

doi: 10.7541/2016.77

底泥再悬浮对东湖水体初级生产力的影响

黄宇波¹ 罗浩¹ 陈隽¹ 毕永红¹ 吕锦刚² 盛祥雪³ 胡征宇¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 武汉 430022; 3. 武汉市园林建筑规划设计院, 武汉 430014)

摘要: 为研究底泥再悬浮对东湖初级生产力的影响, 通过模拟东湖通道施工导致的底泥再悬浮过程, 用原位黑白瓶法测量了水体初级生产力, 同步测定受试水体的光强、营养盐以及藻类叶绿素荧光活性, 结果表明, 随着再悬浮底泥含量的增加, 水体出现明显的光衰减现象, 光强显著降低($P<0.05$); 总氮总磷浓度升高; 藻类最大光化学效率(F_v/F_m)上升; 水体呼吸作用显著增强($P<0.05$), 总初级生产力与净初级生产力先增大后减小。与不含再悬浮底泥的对照组相比, 水体再悬浮底泥含量50—100 g/L处理组具有较高的初级生产力; 相对其他处理组, 再悬浮底泥含量200 g/L处理组的初级生产力显著降低($P<0.05$), 且其净初级生产力为负值。研究结果表明, 在一定范围内的底泥再悬浮通过增加水体营养盐含量的方式提高水体初级生产力, 较大含量的再悬浮底泥则通过影响水体光强降低初级生产力, 该结果确认了东湖通道施工引起的底泥再悬浮对水域生态系统的影响, 值得引起关注和重视。

关键词: 东湖; 底泥再悬浮; 水体初级生产力

中图分类号: Q142

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2016)03-0574-06

东湖位于湖北省武汉市, 面积33 km², 平均水深2.2 m, 由水果湖、郭郑湖、庙湖等子湖组成, 属于城中湖泊。东湖是典型的浅水湖泊, 在与沙湖联通后水位涨落明显, 易在风浪作用下发生底泥再悬浮, 底泥再悬浮导致的颗粒悬浮物浓度增加会改变水体对可见光的散射和折射作用, 而随底泥再悬浮增加的可溶性有机物还会吸收部分光照^[1], 同时, 底泥再悬浮会导致蓄积在底泥中的营养盐释放到水体中, 从而改变水下光强和营养盐浓度^[2, 3]。另一方面, 近年来为改善武汉市的交通状况规划准备实施东湖通道工程, 该工程位于AAAAA级东湖风景名胜区内, 通道起点与二环线水东段主线高架桥红庙立交衔接, 于九女墩北侧进入隧道, 隧道下穿郭郑湖北侧, 过湖心岛, 再下穿汤菱湖、沿湖路、郭郑湖南侧、梅园大门和磨山小区, 穿过鲁磨路、访梅路与团山路路口后, 起坡出地面。经过0.3 km地面段后再次于团山以北进入隧道, 下穿团山后, 于喻家湖北路以北出隧道, 以地面段与喻家湖北路相

接, 止于喻家湖路光谷大道主线高架桥(虹景立交), 全长12.14 km, 其中湖底隧道全长约6.2 km。该工程建设采用围堰明挖法, 先在东湖中修筑围堰, 抽干围堰内的湖水开展施工作业。明渠开挖的作业方式可能导致工程沿线水域受到底泥再悬浮的影响。底泥再悬浮将直接影响到湖泊的主要初级生产者——藻类, 为探讨底泥再悬浮对东湖水体初级生产力的影响效应, 认识底泥再悬浮对水域生态系统结构和功能的作用, 本研究在东湖生态系统观测站利用黑白瓶法研究了底泥再悬浮后初级生产力的变化, 确认了底泥再悬浮对初级生产力的影响, 为分析东湖通道工程的环境效应、把握东湖水域生态系统状况提供依据。

1 材料与方法

底泥再悬浮的模拟: 试验用试剂瓶为美国Wheaton BOD瓶, 体积300 mL, 对照组A不加底泥, 另外3个试验组B、C、D按东湖水体与底泥质量比为

收稿日期: 2015-08-03; 修订日期: 2016-01-11

基金项目: 武汉市“重度人工干扰下水环境污染处置及综合控制关键技术研究”项目资助 [Supported by the Research on the Key Technologies of Water Pollution Disposal and Comprehensive Control Project Under the Severe Manual Interference]

作者简介: 黄宇波(1991—), 男, 湖北宜昌人; 硕士研究生; 研究方向为水域生态与水污染。E-mail: yubo618@163.com

通信作者: 毕永红, E-mail: biyh@ihb.ac.cn

1:20、1:10、1:5添加新鲜底泥,底泥含量分别为50、100和200 g/L。对照组和全部实验组水样灌装前充分振荡摇匀,灌装好水样的黑白瓶按照标准测试方法悬挂在东湖水体中;每组另行同步准备4个水样,试验开始后测定悬浮颗粒物,总氮,总磷,浊度以及叶绿素荧光活性,测定3次,每次2个平行,取平均值。

野外水体中共设3个挂瓶层次,0.5、1.0和2.0 m,每层两个白瓶两个黑瓶,挂瓶时间在8:30—16:30,选择晴天进行试验。光强测量用LI-COR1400水下光量子仪,透明度用赛氏圆盘测定,水体悬浮物测定参见文献[4],总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定(GB11894-89),总磷采用钼酸铵分光光度法测定(GB11893-89),浊度使用上海昕锐WGZ-200s浊度仪测定,叶绿素荧光活性用Water-PAM测定。

初级生产力用黑白瓶法测定氧含量后计算,氧含量用碘量法测定^[5]。固定初始瓶的氧,将白瓶与黑瓶在水体中放置相同时间,黑瓶由于无法进行光合作用,只进行呼吸作用。最后利用初始瓶与黑瓶氧的差值计算得到呼吸作用量,白瓶与初始瓶氧的差值得到净初级生产量,白瓶与黑瓶氧的差值得到总初级生产量。

水柱日生产力是指一天中1 m²水面下从水表面一直到水底整个柱形水体的生产量,用算术平均值累积法计算^[6],公式如下:

$$P_t = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{P_i + P_{i+1}}{2} (D_{i+1} - D_i)$$

式中, P_i 为第*i*层初级生产力[g/(m²·d)], D_i 为第*i*层深度(m), n 为取样层次(1≤ i ≤ $n-1$)。

数据整理使用excel2007软件进行,统计分析用SPSS19.0软件,spearman,pearson相关分析和ANOVA单因素方差分析检验各处理组间的统计差异。

2 结果

2.1 呼吸作用

无底泥的对照组A从表层到底层的呼吸作用分别为0.18、0.11和0.16 g O₂/(m³·h),没有表现出明显的深度差异($P>0.05$)。再悬浮底泥含量最大的D组(200 g/L)呼吸作用在各水层均表现出较高的强度,表中底层分别为0.61、0.60和0.64 g O₂/(m³·h);表层与中下层间没有显著的差异($P>0.05$)。处理组B(50 g/L)和C(100 g/L)的呼吸作用强度在表层最大,分别为0.24和0.45 g O₂/(m³·h)(图1),随着深度增加呼吸作用逐渐减弱;表层与中下层间存在显著的

差异($P<0.05$)。对不同处理组间的统计分析显示,随着水体再悬浮底泥含量的增加,水体呼吸作用显著增强($df=3$, $F=15.993$, $P<0.05$)。

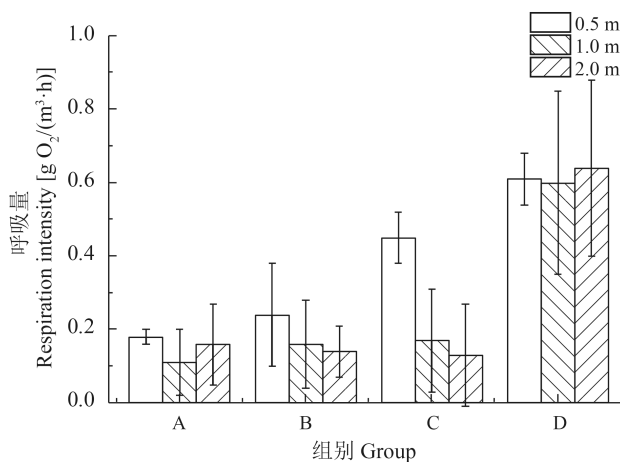


图1 不同处理组的呼吸作用随水深度的变化

Fig. 1 The respiration under different water depth with various treatment groups (Values are expressed as mean±SD)

2.2 总初级生产力与净初级生产力

对3次重复试验的初级生产力计算值进行平均,得到各水层的总初级生产力平均值,如图2所示。除了再悬浮底泥量为100 g/L处理组的表层和中层的总初级生产力无明显变化外,对照组与其他试验组在垂直方向上变化一致,从表层到底层初级生产力先增大后减小;水柱中层的初级生产力最大。对照组在中层水深处的总初级生产力为0.30 g O₂/(m³·h),其他三个处理B、C、D组中层水深处的总初级生产力分别为0.40、0.29和0.25 g O₂/(m³·h),在中层水深的总初级生产力按照大小对试验各组排序为B>A>C>D,表现出随着底泥悬浮量增加,初级生产

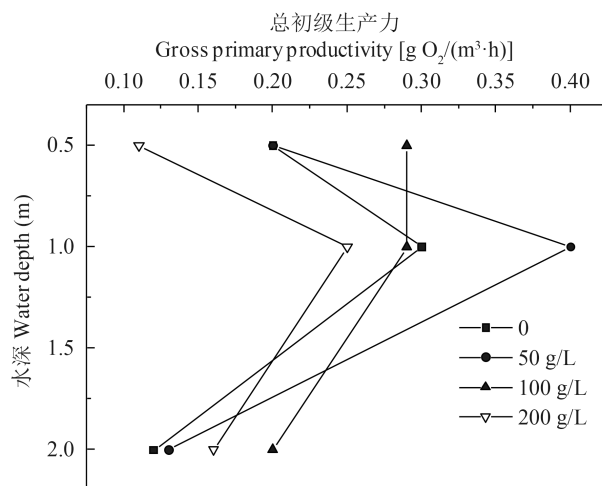


图2 水深和再悬浮底泥含量对东湖水体总初级生产力的影响

Fig. 2 The gross primary productivity under different water depth with different resuspended sediments contents

力先增大后减小。

对水柱总初级生产力进行比较(图 3), 空白对照组A为 $0.33 \text{ g O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$, 小于B组 $[0.56 \text{ g O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})]$ 和C组 $[0.56 \text{ g O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})]$, 但D组 $[0.37 \text{ g O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})]$ 的值小于B组和C组, 该结果与上述总初级生产力一致。统计检验结果显示, 水体再悬浮底泥含量对初级生产具有显著影响; 适量的再悬浮底泥促进初级生产力的升高, 但随着底泥进一步增加, 水柱总初级生产力下降。

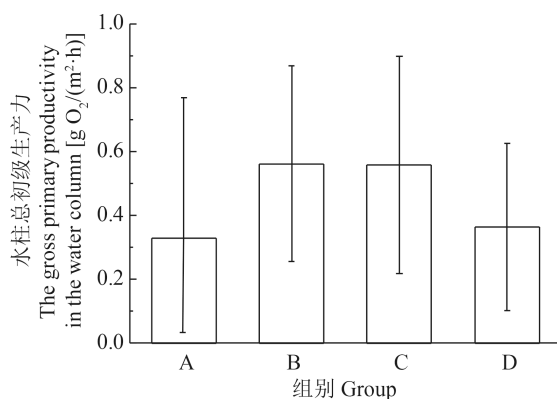


图3 不同处理组的水柱初级生产力

Fig. 3 The gross primary productivity in the water column with different contents of resuspended sediment (Values are expressed as mean $\pm$ SD)

对照组A (0)与处理组B (50 g/L)、C (100 g/L)的净初级生产力在垂直方向上表现为先增后减, 1.0 m处净初级生产力达到最大, 分别为0.19、0.24和 $0.08 \text{ g O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ (图 4)。再悬浮底泥含量最大的D (200 g/L)组水柱中主要表现为呼吸耗氧, 且其净初级生产力从表层至底层逐渐降低, 依次为 -0.33 、 -0.35 和 $-0.49 \text{ g O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。各组最大净初级生产力比较, $B > A > C > D$ 。与无底泥组A的最大净初级生产力相比, 添加50 g/L的底泥B组有一定程度的上升, 但再悬浮底泥含量为100 g/L (C组)和200 g/L (D组)时, 最大净初级生产力逐渐降低, 直到为负值。

2.3 叶绿素荧光活性

F_v/F_m 是衡量叶绿素荧光活性的一个重要参数, 对照组无底泥悬浮, 水体叶绿素荧光活性 F_v/F_m 为 0.5 ± 0.07 , 当再悬浮底泥含量为50 g/L时, F_v/F_m 上升到 0.59 ± 0.02 , 再悬浮底泥含量为100 g/L时, F_v/F_m 为 0.6 ± 0.02 , 再悬浮底泥含量继续增加到200 g/L时, F_v/F_m 仍为 0.60 ± 0.02 。结果表明, 加入底泥后, 叶绿素荧光活性有一定程度的上升, 但随着底泥量的增加, 叶绿素荧光活性的变化不大。

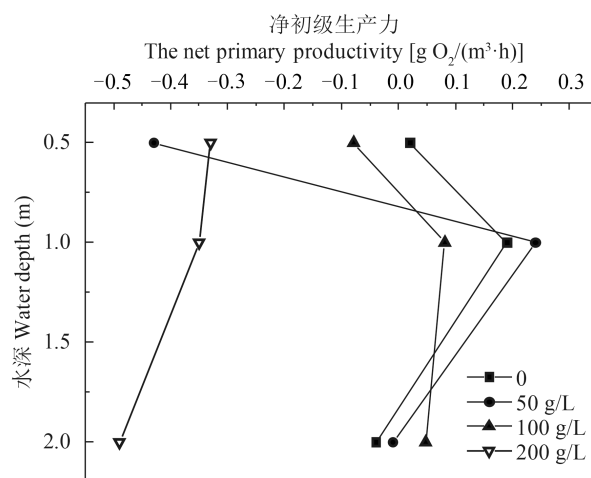


图4 各处理组的净初级生产力随水深的变化

Fig. 4 The net primary productivity under different water depth by different treatment groups

2.4 水体营养盐含量

随着再悬浮底泥量的增加, 再悬浮底泥导致水体的TN浓度逐渐上升, 空白组A的TN浓度为 $(1.02 \pm 0.05) \text{ mg/L}$, D组的TN浓度最大, 达到 1.88 mg/L , 较对照增加了84.31%。当再悬浮底泥含量从100 g/L (C组)增加到200 g/L (D组)时, TN的上升幅度较小, 从 1.39 mg/L 上升到 1.79 mg/L , 增加了28.78%。A、B、C、D处理组的TP浓度分别为 (0.12 ± 0.05) 、 (0.20 ± 0.03) 、 (0.19 ± 0.1) 和 $(0.38 \pm 0.01) \text{ mg/L}$ 。底泥再悬浮后, 水体TP的浓度上升, 但随着再悬浮底泥量的增加, 从50 g/L (B组)增加到100 g/L (C组)时, 两者浓度仅仅相差 0.01 mg/L , 并无显著变化; 再悬浮底泥含量为200 g/L时, 与空白组A相比, TP浓度增大2倍(图 5)。通过spearman相关分析发现, TP与再悬浮底泥含量相关系数为0.71, 呈显著相关($n=12, P<0.05$); TN与再悬浮底泥含量相关系数为0.76, 呈显著相关($n=12, P<0.05$)。

2.5 水体光衰减

三次试验测得原位水中悬浮物浓度平均值为 4.89 mg/L , 表层水体光照强度相比于空气光照强度平均下降50.83%。随着再悬浮底泥含量的增加, 进入水体的颗粒物浓度也相应地增加, 水体光强随再悬浮底泥含量浓度的变化曲线(图 6)显示随着底泥添加量的增加, 水体光强逐渐降低。当再悬浮底泥含量为50 g/L时, 光照强度相对于无底泥对照组下降了23.81%; 再悬浮底泥含量为100 g/L时, 光强下降了34.20%; 而再悬浮底泥含量为200 g/L时, 光强下降了38.89%。考虑到原位水中悬浮颗粒物在光衰减中的叠加效应, 随着再悬浮底泥含量由50 g/L增加到200 g/L时, 水体光强与空气光强相比, 分别下降了61.27%/66.55%和68.93%。spearman相关分析

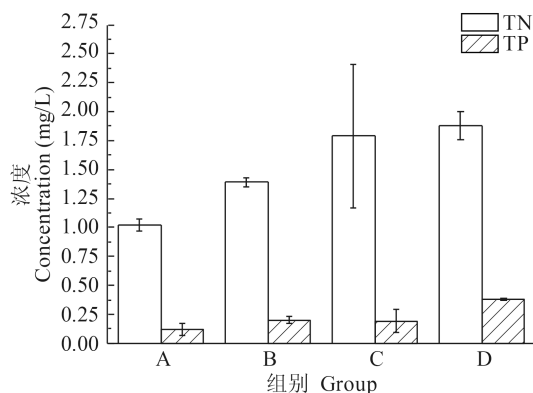


图5 底泥再悬浮对水体总氮、总磷浓度的影响

Fig. 5 Effects of resuspended sediment on TN and TP concentration of water column (Values are expressed as mean±SD)

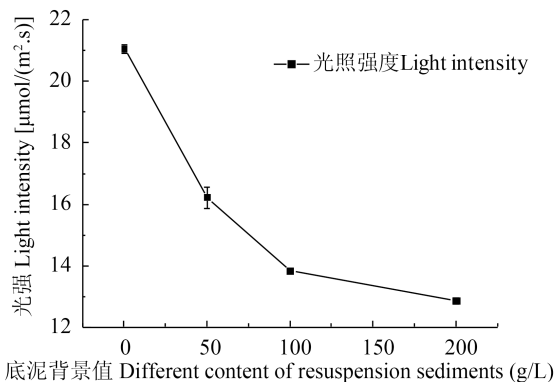


图6 底泥悬浮对水体光照强度的影响

Fig. 6 Light intensity of water column under different content of resuspension sediments

显示水体光强与再悬浮底泥含量浓度显著相关 ($n=12$, $P<0.05$), 相关系数为-0.97。

2.6 总初级生产力与环境因子的关系

对总初级生产力与再悬浮底泥含量、总氮、总磷和光照强度进行相关性分析显示(表1), 底泥

表1 总初级生产力与环境因子之间的相关系数

Tab. 1 Pearson correlation coefficient matrix between GPP and the relative environmental factors

	底泥浓度 Sediment concentration	总氮 TN	总磷 TP	光照强度 Light intensity	总初级 生产力 GPP
底泥浓度 Sediment concentration	1				
总氮 TN	0.973*	1			
总磷 TP	0.897	0.776	1		
光照强度 Light intensity	0.952*	-0.984*	-0.779	1	
总初级生产力 GPP	0.184	0.371	-0.092	-0.475	1

注: *在0.05水平上显著相关(双尾检验)

Note: *Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

浓度与总氮、光照强度显著相关($P<0.05$)。

3 讨论

近几十年来受人类活动的影响, 包括武汉东湖在内的大多数浅水湖泊富营养化越来越严重, 许多草型湖泊向藻型湖泊转变, 藻类取代水生高等植物成为湖泊主要初级生产者^[7]。这使得湖泊的初级生产力与浮游植物的状态密切相关, 并受到水体理化性质的影响, 光照、风速、营养盐负荷等均影响水体的浮游植物群落结构进而影响水体的初级水产。浅水湖泊区别于深水湖泊的特点在于, 风浪扰动造成底泥的再悬浮, 会改变水体生态因子, 造成初级生产力的变化^[8]。曾台衡等^[9]对长江中下游湖泊进行初级生产力估算显示, 东湖的初级生产力在区域湖泊中处于较高水平, 高于太湖、巢湖、鄱阳湖、淀山湖, 但小于洞庭湖。太湖2—4月的总初级生产量维持低于 $0.2 \text{ g O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ ^[10], 净初级生产力为负值。本实验在2—4月间测得东湖的总初级生产力大于 $0.3 \text{ g O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$, 高于太湖, 这与张运林的研究结果一致^[11]。

研究发现伴随着底泥再悬浮过程存在显著的营养释放现象, 水体氮、磷浓度随着水中颗粒悬浮物的增加而迅速上升, 这与文献^[12]的结果一致, 底泥悬浮过程释放的营养充分满足了藻类生长增殖的需要, 这使得某些底泥再悬浮水体能维持较高的净初级生产力^[13—15]。在本试验中, 与对照组相比, 一定量的再悬浮底泥处理组(B、C组)中, 虽然再悬浮底泥显著影响水体的呼吸作用, 提高呼吸耗氧水平, 但由于再悬浮底泥的营养释放过程为水体提供的养分有助于藻类等初级生产者的生命活动需要, 尤其是总氮含量与总初级生产力显著相关(表1), 说明适量的再悬浮底泥显著地促进了水体的初级生产。需要说明, 所测呼吸量包含了水样中细菌及浮游动物的呼吸耗氧, 因此低估了每组实际净初级生产力。值得关注的是, 高浓度颗粒物也会对藻类生理活性产生胁迫, 这种影响主要来自于颗粒物的消光作用以及对藻的吸附; 有研究表明, 植物处于胁迫状态时, 最大光化学效率会降低^[16]。但侯秀富等^[17]发现, 在一定浓度范围内, 水体悬浮颗粒物促进藻类的生长。本实验测得有再悬浮底泥存在的情况下, 试验处理组B、C、D三组的叶绿素荧光活性(F_v/F_m)与对照组间有一定差异, 再悬浮底泥的存在刺激和提供了藻类的光合作用活性, 本研究结果与侯秀富的结果相似。这种作用一定程度上也解释了适量再悬浮底泥对水体初级生产力的促进作用。

除了营养盐的影响外, 光照对藻类光合作用至关重要, 光照减弱会显著降低植物的光合作用, 进

而影响藻型水体的初级生产。再悬浮底泥量为 200 g/L 的处理组 D 中, 尽管有与其他处理组一样的充分的营养供应能力, 但其对水体有效光辐射的影响将阻碍初级生产者获得足够的光能用于生产(图 6), 从而导致初级生产力下降, 甚至使得净初级生产力出现负值(图 4)。底泥再悬浮后, 水体中颗粒悬浮物增加, 改变水体的折射和散射作用, 进而改变真光层深度^[18]。因此, 颗粒悬浮物是水体中光衰减的主要因子^[19]。在本研究中, 再悬浮底泥含量越高, 水中颗粒物浓度越大, 光衰减越强, 水体光照越弱, 出现光抑制效应^[20]。光照减弱, 植物生长受到抑制, 光补偿点和光饱和点会降低^[21, 22], 因此, 光衰减是过量再悬浮底泥对初级生产力的主要抑制因素(表 1)。

值得一提的是, 作为穿湖通道建设的一种主要方式, 明渠开挖具有施工方法简单, 照明通风代价小, 工程造价低等优点; 但同时存在易受外界气象条件的影响(如夏季防洪), 对环境干扰大等缺点^[23]。明渠开挖对底泥扰动很大, 导致施工位点泥沙含量高, 透明度低, 底泥中营养盐大量释放进入水体, 充足的营养盐有助于促进藻类生长, 在适宜的光照条件下, 水体初级生产力上升。调查发现施工区域附近形成的封闭水体促进了水生植物生长^[24], 本研究结果也证实了适量的底泥再悬浮能提高初级生产力, 说明施工干扰对湖泊生态系统具有显著的影响。在东湖通道施工的影响下, 适量的再悬浮底泥可以有效促进藻类生长增殖, 藻类固定的能量通过食物链传递, 浮游动物生物量可随之上升, 上行效应增强^[25]。因此适量的底泥悬浮可促进湖泊生态系统的物质循环和能量流动, 对处于营养盐限制的湖泊水体来说, 这有利于维持复杂的水生态系统结构。然而, 过量的底泥再悬浮造成水下光强太低, 藻类光合作用受到抑制, 初级生产力下降, 用于次级生产的能量不足, 可能抑制水生动物的生长, 破坏复杂的食物网结构, 降低湖泊生态系统生物多样性。因此, 东湖通道建设中应该注意控制底泥悬浮量, 以提高水体初级生产力, 维持东湖水域生态系统稳定性。

参考文献:

- [1] Yue C F, Li Y M, Zha Y, *et al.* Inversion of hyperspectral reflectance for estimating suspended matter concentration in Lake Tai [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, **28**(10): 2148—2155 [乐成峰, 李云梅, 查勇, 等. 太湖悬浮物对水体生态环境的影响极高光谱反演. 环境科学学报, 2008, **28**(10): 2148—2155]
- [2] Hu X Z, Liu Q, Li Y J. The controlling of plants rebuild engineering on sediment resuspension and nutrient release in Fubao Bay of the Dianchi Lake [J]. *China Environmental Science*, 2012, **32**(7): 1288—1292 [胡小贞, 刘倩, 李英杰. 滇池福保湾植被重建对底泥再悬浮及营养盐释放的控制. 中国环境科学, 2012, **32**(7): 1288—1292]
- [3] Lawson S E, Wiberg P L, McGlathery K J, *et al.* Wind-driven sediment suspension controls light availability in a shallow coastal lagoon [J]. *Estuaries and Coasts*, 2007, **30**(1): 102—112
- [4] Editorial Committee of “Monitoring and Analytical Methods of Water and Wastewater” of the State Environmental Protection Administration of China. Monitoring and Analytical Methods of Water and Wastewater (3th Edition) [M]. Beijing: China Environmental Science Press. 1989, 246—268 [国家环境保护局. 水和废水监测分析方法(第三版). 北京: 中国环境科学出版社. 1989, 246—248]
- [5] Wang X D, Qin B Q, Liu L Z, *et al.* Effects of experimental sediment suspension on the nutrients release and growth of algal bloom [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, **20**(1): 1481—1487 [王小冬, 秦伯强, 刘丽贞, 等. 底泥悬浮对营养盐释放和水华生长影响的模拟. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(1): 1481—1487]
- [6] Zhang Z S, Huang X F. Research Method of plankton in Fresh Water [M]. Beijing: Science Press. 1991, 351—353 [章宗涉, 黄翔飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社. 1991, 351—353]
- [7] Qin B Q. Approaches to mechanisms and control of eutrophication of shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangze River [J]. *Journal of Lake Science*, 2002, **14**(3): 193—202 [秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探. 湖泊科学, 2002, **14**(3): 193—202]
- [8] Elisabeth H S, Gerard B, Elly P H, *et al.* Modeling underwater light climate in relation to sedimentation, resuspension, water quality and autotrophic growth [J]. *Hydrobiologia*, 2001, **444**: 25—42
- [9] Zeng T H, Liu G X, Hu Z Y. Estimation of phytoplankton primary production of lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, **20**(6): 717—722 [曾台衡, 刘国祥, 胡征宇. 长江中下游湖区浮游植物初级生产力估算. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(6): 717—722]
- [10] Cai L L, Zhu G W, Li X Y. Characteristic of phytoplankton primary productivity and influencing factors in littoral zone of Lake Taihu [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(22): 7250—7258 [蔡琳琳, 朱广伟, 李向阳. 太湖沿岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素. 生态学报, 2013, **33**(22): 7250—7258]
- [11] Zhang Y L, Feng S, Ma R H, *et al.* Spatial pattern of euphotic depth and estimation of phytoplankton primary production in Lake Taihu in autumn 2004 [J]. *Journal of Lake Science*, 2008, **20**(3): 380—388 [张运林, 冯胜, 马荣华, 等. 太湖秋季真光层深度空间分布及浮游植物初级生产力的估算. 湖泊科学, 2008, **20**(3): 380—388]
- [12] Yu J H, Zhong J C, Zhang Y L, *et al.* Simulation of influ-

- ence of dredging on sediment resuspension and nutrient loading in lake [J]. *Journal of Lake Science*, 2012, **24**(1): 34—42 [余居华, 钟继承, 张银龙, 等. 湖泊底泥疏浚对沉积物再悬浮及营养盐负荷影响的模拟. 湖泊科学, 2012, **24**(1): 34—42]
- [13] Ogilvie B G, Mitchell S F. Does sediment resuspension have persistent effects on phytoplankton? Experimental studies in three shallow lakes [J]. *Freshwater Biology*, 1998, **40**(1): 51—63
- [14] Amand A L ST, Soranno P A, Carpenter S R, *et al.* Algal nutrient deficiency: growth bioassays versus physiological indicators [J]. *Lake and Reservoir Management*, 1989, **5**(1): 27—35
- [15] Sakamoto M, Hayashi H, Otsuki A, *et al.* Role of bottom sediments in sustaining plankton production in a Lake ecosystem- Experimental demonstration using enclosed water bodies in a Shallow Eutrophic Lake [J]. *Ecological Research*, 1989, **4**(1): 1—16
- [16] Consalvey M, R G Perkins, D M Paterson, *et al.* Pam fluorescence: a beginners guide for benthic diatomists[J]. *Diatom Research*, 2005, **20**(1): 1—22
- [17] Hou X F, Guo P Y, Zhang H X, *et al.* Effects of water suspended particular matter on the physiological and photosynthetic activity of *Scenedesmus obliquus* [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, **33**(5): 1446—1457 [侯秀富, 郭沛涌, 张华想, 等. 水体悬浮颗粒物对斜生栅藻生理生化活及光合性的影响. 环境科学学报, 2013, **33**(5): 1446—1457]
- [18] Zhang Y L, Qin B Q, Hu W P, *et al.* Temporal-spatial variations of euphotic depth of typical lake regions in Lake Taihu and its ecological environmental significance [J]. *Science in China Series D*, 2006, **49**(4): 431—442 [张运林, 秦伯强, 胡维平, 等. 太湖典型湖区真光层深度的时空变化及其生态意义. 中国科学(D辑: 地球科学), 2006, **49**(4): 287—296]
- [19] Zhang Y L, Qin B Q, Chen W M, *et al.* A study on total suspended matter in Lake Taihu [J]. *Resource and Environment in the Yangtz Basin*, 2004, **13**(3): 266—271 [张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体中悬浮物研究. 长江流域资源与环境, 2004, **13**(3): 266—271]
- [20] Zhang Y L, Qin B Q, Chen W M, *et al.* Experimental study on underwater light intensity and primary productivity caused by variation of total suspended matter [J]. *Advances in Water Science*, 2004, **15**(5): 615—620 [张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 悬浮物浓度对水下光照和初级生产力的影响. 水科学进展, 2004, **15**(5): 615—620]
- [21] Moore K A, Wetzel R L. Seasonal variations in eelgrass (*Zostera marina* L.) responses to nutrient enrichment and reduced light availability in experimental ecosystems [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2000, **244**(1): 1—28
- [22] Dennison W C, Alberta R S. Photosynthetic responses of *Zostera marina* L. (Eelgrass) to *in situ* manipulations of light intensity [J]. *Oecologia*, 1982, **55**(22): 137—144
- [23] Ni H G, Li X Z, Luo G Y. Analysis of environmental effects of Nanjing Xuanwu Lake subaqueous highway tunnel [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1998, **4**(2): 212—219 [倪宏革, 李晓昭, 罗国煜. 南京玄武湖水底交通隧道工程与环境效应分析. 高校地质学报, 1998, **4**(2): 212—219]
- [24] Li S S, Lü J G, Gao X, *et al.* Influence of the East Lake channel project on Macrophytes in nearby waters [J]. *Journal of Hydroecology*, 2015, **36**(2): 18—24 [李双双, 吕锦刚, 高翔, 等. 东湖通道工程对沿线水域水生植物的影响. 水生态学杂志, 2015, **36**(2): 18—24]
- [25] Roozen F C J M, Lüring M, Vlek, H, *et al.* Resuspension of algal cells by benthivorous fish boosts phytoplankton biomass and alters community structure in shallow lakes [J]. *Freshwater Biology*, 2007, **52**(6): 977—987

EFFECTS OF RE-SUSPENDED SEDIMENT ON THE PRIMARY PRODUCTION IN THE DONGHU LAKE

HUANG Yu-Bo¹, LUO Hao¹, CHEN Jun¹, BI Yong-Hong¹, LÜ Jin-Gang², SHENG Xiang-Xue³ and HU Zheng-Yu¹

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. Wuhan Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430022, China; 3. Wuhan Landscape Architectural Design Institute, Wuhan 430014, China)

Abstract: To examine the effect of suspended sediment on the primary production in the Donghu Lake, field investigation was carried out with the modified black and white bottles. The light intensity, nutrient concentrations and chlorophyll fluorescence were measured. The results showed that with the increased content of resuspended sediments, light intensity decreased significantly ($P < 0.05$), TP concentration and the maximum photochemical efficiency (F_v/F_m) increased significantly ($P < 0.05$), the respiration was significantly enhanced ($P < 0.05$), the gross primary productivity and net primary productivity increased at first and then decreased. Suspended sediment at 50—100 g/L significantly increased primary productivity via the enrichment of the nutrient but dramatically repressed the gross primary productivity at 200 g/L even with a negative net primary productivity through significantly decreasing the light intensity in the water column ($P < 0.05$). We revealed the impacts of Donghu Channel project on the freshwater ecosystem of the Donghu Lake, which need further attention.

Key words: Donghu Lake; Re-suspended sediment; Primary productivity