

人工浅水湖泊高含沙补水过程中叶绿素 a 浓度的变化

骆传婷¹, 陈友媛^{1,2*}, 张超¹

(1.中国海洋大学环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 2.中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100)

摘要:在 2012 年 4 月 23 日至 26 日高含沙的黄河水向东昌湖补水期间, 分别对湖面 12 个监测点及从入湖口到出湖口的纵断面 5 个监测点同步取样、测流和测沙, 从整体到局部分析了悬浮泥沙与叶绿素 a 浓度的变化。结果表明: 补水前, 湖区叶绿素 a 平均浓度为 $4.07 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 补水后达到 $7.74 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 其中黄河补水贡献了 21.1%。在从入湖口到出湖口的纵断面中, 入湖口附近监测点 A、B 叶绿素 a 浓度增幅由大变小, 流速、悬浮泥沙均出现明显高峰, 监测点 C、D、E 依次呈现递减趋势。补水期间, 5 个纵断面监测点叶绿素 a 浓度与悬浮泥沙含量呈现极显著负相关, 相关系数达 -0.81, 而补水前后其相关系数仅在 -0.43 左右。湖面细颗粒悬浮泥沙占主导的监测点, 叶绿素 a 浓度增幅大, 反之, 粗颗粒占主导的监测点, 叶绿素 a 浓度增幅小, 故可推断悬浮泥沙对叶绿素 a 的影响表现为“高浓度粗颗粒悬浮泥沙抑制叶绿素 a 浓度的增加, 细颗粒或胶粒悬浮泥沙促进叶绿素 a 浓度的增加”, 但这种影响只在补水短期内显著。因此, 悬浮泥沙在黄河补水期间是影响叶绿素 a 浓度变化的主要水环境因素之一。

关键词: 东昌湖; 补水; 悬浮泥沙; 叶绿素 a; 同步监测

中图分类号: X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2013)09-1848-07 **doi:** 10.11654/jaes.2013.09.021

The Concentration Variation of Chlorophyll-a in Artificial Shallow Lake During High Suspended Sediment Water Supplement

LUO Chuan-ting¹, CHEN You-yuan^{1,2*}, ZHANG Chao¹

(1.College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2.Key Laboratory of Marine Environment and Ecology(Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266100, China)

Abstract: The water supplement from Yellow River to Dongchang Lake was conducted on April 23, 2012 to April 26, 2012. Sample collection, flow velocity and suspended sediment concentration monitoring were synchronously implemented at 1~12 monitoring sites in the whole lake and 5 monitoring sites(A~E) of the longitudinal profile from inlet to outlet, respectively. The variation of suspended sediment(SS) concentrations and chlorophyll-a concentrations were analyzed from the whole lake to the longitudinal profile. Average concentration of chlorophyll-a was $4.07 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ before the water supplement and $7.74 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ after the water supplement, among which the Yellow River water contributed 21.1%. Increase in chlorophyll-a concentration from big to small, velocities and SS concentrations obviously appeared the peak values in A, B, but C, D, E showed a decreasing trend in turn. Chlorophyll-a concentrations of the five monitoring sites presented highly significant negative correlation with SS concentrations by 0.81 within the process of water supplement, while only about 0.43 without water supplement. Besides, monitoring sites in the lake which SS contents dominated by fine particles, Chlorophyll-a concentrations had a large rate of increase, whereas SS dominated by coarse particles showed a small increase of chlorophyll-a concentrations. In summary, it can infer that high concentration of coarse particles of suspended sediment inhibited the increase of chlorophyll-a concentration. While, fine particles or colloidal particles of suspended sediment offered a chance to increase chlorophyll-a concentration. These effects only happened in the short-term of the replenishment. The results showed suspended sediment might be one of the main factors of water environment that affected the variation of chlorophyll-a concentrations under the water supplement period.

Keywords: Dongchang Lake; water supplement; suspended sediment; chlorophyll-a; synchronously monitoring

收稿日期: 2013-01-25

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07106-003)

作者简介: 骆传婷(1987—), 女, 湖北咸宁人, 硕士, 研究方向为环境水资源及土壤修复。E-mail: xiaopangtel@163.com

* 通信作者: 陈友媛 E-mail: youyuan@ouc.edu.cn

叶绿素a作为反映水体生化性质的综合指标^[1],与水体藻类的种类和数量密切相关,而藻类又受太阳辐射、水温、流速、营养盐和泥沙含量等众多环境因素的影响,其变化过程十分复杂。陈桥等^[2]研究了太湖地区太阳辐射、水温对叶绿素a的影响,发现光合有效辐射和水温的增加能为藻类繁殖生长提供良好的物理条件,与叶绿素a呈现极显著的相关性。王丽平等^[3]探究三峡水库蓄水后支流大宁河水华暴发期间水动力条件的影响,得出流速对藻类细胞增殖或聚集产生直接或间接的影响。Hilton等^[4]指出流速的增加缩短了藻类等浮游植物在水体的停留时间而来不及增殖,降低了浮游植物内叶绿素a的含量。Persson等^[5]通过经验模型模拟推断水体的营养水平既影响藻类等浮游植物的个体生长,也影响其种间竞争。此外,地理位置、生态环境不同的水体,不同年份、季节中,影响叶绿素a的主导因素也有差异。泥沙作为影响叶绿素a的环境因素之一,对藻类的影响可归纳为:(1)泥沙悬浮引起入射光的衰减^[6],降低藻类植物的光合作用;(2)泥沙沉降对藻类的磨蚀,削弱其与水体的水力联系^[7],阻碍藻类群落的合成;(3)泥沙悬浮和沉降减少藻类有效地稳定附着表面^[7],直接扼杀藻类在湖中的生长,因此间接影响叶绿素a的量。迄今,有关叶绿素a与泥沙相互关系的研究多选取年、季度或月份为研究时段,时限长,而短期内的研究很少见诸报道^[8-10]。本文选取人工浅水湖泊——东昌湖为研究对象,分析在黄河高含沙补水的短期过程中,悬浮泥沙、流速、叶绿素a浓度的变化规律,旨在探索动态条件下,悬浮泥沙对叶绿素a浓度变化的影响,为人工浅水湖泊水生态环境保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

东昌湖位于山东聊城,是仅次于西湖的北方最大城市湖泊。该湖环绕古城四周,分为6个湖区(I-VI),总面积为4.2 km²,库容量10×10⁶ m³以上,水深2~5 m。东昌湖与周边水系没有贯通,主要靠黄河水经四河头控制阀进入沉砂池,再由小运河汇入东昌湖,湖南部有一个热电厂的取水口。2008年—2011年,东昌湖氮磷等营养盐浓度为地表水环境质量Ⅳ类或Ⅴ类水体,为中营养或富营养状态。为保障东昌湖水量,维持东昌湖水体多种功能,恢复其正常的生态环境必须定期进行人工补水。

1.2 采样点的布置和样品的采集

东昌湖补水过程从2012年4月23日17:30开始到24日22:00结束,依次称23日为补水前、24日为补水中、25和26日为补水后。2012年4月23日和26日重复对湖面12个监测点用GPS定位,分别进行表层水样和底泥样的采集。从4月23日—25日沿入湖口至出湖口依次选取总入水口(A)、龙湾补水口(B)、湿地岛(C)、南关桥(D)和电厂取水口(E)5个纵断面监测点进行同步监测和采样。具体情况为:23日8:00到18:00每隔2 h取1次水样,由于17:30开始补水,故在18:30增加了1次采样时间;24日黎明下小雨,13点左右下大雨,于8:00—14:00每隔1 h取1次水样;25日从8:00到16:00,间隔2 h取1次水样。同步测流仅在监测点A、B、D进行。湖面12个采样点和纵断面5个采样点的布设见图1。每次采集0.5 L水样,加适量饱和碳酸镁溶液4℃低温保存,用于叶绿素a的测定。所采集水样还用于悬浮泥沙(SS)浓度分析。

1.3 样品测试和数据分析

叶绿素a的测定采用丙酮萃取分光光度法,悬浮泥沙浓度SS(Suspended sediment)测定依据《水质悬浮物的测定重量法》GB/T 11901—1989。分光光度计为普析通用生产的TU-1810型,流速用电磁式流速计(日本Alec, AEM-HR)测定。数据采用Origin 8.0和SPSS16.0软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 补水过程纵断面流速、悬浮泥沙和叶绿素a的时空变化

补水过程是指从黄河灌渠引水,经小运河,主要从总入水口进入东昌湖,还有少部分沿小运河向北从东北入水口(监测点12附近)进入东昌湖。此次补水平均流量约为15 m³·s⁻¹。4月23日—25日,A、B、D的流速、A—E的悬浮泥沙浓度、A—E的叶绿素a浓度的时空变化见图2。

2.1.1 流速和悬浮泥沙的时空变化

补水前后各监测点的流速与悬浮泥沙浓度变化规律基本一致(图2a,图2b)。总体趋势为:23日和25日流速和SS浓度均较小且稳定,24日补水阶段,A、B流速和SS急剧增加,A最大流速高达43.6 cm·s⁻¹,SS浓度高达1 320.5 mg·L⁻¹。B平均流速较A减小了10%,SS浓度峰值也迅速降低到622.9 mg·L⁻¹,降低了38.6%。在距离A约1000 m的D处平均流速则减为

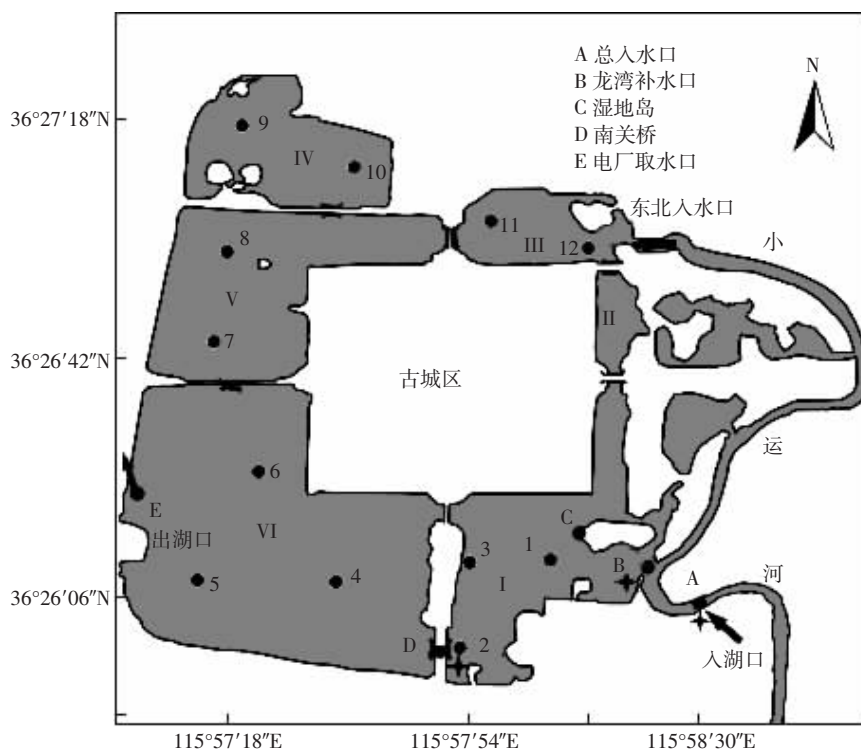


图1 东昌湖湖区分布及采样点布设示意图

Figure 1 Schematic map of lake zones and sampling sites in the Dongchang Lake

$4.2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, SS 平均浓度也减为 $18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。流速和SS 剧变仅发生在 A 和 B 处,至 D 处变化很小,表明黄河补水过程对流速和 SS 浓度的影响范围有限,主要局限于补水口附近区域,至 D 处补水影响已经很小。

2.1.2 叶绿素 a 浓度的时空变化

对比分析纵断面 5 个监测点补水前后叶绿素 a 的浓度变化规律(图 2c)可知:A—E 处补水结束后叶绿素 a 的浓度较补水前有小幅上升或持平,其中流速和 SS 出现剧变的 A 和 B 处,叶绿素 a 浓度同样变化显著,补水前后叶绿素 a 均稳定在 $2 \sim 4 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的较低浓度下,补水期间增加幅度呈现明显的先增后减趋势,最大值分别达到 8.87 、 $8.98 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,平均浓度较补水前分别增长 0.7 和 1.3 倍;C 属特殊变化点,补水前叶绿素 a 的平均浓度高于补水中和补水后,达到 $10.73 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。补水开始后迅速下降,其后变化趋势与 A、B 相同,补水结束后浓度稳定在 $4 \sim 5 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;D 和 E 属平稳变化的点,整个过程中叶绿素 a 波动小,始终稳定在 $4.5 \sim 7.6 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的范围。

2.2 补水前后整个湖区叶绿素 a 与 SS 浓度的变化

4 月 23 日和 26 日在整个湖区布设了 12 个监测点,补水前后叶绿素 a 与悬浮泥沙的时空变化规律见表 1。叶绿素 a 补水前平均浓度为 $4.07 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,补水

后为 $7.74 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,补水后较补水前增加了 90%。SS 补水前的平均浓度为 $7.78 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,补水后为 $8.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,补水前后变化不大,上升幅度仅为 6%。补水后,叶绿素 a 浓度在以对流为主的湖区 I 的监测点 1、2、3 和湖区 III 的监测点 12 增加幅度明显高于以扩散、弥散运动为主的其他湖区其他监测点,增幅达到 102%~210%。SS 浓度则在监测点 1、2、3 和 12 减少,在其他监测点均有增加,增幅和减幅依次为 22%~66%、19%~135%

3 讨论

3.1 黄河补水对叶绿素 a 浓度增加的贡献率

东昌湖的年水量平衡状况是,黄河灌溉补水量为 1200 万 m^3 ,谭庄水库补水 200 万 m^3 ,降雨直接补给 250 万 m^3 ,电厂每天连续取水,年取水量是 1000 万 m^3 ,蒸发量为 350 万 m^3 ,渗漏量是 300 万 m^3 。计算黄河补水对东昌湖区叶绿素 a 浓度增加的贡献率时,仅考虑黄河补水量和电厂每天取水量。取本次黄河补水量为 200 万 m^3 ,计算得到本次黄河补水对整个湖区叶绿素 a 浓度增加的贡献率。首先计算出本次补水增加的叶绿素 a 的量为 ΔM_H ,然后计算整个湖泊补水前后叶绿素 a 的总增加量 ΔM_T ,最后用前者比后者得到

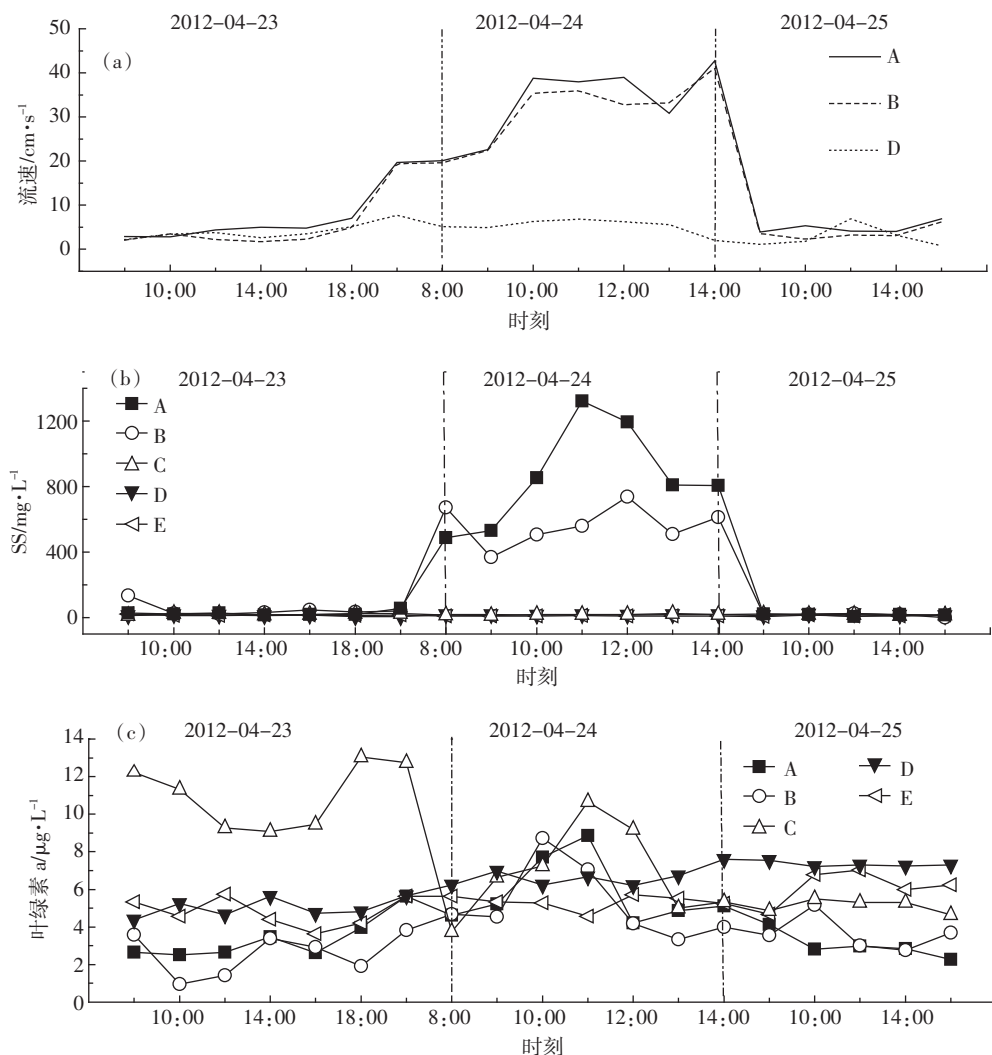


图 2 补水过程纵断面流速、悬浮泥沙浓度及叶绿素 a 浓度的时空变化

Figure 2 The temporal and spatial variation of flow velocities, suspended sediment concentrations and chlorophyll-a concentrations at longitudinal profile monitoring sites in the water supplement period

此次黄河高含沙补水对整个湖区叶绿素 a 浓度增加的贡献率为 21.1%。具体计算式如下。

$$\Delta M_T = (C_2 H_2 - C_1 H_1) S \quad (1)$$

$$\Delta M_H = Q_I C_I - Q_O C_O \quad (2)$$

$$\eta = (\Delta M_H / \Delta M_T) \times 100\% \quad (3)$$

式中: ΔM_H 为补水给整个湖区带来的叶绿素 a 的增加量, kg; ΔM_T 为整个湖区叶绿素 a 的总增加量, kg; C_1 、 C_2 分别为补水前、补水后整个湖区叶绿素 a 的平均浓度, 依次为 4.07 、 $7.74 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; H_1 、 H_2 分别为补水前、补水后整个湖区的平均水深, 分别为 2.50 、 2.86 m ; S 为湖区总面积, 为 $4.2 \times 10^6 \text{ m}^2$; Q_I 、 Q_O 分别为流入、流出湖区的补给水量, 依次为 2×10^6 、 $1.95 \times 10^5 \text{ m}^3$; C_I 、 C_O 分别为湖区进湖口、出湖口处的叶绿素 a 浓度, 依次为 5.80 、 $5.25 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; η 为黄河补水对整个湖区叶

绿素 a 浓度增加的贡献率。

计算结果表明, 补水源中含有叶绿素 a 是导致湖区叶绿素 a 浓度增加的原因之一。

3.2 悬浮泥沙对叶绿素 a 浓度的影响

进入东昌湖的补水, 受过流断面突然增大的影响, 流速突降, 水流所携带的泥沙因流速降低而逐渐沉降。

(1) A 和 B 流速较大, 补水量大, 补充的叶绿素 a 多, 同期监测结果表明, 补水和降雨径流使 A、B 中总磷含量迅速增加分别为 18.9 和 7.9 倍, 为湖泊藻类的生长提供了丰富的物质基础, 这些都促进了叶绿素 a 浓度的增加。同时大流速增大了悬浮泥沙之间碰撞的几率, 使得泥沙发生絮凝而沉淀^[11], SS 浓度迅速下降。补水过程中, 水流和悬浮泥沙不断冲刷磨蚀藻类组

表 1 补水前后整个湖区叶绿素 a 和悬浮泥沙的时空变化规律

Table 1 The temporal and spatial concentration variation of chlorophyll-a and suspended sediment before and after the water supplement in the whole lake

湖区监测点编号	2012-04-23(补水前)		2012-04-26(补水后)		叶绿素 a 浓度变化/ %	SS 浓度变化/ %
	Chla/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	SS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Chla/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	SS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$		
1	2.73	8.7	5.52	5.5	102	-37
2	2.76	9	8.56	7	210	-22
3	3.06	19	7.68	6.5	151	-66
4	3.44	7.4	6.82	9.5	98	28
5	4.5	7.2	7.47	8.6	66	19
6	4.4	5	7.45	7.3	69	46
7	3.84	3	7.37	7	92	133
8	4.7	4.9	7.32	11.5	56	135
9	5.05	5.2	7.43	8.7	47	67
10	5.49	4.8	9.6	9	75	88
11	4.63	7.1	8.78	10	90	41
12	4.22	12	8.85	8.5	110	-29
平均值	4.07	7.78	7.74	8.26	90	6

织,水体光合有效辐射衰减,使湖水的透光性降低,藻类因光合作用受阻,生长被抑制,这与何文珊等^[12]提出的“高含量悬浮泥沙抑制藻类生长”的观点相同。故补水过程中 A、B 处叶绿素 a 浓度没有因持续补水不断升高,增幅由大逐渐变小。

(2)C 的地理环境特殊,处于湖中的小岛,岛上不仅种植了大量的绿色植物,还有散养的家禽,周围水体有水产养殖,会不定期的排放大量有机物,为水体中藻类等提供营养物质,这些都是造成叶绿素 a 本底浓度明显高于其他监测点的原因。补水期间,由图 2 流速和 SS 变化分析可知,补水到达 C 处时,影响急剧减弱,补水增加的叶绿素 a 少,不足以补偿由补水和降雨径流带来的 SS,一定程度上抑制了藻类的生长,因而出现在从补水前到补水开始叶绿素 a 浓度明显由高值到低值的下降过程。随着补水的进行,SS 不断沉降,抑制作用削弱,补水带入的叶绿素 a 使得其浓度重新小幅升高。但由于所处环境封闭,短期内难以恢复到补水前的状态,补水结束后叶绿素 a 浓度仍低于补水前。

(3)D 和 E 受补水和降雨的影响都很小,而且 SS 和流速均未出现大的波动,补水阶段及补水后叶绿素 a 呈缓慢增加的趋势。

在以对流为主的湖区,大部分水流程经总入水口进入湖区 I,少部分沿小运河进入湖区 III。监测点 1、2、3、12 因补水源携带的叶绿素 a 浓度高,直接补给的叶绿素 a 多于扩散、弥散为主的湖区其他监测点。含

沙量高,且补水源中的悬浮泥沙粒径 $<0.006\text{ mm}$ 。同期监测结果表明,湖区 I 的监测点 1、2、3 沉积物主要以粒径 $<0.02\text{ mm}$ 的细颗粒为主,而其他湖区监测点,以粒径 $>0.02\text{ mm}$ 的粗颗粒为主,故可知对流区补水期间细颗粒的 SS 浓度更高。由于细颗粒比表面积大,在沉降前能为藻类生长提供附着表面,部分更小的胶体颗粒则可吸附水体中的营养物质供给藻类生长,细颗粒浓度高的监测点叶绿素 a 浓度增长也高。此外,对流区流速变化大,细颗粒泥沙间不断发生絮凝沉降,水体得以净化,湖水透明度增加,进而促进藻类等浮游植物的光合作用而产生更多的叶绿素 a,故 SS 浓度下降的同时,叶绿素 a 浓度也会增大。在以扩散、弥散为主的湖区,受补水的影响小且滞后,直接补给的叶绿素 a 少。流速小,补水源中只有小部分的细颗粒或胶体进入,难以沉降,因而这些湖区监测点 SS 浓度不降反升。SS 浓度升高,降低湖面的透光性,减损进入水体的入射光,对藻类植物的生长不利,也会抑制叶绿素 a 浓度的增加。补水期间,降雨径流给整个湖区带入一部分粗颗粒,粗颗粒在沉降过程中冲刷磨蚀藻类植物的作用强于细颗粒,且比表面积小,提供藻类生长的附着表面有限,这些都可能抑制叶绿素 a 浓度的增加。就对流区而言,补水影响远大于降雨径流,而对扩散、弥散区,降雨带入淡水和粗颗粒削弱本就有限的补水补给,这也是叶绿素 a 浓度的增加幅度小的原因之一。

综上所述,动态补水过程中,SS 是造成叶绿素 a

浓度变化的一个重要因素,粗颗粒悬浮泥沙抑制叶绿素a浓度的增加,细颗粒或胶粒悬浮泥沙促进叶绿素a浓度的增加。

3.3 补水过程纵断面叶绿素a与SS的相关性

黄河补水期间,从纵断面监测点采集19个样品,并对其叶绿素a与SS浓度进行相关性检验,得出在0.01的水平上两者呈现极显著负相关,相关系数达到-0.81,而补水前后相关性显著下降,相关系数仅在-0.43左右,可见补水的动态过程加强了叶绿素a和SS的关联。东昌湖水位低,人工补给携带大量泥沙的黄河水,带来的脉冲使湖水处于不稳定的环境,流动使浮游植物光生境遭受破坏^[13],SS浓度也随之增高。高浓度的SS又会抑制浮游植物的生长,故补水期间叶绿素a与SS呈现出明显的负相关。补水前后,东昌湖处于自然状态下,SS稳定在低浓度水平,其对叶绿素a的作用逐渐被其他水环境因子如太阳辐射、水温、营养盐等所替代,故与叶绿素a的相关性较低。由此一方面验证了Izagirre等^[14]提出的“泥沙对浮游植物的影响是短期的”的观点,另一方面可推断动态补水条件下SS可能是影响叶绿素a浓度变化的主要因素。

综合上述讨论可知,补水结束后,无论是断面监测点还是湖区监测点叶绿素a浓度均升高的原因主要有两方面:一方面是黄河水的直接补给;另一方面是悬浮泥沙的影响。泥沙沉降,净化水体增加了湖水的透明度,促进藻类等浮游植物光合作用,产生更多的叶绿素a;补水携带了大量的细颗粒或胶体,通过扩散和弥散运输到整个湖泊,增加了藻类的附着表面积,并且这些胶体也吸附了营养物质,促进藻类的生长,使叶绿素a浓度增加。另外,补水过程,改变了水动力条件,湖中藻类经过短暂调整,适应了变化了的新环境。停止补水的25、26日,温度、光照、溶解氧等条件适宜,藻类繁殖加快,也可能使叶绿素a浓度短期内上升。

4 结论

(1)高含沙补水过程,沿入湖口到出湖口的水流方向,在总入湖口附近监测点,流速、悬浮泥沙均出现明显高峰,其他监测点,受补水影响有限,依次呈现递减趋势。说明黄河补水对流速和悬浮泥沙的影响范围有限。

(2)高含沙补水使得人工浅水湖泊——东昌湖在补水结束后,整个湖区叶绿素a平均浓度增加了

90%,其中黄河补水贡献了21.1%,达到 $7.74\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。补水过程改变了营养物质的含量,细颗粒或胶体悬浮泥沙通过吸附携带营养物质,增加了供藻类附着的表面,改善了藻类等的生长环境,短期内藻类繁殖加快,这些也使得湖区叶绿素a浓度升高。

(3)补水期间,在0.01的水平上叶绿素a和悬浮泥沙呈现极显著负相关,相关系数达到-0.81,而补水前后相关性显著下降,相关系数仅在-0.43左右。悬浮泥沙浓度虽在纵断面监测点A、B出现明显峰值,叶绿素a浓度却没有因持续补水不断升高,增幅出现先增后减的趋势。湖面监测点中,细颗粒悬浮泥沙占主导的监测点,叶绿素a浓度增幅大,反之,粗颗粒占主导的监测点,叶绿素a浓度增幅小,故可推断悬浮泥沙对叶绿素a的影响表现为“高浓度粗颗粒悬浮泥沙抑制叶绿素a浓度的增加,细颗粒或胶粒悬浮泥沙促进叶绿素a浓度的增加”,但这种影响只在补水短期内显著。因此,悬浮泥沙在黄河补水期间是影响叶绿素a浓度变化的主要水环境因素之一。

参考文献:

- [1] 陈永川, 汤利, 张德刚, 等. 滇池叶绿素a的时空变化及水体磷对藻类生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1555-1560.
CHEN Yong-chuan, TANG Li, ZHANG De-gang, et al. The spatial and temporal dynamics of chlorophyll a concentrations and its relationship with phosphorus in Lake Dianchi[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(4): 1555-1560.
- [2] 陈桥, 韩红娟, 翟水晶, 等. 太湖地区太阳辐射与水温的变化特征及其对叶绿素a的影响[J]. 环境科学学报, 2009, 29(1): 199-206.
CHEN Qiao, HAN Hong-juan, ZHAI Shui-jing, et al. Influence of solar radiation and water temperature on chlorophyll-a levels in Lake Taihu, China[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(1): 199-206.
- [3] 王丽平, 郑丙辉, 张佳磊, 等. 三峡水库蓄水后对支流大宁河富营养化特征及水动力的影响[J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 232-237.
WANG Li-ping, ZHENG Bing-hui, ZHANG Jia-lei, et al. Effects on eutrophication and hydrodynamics of Daning River after impoundment of Three Gorges Reservoir[J]. *Journal of Lake Science*, 2012, 24(2): 232-237.
- [4] Hilton J, O'Hare M, Bowes M J, et al. How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 365(1-3): 66-83.
- [5] Persson J, Brett M T, Verde T, et al. Food quantity and quality regulation of trophic transfer between primary producers and a keystone grazer (*Daphnia*) in pelagic freshwater food webs[J]. *Oikos*, 2007, 116: 1152-1168.
- [6] Wood P J, Armitage P D. Biological effects of fine sediment in the lotic environment[J]. *Environmental Management*, 1997, 21(2): 203-217.
- [7] Biggs B J. The contribution of disturbance, catchment geology and land

- use to the habitat template of periphyton in stream ecosystems[J]. *Freshwater Biology*, 1995, 33:419-438.
- [8] Signoret M, Monreal-Go'mez M A, Aldeco J, et al. Hydrography, oxygen saturation, suspended particulate matter, and chlorophyll-a fluorescence in an oceanic region under freshwater influence[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 69:153-164.
- [9] 光 洁, 韦玉春, 黄家柱, 等. 分季节的太湖悬浮物遥感估测模型研究[J]. 湖泊科学, 2007, 19(3):241-249.
GUANG Jie, WEI Yu-chun, HUANG Jia-zhu, et al. Seasonal suspended sediment estimating models in Lake Taihu using remote sensing data[J]. *Journal of Lake Science*, 2007, 19(3):241-249.
- [10] Wang H Q, Hladik C M, Huang W R, et al. Detecting the spatial and temporal variability of chlorophyll-a concentration and total suspended solids in Apalachicola Bay, Florida using MODIS imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, 31(2):439-453.
- [11] McConnachie J L, Peticrew E L. Tracing organic matter sources in riverine suspended sediment: Implications for fine sediment transfers[J]. *Geomorphology*, 2006, 79:13-26.
- [12] 何文珊, 陆健健. 高浓度悬沙对长江河口水域初级生产力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2001, 4(9):24-27.
HE Wen-shan, LU Jian-jian. Effects of high density suspended sediments on primary production at the Yangtze Estuary[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 4(9):24-27.
- [13] 朱宜平, 张海平, 李飞鹏, 等. 水动力对浮游生物影响的围隔研究[J]. 环境科学, 2010, 31(1):69-75.
ZHU Yi-ping, ZHANG Hai-ping, LI Fei-peng, et al. Enclosure experiments about the hydrodynamics effects on the plankton[J]. *Environmental Science*, 2010, 31(1):69-75.
- [14] Izagirre O, Serra A, Guasch H, et al. Effects of sediment deposition on periphytic biomass, photosynthetic activity and algal community structure[J]. *Science of the Total Environment*, 2009, 407:5694-5700.

热烈祝贺

中国科技核心期刊

《农业资源与环境学报》出版

Journal of Agricultural Resources and Environment

原《农业环境与发展》

继往开来 再创辉煌

栏目

检测分析方法
生物多样性保护
乡村环境
面源污染防治
生态农业
农产品质量安全
生物资源利用
水资源与水环境
重金属污染防治
耕地可持续利用
战略与综述

