体中木质素和纤维素分解而来<sup>[2]</sup>。DOC 能够改变水体的物理、化学和生物学特性,具有重要的生态学意义:它能够通过吸收水体中的太阳辐射,对水生生物提供 UV-B 的保护<sup>[3-5]</sup>以及降低水体的初级生产力<sup>[6]</sup>;与此同时,水体中 DOC 的含量会影响水下光场,直接或间接的影响水体中各类生物的生存和发展,从而影响整个水体的生态系统<sup>[7]</sup>。

国外对 DOC 有着广泛的研究,早在 1991 年 David 等人<sup>[8]</sup>研究了春季水华暴发过程中 DOC 的变化规律。而国内对水体中 DOC 研究的报道较少,对水华暴发过程中 DOC 变化规律的研究则迄今未见报道。由于香溪河的营养本底较高,三峡水库蓄水后的第二年春季就大面积暴发了藻类水华。为了研究 DOC 与藻类水华暴发之间的关系,于 2005 年 2 月

23 日—2005 年 4 月 28 日,对香溪河库湾一样点进行每天监测,研究春季水华暴发期间 DOC 的动力学特性。

### 1 材料与方法

**1.1 研究地点** 香溪河是三峡水库湖北库区内第一大支流,也是最靠近三峡大坝的较大河流,它发源于湖北省西北部神农架林区,流经兴山县、秭归县,于香溪镇注入长江。香溪河干流长 94km,流域范围 110°25'—111°06',北纬 30°57'—31°34',流域面积 3099km<sup>2</sup>。三峡水库蓄水后,从秭归县香溪镇至兴山县峡口镇河段的水位随之升高,水流减缓,水环境及其中的水生生物因蓄水而发生了显著的变化。根据 2004 年春季水华暴发情况,在当时藻类水华暴发最严重的官庄坪进行连续监测采样。该采样点位于距离香溪河河口 5km 左右(图 1)。

**1.2 叶绿素 *a* 及 DOC 的测定** 为了减少因时间不同而带来的误差,每天的采样时间一般控制在早上 10:00—11:00。分别由采水器采集水下 0.5m 处水样,在根据藻类密度的情况,由手动真空泵现场过

收稿日期:2005-08-31;修订日期:2005-09-30

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-SW-111);国家自然科学基金重点项目(30330140);国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412300)资助

作者简介:叶麟(1980—),浙江衢州人;博士生。主要从事 GIS 和生态系统模型研究。邵晓阳、徐耀阳、贾兴焕、周淑婵等先生在实验过程中给予帮助,谨致谢忱

通讯作者:蔡庆华, E-mail: qhcai@ihb.ac.cn

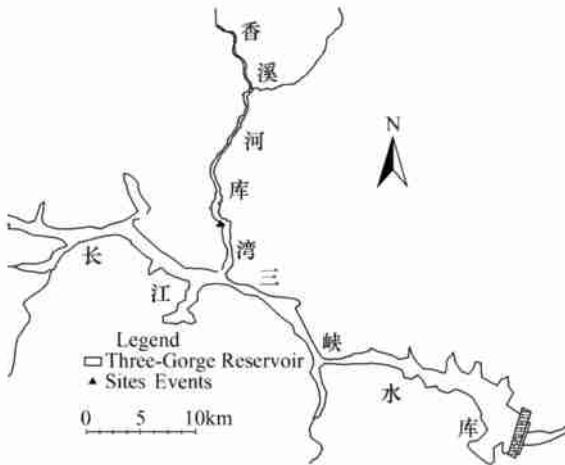


图1 采样点在香溪河库湾中的位置

Fig. 1 The location of sampling site in the Xiangxi Bay

滤 300—600mL 水样 (0.8 $\mu$ m), 过滤后的滤膜放入 2mL 离心管, 冰盒低温保存带回实验室分析, 由 Lorenzen 法测定叶绿素含量<sup>[9]</sup>。

取一定量水样由预先处理过的 WaterMan GF/F 滤膜过滤 (450 $\mu$ m, 4h), 加盐酸酸化至 pH < 2 低温保存, 在实验室进行分析。所有水样均由岛津公司 TOC-V CPH+ASFV 总有机碳分析仪进行分析, 由于水体中的 IC 含量较高, DOC 的测定采用 NPOC 的方法进行定法, 即通过曝气 5min, 将酸性过滤后水样中的无机碳驱除净后测定 TOC 的含量即为水体中 DOC 的浓度。对所有水样重复进行测定, 测定值的变异系数 (CV) 设为 2%, 误差超过此范围仪器自动重复分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 表层叶绿素 a 的变化规律

整个连续监测时间, 香溪河库湾官庄坪采样点叶绿素 a 的变化幅度很大 1.65—101.04 $\mu$ g/L (图 2), 数据的标准差为 22.97。其整体趋势是随着时间的推移水体中叶绿素 a 的浓度逐渐升高。其中有两次暴发性的升高: 第 1 次峰值出现在第 19—23d, 水体中的叶绿素 a 含量从 10.49 $\mu$ g/L (17d) 上升到 52.72 $\mu$ g/L (19d) 之后在 22d 时回落到 12.78 $\mu$ g/L 第 23d 又上升到 50.42 $\mu$ g/L。第 2 次峰值的历时较长, 从第 38d 开始水体中叶绿素 a 的含量基本上是持续增高, 在第 44d 的时候达到高峰 (101.04 $\mu$ g/L)。之后叶绿素 a 浓度开始逐步下降。根据春季水华暴发期间, 叶绿素 a 浓度的变化规律, 本次春季水华大致可以分为两

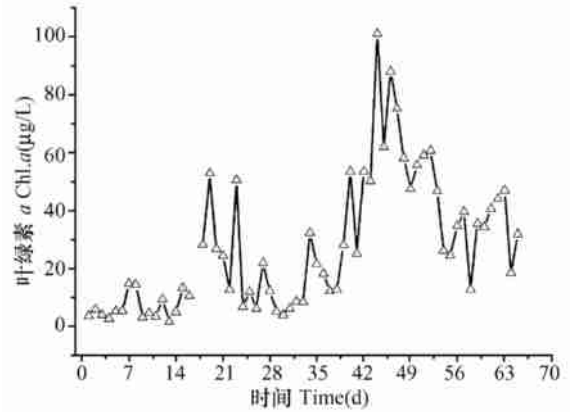


图2 香溪河库湾叶绿素 a 浓度变化规律

Fig. 2 The dynamic chlorophyll a in the Xiangxi Bay

个阶段: 第一阶段 2005 年 2 月 23 日—3 月 28 日; 第二阶段 2005 年 3 月 29 日—4 月 28 日。

### 2.2 表层 DOC 的变化规律

由图 3 可知, 水体中 DOC 浓度的变化具有一定的规律性。在整个监测的过程中, 随着时间的推移, 水体中 DOC 的浓度有逐步上升的趋势, 在其变化的初级阶段, 出现一个比较高的峰值, 而在监测时间的后期, DOC 的浓度一直维持在比较高的水平。比较图 2 和图 3, 可以看出, 在监测的前期 (第 1—33d), DOC 的变化趋势与叶绿素 a 的变化趋势存在比较高的一致性。而在后期 (第 33d 以后) 水体中 DOC 浓度一直维持在一个较高的水平, 而叶绿素 a 的浓度却有较大的波动。

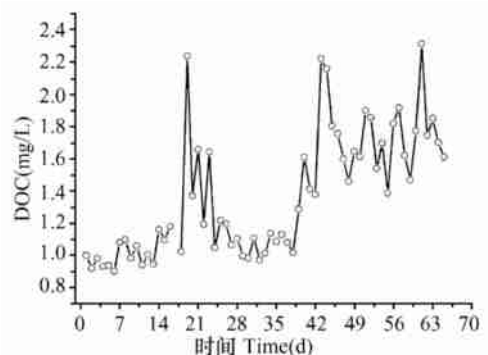


图3 香溪河库湾 DOC 浓度变化规律

Fig. 3 The dynamic concentration of DOC in the Xiangxi Bay

### 2.3 叶绿素 a 与 DOC 浓度相关性研究

从整体上看, 在整个水华监测过程中水体中 DOC 的浓度和叶绿素 a 具有较好的相关性 ( $R^2 = 0.62$ ) (图 4)。但分别比较图 5-A 和 5-B, 结果表明在第一阶段中, DOC 的浓度与叶绿素 a 的相关性很

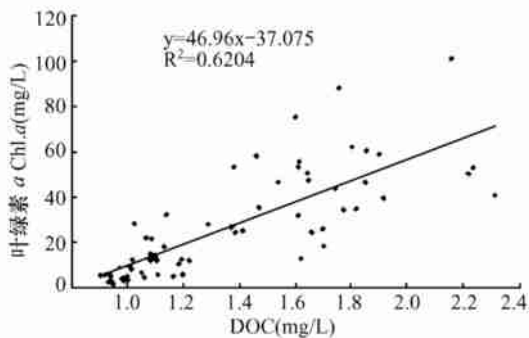


图4 香溪河库湾 Chl. *a* 与 DOC 浓度回归分析

Fig. 4 Regression analysis of the concentration of chlorophyll *a* and DOC in the Xiangxi Bay

高 ( $R^2 = 0.72$ ); 然而, 在第二阶段, DOC 的浓度与叶绿素 *a* 的相关性很低 ( $R^2 = 0.30$ ).

有研究认为, DOC 与叶绿素 *a* 之间的关系不是很明显, 认为 DOC 不是藻类直接分泌到水体中

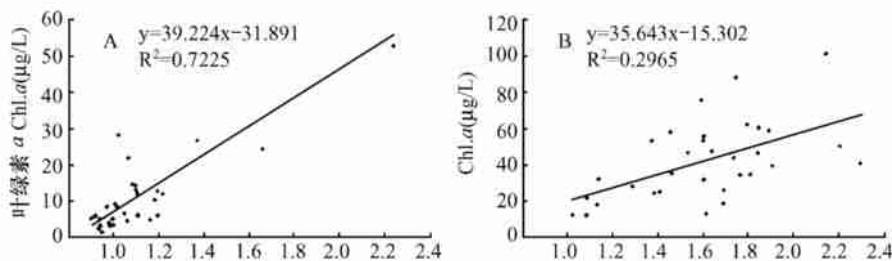


图5 不分阶段 Chl. *a* 与 DOC 浓度回归分析

Fig. 5 Regression analysis of chlorophyll *a* and DOC at different stages. A: the first stage; B: the second stage.

## 2.4 结论

本次连续监测的结果表明, 在水体中浮游植物密度较低时, DOC 浓度的变化是受水体中叶绿素 *a* 的变化的影响, 此时浮游植物光合作用分泌的胞外 DOC 是水体中 DOC 的主要来源。而当水体中浮游植物的密度较高时, DOC 浓度与水体中叶绿素 *a* 的浓度基本不相关, 推测此时水体中 DOC 的来源主要是浮游生物死亡腐烂释放出来的有色 DOC。

## 参考文献:

- [1] Nalewajko C, Marin L. Extra-cellular production in relation to growth of four planktonic algae and of phytoplankton populations from Lake Ontario [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1969, **47**:405—413
- [2] Engstrom D R. Influence of vegetation and hydrology on the humus budgets of Labrador lakes [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1987, **44**:1306—1314
- [3] Curtis P J, Adams H E. Dissolved organic matter quantity and quality from freshwater and saltwater lakes in east-central Alberta [J]. *Biogeochemistry*, 1995, **30**:59—76
- [4] Schindler D W, Curtis P J. The role of DOC in protecting freshwaters

的<sup>[10]</sup>, 而主要是浮游植物在营养缺乏的条件下向水体中分泌的<sup>[11,12]</sup>。本次监测的结果显示, 在第一阶段, 水体中 DOC 与叶绿素 *a* 具有很好的相关系数, 从 DOC 几个主要来源途径分析, 推测此时水体中叶绿素 *a* 的主要贡献就是藻类光合作用代谢的产物。而在第二个阶段, 水体中 DOC 与叶绿素 *a* 的相关系数很低, 推测水体中的 DOC 的主要来源并不是藻类光合作用直接分泌的产物, 主要可能是藻类大量繁殖后, 水体中死亡的藻类在腐烂过程中所释放的产物。在水华大规模暴发期间 DOC 与叶绿素 *a* 结果与 Neslon 等人的研究结果是一致的<sup>[10]</sup>。根据相关的文献报道, 这一类 DOC 的主要组成为棕黄酸和腐殖酸<sup>[2]</sup>, 一般称为有色 DOC, 它是一种具有颜色的物质, 可以通过分光光度的方法测定<sup>[13]</sup> 或者通过卫片的不同波段的数据进行估算<sup>[14]</sup>。

subjected to climatic warming and acidification from UV exposure [J]. *Biogeochemistry*, 1997, **36**(11):1—8

- [5] Schindler D W, Curtis P J, Parker B R, et al. Consequences of climate warming and lake acidification for UV-B penetration in North American boreal lakes [J]. *Nature*, 1996, **379**:705—708
- [6] Jackson T A, Hecky R E. Depression of primary productivity by humic matter in lake and reservoir waters of the boreal forest zone [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, **37**:2301—2317
- [7] Yang D T, Chen W M. The temporal and spatial distribution of dissolved organic carbon in lakes at the lower reach of Chang Jiang River [J]. *Environmental pollution and prevention*, 2004, **26**(4):275—278 [杨顶田, 陈伟明. 长江下游湖泊中可溶性有机碳的时空分布. *环境污染与防治*, 2004, **26**(4):275—278]
- [8] David L K, Yoshimi S, Christopher G, et al. High turnover rates of dissolved organic carbon during a spring phytoplankton bloom [J]. *Nature*, 1991, **352**(15):612—614
- [9] Huang X F, Chen W M, Cai Q M. Survey, observation and analysis of lake ecology [M]. Beijing: Chinese standardization publisher, 1999, 77—79 [黄祥飞, 陈伟明, 蔡启铭. 湖泊生态调查观测与分析, 北京: 中国标准出版社, 1999, 77—79]
- [10] Nelson N B, Siegel D A, Michaels A F. Seasonal dynamics of colored

- dissolved material in the Sargasso Sea [J]. *Deep Sea Research Part 1: Oceanographic Research Papers*, 1998, **45**(6): 931—957
- [11] Rochelle-Newall E J, Fisher T R. Chromophoric dissolved organic matter and dissolved organic carbon in Chesapeake Bay [J]. *Marine Chemistry*, 2002, **77**: 23—41
- [12] Malinsky-Rushansky N Z, Lengrand C. Excretion of dissolved organic carbon by phytoplankton of different sizes and subsequent bacterial uptake [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, **132** (1—3): 249—255
- [13] Sasaki H, Miyamura T, Saitoh S, *et al.* Seasonal variation of absorption by particles and colored dissolved organic matter (CDOM) in Funka Bay, southwestern Hokkaido [J]. *Japan. Estuarine, Coastal and Shelf Science* (In Press)
- [14] Kutser T, Pierson D C, Kallio K Y, *et al.* Mapping lake CDOM by satellite remote sensing [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, **94**(4): 535—540

## KINETIC STUDY OF THE DISSOLVED ORGANIC CARBON IN THE XIANGXI BAY, THREE GORGE RESERVOIR REGION DURING THE SPRING BLOOM PERIOD

YE Lin<sup>1,2</sup>, HAN Xin-Qin<sup>1,2</sup> and CAI Qing-Hua<sup>1</sup>

- (1. Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences; State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology; Wuhan 430072, P. R. China;  
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

**Abstract:** Daily monitor for the chlorophyll a and dissolved organic carbon (DOC) was carried during the spring phytoplankton bloom period (22 Feb. -28 Apr., 2005). The aim of this study was to research the kinetic characteristic of DOC during the spring phytoplankton bloom. 300—600mL of water sample was filtered by the micro-filter (0.8μm) for chlorophyll a determination in the sampling boat using a hand held vacuum pump. And 60mL water sample was passed through a 25-mm diameter pre-ashed GF/F filters (450, 4hr) for DOC determination. The DOC was measured using the NPOC methods using total organic carbon analyzer (Shimadzu, TOC-V). The data of chlorophyll a showed the concentration of chlorophyll a was increased with the lapse of time, and phytoplankton bloom was observed twice. The first bloom standing a short period, and the second bloom standing a long period. The tendency of the concentration of DOC was similar to the chlorophyll a. Regression analysis showed that the concentration of DOC could explain 62% of the variability in chlorophyll a concentration in the whole monitoring period ( $R^2 = 0.62$ ). Considering the rules of the spring bloom, two stages of spring bloom were divided according the dynamics of the concentration of chlorophyll a: the first stage was ranged from Feb., 23 to Mar., 28., the second stage was ranged from 29 Mar., to Apr., 28. Regression analysis for the relationships between DOC and chlorophyll a at different bloom stages was carried out individually. The result showed that the DOC could explain 72% variability in chlorophyll a concentration at the first bloom stage ( $R^2 = 0.72$ ), and it could only explain 30% variability in the chlorophyll a concentration at the second bloom stage. According to the main source of the DOC in the natural water body, it can be deduced that the major contribute of DOC may be produced by the phytoplankton photosynthesis in the first bloom period and the major contribution of DOC may be produced by the decomposing of died algae in the second bloom period.

**Key words:** Dissolved organic carbon (DOC); Chlorophyll a; Phytoplankton bloom; Xiangxi Bay; Three Gorge Reservoir