

# The Influence of Hydrodynamic Conditions on the Dominant Edge Growth of the Secondary Tributary at Three Gorges Reservoir

Qiang An\*, Yang Yu, Yuansheng Huang, Ningqiu Huang, Yunqiu Jiang

Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing  
Email: \*anqiang@cqu.edu.cn

Received: Nov. 10<sup>th</sup>, 2015; accepted: Nov. 30<sup>th</sup>, 2015; published: Dec. 10<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

In this study, Qingshui Brook, one of the tributaries of the Jialing River was taken as case study. The velocity experiment and turbulent experiment were both demonstrated by using the raw water from the Qingshui Brook in the Ciqikou section. The results show that the diatom is the dominant algae when the Chla reached the peak (14 days), followed by blue algae, green algae. Algae's growth could be promoted while the flow rate is 0.00 - 0.12 m/s and the turbulence dissipation rate is 0.00 - 0.62 m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup> × 10<sup>-4</sup>. At that time, the peaks of the Chla are 0.124 mg/l, 0.158 mg/l. When the flow velocity and the turbulence dissipation rate continue to increase, the growth of the algae is declined. The greater the flow velocity and the turbulence dissipation rates, the more obvious the inhibiting effects. The study shows the similar results when a single diatom is used. It is concluded that the change of hydrodynamic conditions of the secondary tributary at Three Gorges Reservoir is the cause of the local algae bloom.

## Keywords

Hydrodynamic Conditions, Three Gorges Reservoir Area, Secondary Branch, Dominant Algae

# 水动力条件对三峡库区次级支流优势藻种生长的影响

安强\*, 於阳, 黄源生, 黄宁秋, 蒋韵秋

作者简介: 於阳(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 水文水资源。

\*通讯作者。

文章引用: 安强, 於阳, 黄源生, 黄宁秋, 蒋韵秋. 水动力条件对三峡库区次级支流优势藻种生长的影响[J]. 水资源研究, 2015, 4(6): 530-536. <http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2015.46066>

重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆  
Email: anqiang@cqu.edu.cn

收稿日期: 2015年11月10日; 录用日期: 2015年11月30日; 发布日期: 2015年12月10日

## 摘要

本研究以嘉陵江支流清水溪为研究对象, 取清水溪磁器口段原水进行流速、紊流实验。结果表明, 当Chla达到峰值时(14天)硅藻为显著优势藻种, 其次为蓝藻、绿藻。当水流速度为0.00~0.12 m/s、紊流耗散率为0.00~0.62  $\text{m}^2/\text{s}^3 \times 10^{-4}$ 时对水体中藻类的增长有促进作用, Chla峰值分别为0.124 mg/l、0.158 mg/l, 随着流速、紊流耗散率的继续增加藻类生长呈下降趋势, 且流速、紊流耗散率越大抑制越明显。当以单一硅藻为研究对象时均得到相似的结果。因此, 库区次级支流水动力条件的改变是引起库区次级支流水华爆发的原因。

## 关键词

水动力条件, 三峡库区, 次级支流, 优势藻种

## 1. 引言

自三峡库区建成蓄水以后, 原有天然河道变为河道型水库, 库区干流断面平均流速变为 0.13~0.24 m/s, 远低于蓄水前天然河道断面平均流速 2 m/s。库区支流断面平均流速由天然河道断面的 1~3 m/s 降至 0.08 m/s [1]。通过三峡库区蓄水前后水文环境的变化可知, 高浓度的氮磷等营养盐是库区干流、支流发生富营养化的主要原因, 而诱发三峡库区干支流水体富营养化的主要原因则可能是水体流速等水文条件的改变 [2]。三峡库区主要支流嘉陵江与长江合流断面水体流速平均值为 0~0.2 m/s [2]。本研究以嘉陵江支流清水溪为研究对象, 设计能近似模拟三峡库区次级支流水动力条件的水槽, 研究水动力条件对库区次级支流藻的生长情况及优势藻种生长趋势的影响, 为库区次级支流藻类水华控制提供理论依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 藻种及培养基

实验用硅藻(梅尼小环藻)购买自武汉水生所, 培养基使用小环藻培养基, 详见表1。

### 2.2. 实验装置

#### 2.2.1. 流速模拟装置

根据实验目的设计装置如图1所示, 该装置为双环形水槽 [3], 水槽高 400 mm、内置无极调速电机直径 200 mm、内(外)环直径 200 mm、桨板尺寸为 450 mm × 190 mm (长 × 宽)。装置桨板与壁间距极小, 近似认为水槽中水流流态为层流。

#### 2.2.2. 紊流模拟装置

经查阅文献 [4] [5]设计紊流实验装置如图2所示, 有机玻璃箱体尺寸为 310 mm × 310 mm × 450 mm (长 × 宽 × 高), 格栅尺寸为 290 mm × 290 mm (长 × 宽), 相邻 2 个栅孔中心的距离  $M = 6.00$  cm。

### 2.3. 测试方法及参数设定

叶绿素 a (Chla)浓度的测定采用丙酮提取分光光度法, 藻种类采用浮游生物测定法测定。根据库区水文条件

Table 1. Cyclotella sp. Medium

表 1. 小环藻培养基

成分	浓度(g/l)	成分	浓度(g/l)	成分	浓度(g/l)
NaNO <sub>3</sub>	0.12	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	0.1	A <sub>5</sub> solution	1 ml
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O	0.04	NaCl	0.01	A <sub>5</sub> -H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	286 mg
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.07	MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O (0.2%)	0.1 ml	A <sub>5</sub> -MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	181 mg
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.08	Ferric citrate	0.005	A <sub>5</sub> -CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	22 mg
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.02	Soil extract	20 ml	A <sub>5</sub> -(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·H <sub>2</sub> O	3.9 mg

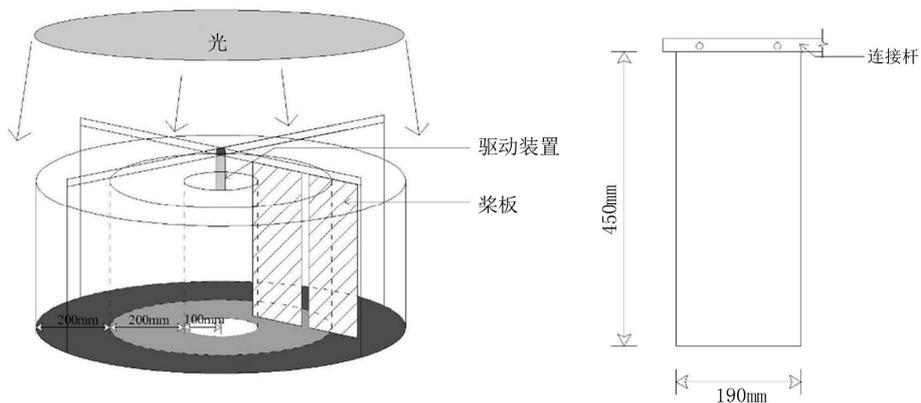


Figure 1. Mechanism of the velocity simulated device

图 1. 流速模拟试验装置示意图

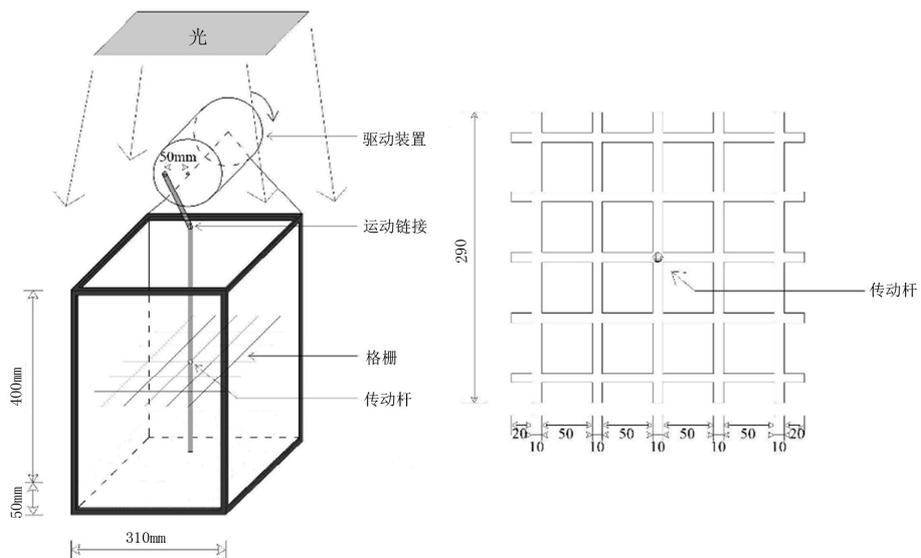


Figure 2. Mechanism of the turbulence dissipation simulated device

图 2. 紊流耗散率模拟试验装置示意图

设置水动力条件，详见 表 2、表 3。为研究三峡库区次级支流在不同水动力条件下优势藻种的生长情况，本研究从嘉陵江清水溪支流磁器口段取水，以原水为研究对象，在实验室中模拟在实验室条件下模拟不同的流速、紊流耗散率对优势藻种的影响。根据藻类的生长周期，本研究中实验周期设置为 18 天，每两天取样一次并对相应指标进行测试。

### 3. 结果与讨论

#### 3.1. 不同水动力条件对次级支流优势藻种生长的影响

##### 3.1.1. 水动力条件对藻类生长的影响

根据表2、表3设置参数,分别在双环形水槽和紊流装置中进行实验,研究水流速度、紊流耗散率对藻类生长的影响。实验中以叶绿素a(Chla)表征藻类的数量,实验结果如图3所示,(a)为流速变化时Chla的变化情况,(b)为紊流耗散率变化时Chla的变化情况。图3(a)为流速变化时原水中Chla的变化情况。本部分将静止( $V = 0$  m/s)组设置为参照组,静止时表征藻类生长的叶绿素a浓度在14天达到最大值0.094 mg/l;当流速为0.00~0.12 m/s时,藻类生长峰值高于参照组,最大值为0.124 mg/l ( $V = 0.08$  m/s),由此可判断此范围内的流速对藻类的生长有促进作用;随着流速的继续增大(0.16~0.40 m/s),藻类的生长峰值低于参照组,并且有继续降低的趋势。随着流速的提高,峰值出现的更早,故此范围内的流速对藻类生长有抑制作用。

同上,零流速组作为参照组,由图3(b)可看出培养时间不超过14天、紊流耗散率为 $0.00\sim 0.62$   $\text{m}^2/\text{s}^3 \times 10^{-4}$ 时表征藻生长的Chla峰值高于参照组的最高值0.100 mg/l,特别是当紊流耗散率为 $0.26$   $\text{m}^2/\text{s}^3 \times 10^{-4}$ 时,Chla的峰值达到0.158 mg/l。由此可推断,紊流耗散率不超过 $0.62$   $\text{m}^2/\text{s}^3 \times 10^{-4}$ 时对藻类的生长有促进作用,并且促进作用随着紊流耗散率的增加而降低;当紊流耗散率为 $0.62\sim 4.98$   $\text{m}^2/\text{s}^3 \times 10^{-4}$ 时,藻类生长峰值低于静止紊流耗散率,并随紊流耗散率的增加呈下降趋势,此范围内紊流耗散率对藻类的生长起抑制作用。

##### 3.1.2. 水动力条件对优势藻种生长的影响

本部分研究直接培养清水溪原水,取回的原水经显微镜观察发现硅藻、蓝藻、绿藻为该水体中的优势种,这与雷欢等的研究结果相符合[6]。根据2.1.1,当培养时间为14~16天时藻类数量达到峰值,故在本部分研究中

Table 2. Device number and the corresponding velocity

表2. 层流装置编号及对应流速

装置编号	L01	L02	L03	L04	L05	L06
对应流速(m/s)	0.00	0.08	0.12	0.16	0.20	0.40

Table 3. Turbulence device number and the corresponding turbulence dissipation

表3. 紊流装置编号及对应紊流耗散率

装置编号	T01	T02	T03	T04	T05	T06
$\epsilon_0$ ( $\text{m}^2/\text{s}^3$ ) $\times 10^{-4}$	0.00	0.26	0.62	1.22	2.10	4.98

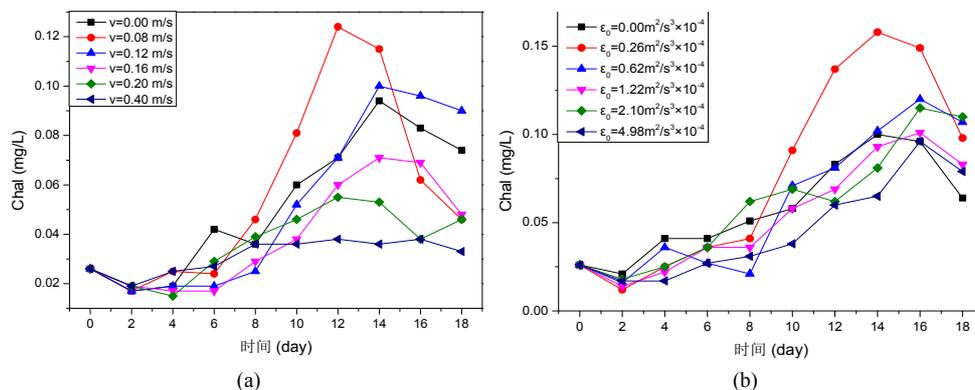


Figure 3. Chlorophyll a concentration change over time under different hydrodynamic condition

图3. 不同水动力条件下叶绿素a浓度随时间的变化

认为培养 14 天后藻类生长达到峰值。不同水流速度、紊流耗散率条件下优势藻种变化情况如 图 4 所示；(a)表示流速变化时，藻群体变化情况；(b)表示紊流耗散率变化时藻群体变化情况。

在流速模拟装置中，当水流静止时硅藻、蓝藻的优势地位逐渐被绿藻所取代，三者的变化量分别为-13.05%、-3.09%、16.14%。在紊流实验中，静止装置也出现了类似的结果，绿藻成为优势种，三者的变化量分别为-17.20%、3.39%、13.81%。因此可推断当水体静止时库区次级(清水溪)水域中绿藻为优势种。

如 图 4(a)所示，在设定的流速下，Chla 达到峰值时，硅藻在水体中占 64.92%~90.24%，平均值为 80.37%，相对初始值平均增加 33.05%，硅藻含量是静置装置中硅藻所占百分比的 2 倍以上。蓝藻与绿藻所占百分比均降低，蓝藻峰值时所占百分比平均值为 6.52%、削减量平均值为-22.63%；其中绿藻峰值时所占百分比平均值为 13.11%、削减量平均值为-10.42%。如 图 4(b)所示，在设定的紊流耗散率下，叶绿素 a 达到峰值时，硅藻在水体中占 79.47%~96.17%，平均值为 89.25%，平均值增加量为 41.93%，相较于静置装置中硅藻所占百分比大幅度提升。蓝藻与绿藻所占百分比均降低，其中蓝藻峰值时所占百分比平均值为 6.42%、削减量平均值为-22.73%，其中绿藻峰值时所占百分比平均值为 4.33%、削减量平均值为-19.20%。

由此可知，静置条件下，绿藻为优势藻种；在流速与紊流耗散率变化时硅藻成为优势藻种，表明硅藻对水动力环境有特殊的适应适应力。处于紊动状态下的硅藻所占百分比高于流速状态下，因此相较于流速，硅藻更适应紊动状态下的水动力条件。

胡建林等对长江三峡库区重庆段浮游植物进行检测统计，发现水体中藻类以硅藻为主，硅藻在水体中所占比例均超过 60% [7]；王敏 [2]等通过对三峡库区最大支流嘉陵江硅藻水华进行研究发现，水华优势藻种为小环藻。这均与本研究所得结果相印证。三峡库区次级支流水体中的多种藻类种群在流速与紊流耗散率影响下，硅藻具有明显生长优势。因此确定硅藻为三峡库区次级支流水体水动力变化下的优势藻类。

### 3.2. 不同水动力条件对硅藻生长的影响

根据 2.1.2，选取单一藻类(梅尼小环藻)为研究对象，按 2.1.1 进行流速、紊流实验。各装置中投入相同浓度的小环藻，各装置的初始 Chla 值介于 0.019~0.043 mg/l 之间。流速实验结果如 图 5(a)所示。由图可看出单一藻类对流速变化更敏感，流速介于 0.00~0.12 m/s 时对硅藻的生长才有促进作用；当流速介于 0.12~0.40 m/s 时流速对硅藻的生长表现出抑制效果，且流速越大抑制效果越明显，当流速中增加到 0.40 m/s 时，Chla 峰值降为 0.345 mg/l。

图 5(b)所示为紊流实验下 Chla 的变化情况，紊流耗散率为  $0.00\sim 0.26 \text{ m}^2/\text{s}^3 \times 10^{-4}$  时，藻类生长峰值高于静止条件，最高峰值为 0.651 mg/l ( $\epsilon_0 = 0.26 \text{ m}^2/\text{s}^3 \times 10^{-4}$ )，此范围内紊流耗散率对藻类的生长起促进作用；紊流耗散率为  $0.26\sim 4.98 \text{ m}^2/\text{s}^3 \times 10^{-4}$  时，藻类生长峰值低于静止紊流耗散率，并随紊流耗散率的增加逐渐减少，并且峰

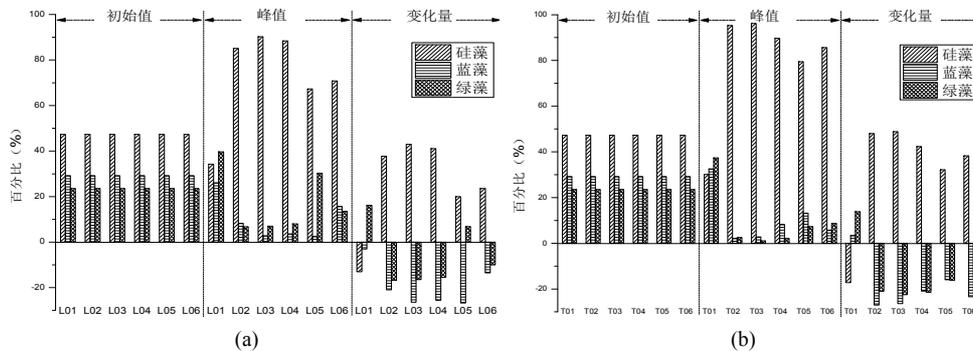


Figure 4. Algae population versus velocity hydrodynamic condition  
 图 4. 水动力条件变化时藻类种群变化

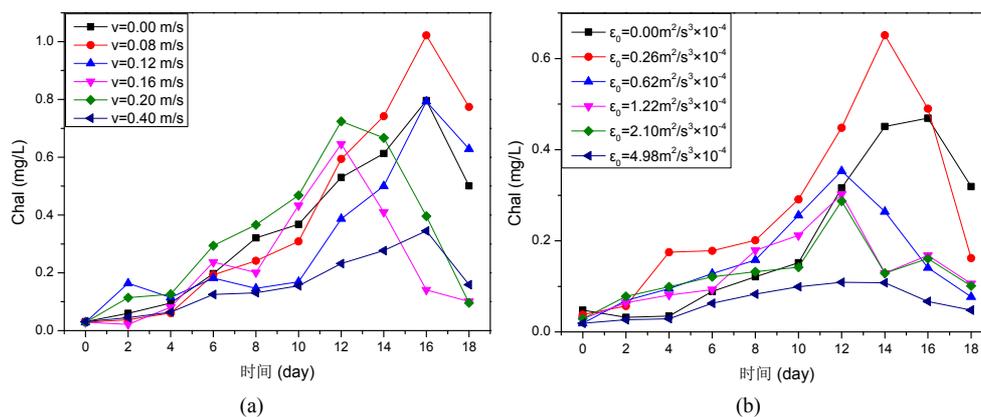


Figure 5. Chlorophyll a concentration change over time under different hydrodynamic condition  
图 5. 不同水动力条件下叶绿素 a 浓度随时间的变化

值出现的时间普遍提前。对于水动力条件而言, 只有当流速、紊流耗散率足够低时才会促进硅藻的生长, 当流速、紊流耗散率升高时, 则会抑制藻类的生长。王培丽 [8] 在研究汉江硅藻水华爆发机制时发现, 一定程度的水体扰动(0.38 m/s)会抑制梅尼小环藻的生长, 这与本研究结果相符合。

#### 4. 结论

实验证明, 水动力条件的变化会显著促进库区硅藻的生长, 使其成为优势藻种, 因此, 库区次级支流更易于爆发硅藻类水华。此外, 对于混合藻种, 当水流速度为 0.00~0.12 m/s、紊流耗散率为  $0.00\sim 0.62 \text{ m}^2/\text{s}^3 \times 10^{-4}$  时对水体中藻类的增长有促进作用, 随着流速、紊流耗散率的继续增加藻类生长呈下降趋势, 且流速、紊流耗散率越大抑制越明显。因此, 对于水华易发季节, 可以通过调节库区水动力学条件, 预防大面积次级支流的水华的爆发。

#### 基金项目

国家自然科学基金(项目号: 51209240/51208534), 中央高校基金(项目号: CDJZR14215501)。

#### 参考文献 (References)

- [1] 孟春红, 赵冰. 三峡水库蓄水后水文特性和污染因素分析[J]. 人民长江, 2007(8): 26-27.  
MENG Chunhong, ZHAO Bin. The hydrological features and pollution factor analysis after the impoundment of the Three Gorges Reservoir. Yangtze River, 2007(8): 26-27. (in Chinese)
- [2] 王敏, 张智, 等. 嘉陵江出口段硅藻水华发生规律[J]. 环境科学研究, 2011, 24(2): 191-198.  
WANG Min, ZHANG Zhi, et al. Occurrence regularity of diatom bloom in the confluence section of Jialing River. Journal of Environmental Sciences, 2011, 24(2): 191-198. (in Chinese)
- [3] 黄宁秋, 安强, 龙天渝, 等. 流速变化对于三峡库区次级支流富营养状况的影响[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2012(S2): 206-210.  
HUANG Ningqiu, AN Qiang, LONG Tianyu, et al. Speed change for the influence of the secondary tributary of the Three Gorges Reservoir eutrophication status. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2012(S2): 206-210. (in Chinese)
- [4] ORLINS, J. J., GULLIVER, J. S. Turbulence quantification and sediment resuspension in oscillating grid chamber. Experiment in Fluids, 2003, 34(6): 662- 677. <http://dx.doi.org/10.1007/s00348-003-0595-z>
- [5] THONPSON, S. M., TURNER, J. S. Mixing across an interface due to turbulence generated by an oscillating grid. Journal of Fluid Mechanics, 1975, 67(2): 349-368. <http://dx.doi.org/10.1017/S0022112075000341>
- [6] 雷欢, 梁银栓, 等. 三峡水库童庄河浮游植物及其与水质的关系[J]. 湖泊科学, 2010, 2(22): 195-200.  
LEI Huan, LIANG Yinshuan, et al. The Three Gorges Reservoir TongZhuangHe phytoplankton and its relationship with water. Journal of Lake Sciences. 2010, 2(22): 195-200. (in Chinese)

- [7] 胡建林, 刘国祥, 等. 三峡库区重庆段主要支流春季浮游植物调查[J]. 水生生物学报, 2006, 30(1): 116-119.  
HU Jianlin, LIU Guoxiang, et al. Investigation on the phytoplankton of spring from Three Gorges Reservoir in Chongqing. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 116-119. (in Chinese)
- [8] 王培丽. 从水动力和营养角度探讨汉江硅藻水华发生机制的研究[D]. 武汉: 华中农业大学硕士论文, 2010.  
WANG Peili. From the perspective of hydrodynamic and nutrition of the Han River diatom bloom mechanism research. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010. (in Chinese)