

三峡水库香溪河库湾春季水华暴发藻类种源研究

杨霞, 刘德富, 杨正健

三峡大学土木水电学院, 湖北 宜昌 443002

摘要: 2008年2月18日—4月17日, 在距离香溪河河口约19 km处设一野外观测站, 对观测站附近一定点进行持续监测, 并在观测站进行围隔试验, 探索香溪河库湾春季水华暴发藻类的种源, 揭示水华暴发过程。监测结果表明: 香溪河库湾春季硅藻(*Diatom*) (主要是针杆藻 *Synedra*、星杆藻 *Asterionella*) 水华藻类种源是原地水体, 底泥对硅藻水华暴发影响不明显; 2008年观测站附近的甲藻(*Protoperidinium sp.*)种源不是底泥中的孢囊。2008年春季香溪河库湾水华暴发过程可以分为“复苏—增长—衰亡”三个阶段, 其中溶解性硅酸盐(D-Si)和光照是水华藻类复苏阶段的主要影响因子, 而增长阶段的主要影响因子则是溶解性硅酸盐(D-Si)和总磷(TP), 衰亡阶段由于4月8日骤降暴雨, 浊度和降雨量是该阶段的主要影响因子。

关键词: 三峡水库; 香溪河库湾; 水华; 藻类种源

中图分类号: X17

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2051-06

三峡水库蓄水后, 香溪河河口至峡口镇平邑口约24 km左右河段受其影响, 水流速度明显减缓, 营养物质滞留时间增长, 面临严重的富营养化问题^[1], 同时也给藻类生长提供了物质基础, 在适宜的气候条件下容易暴发水华。自三峡水库蓄水以来, 香溪河、大宁河等主要支流库湾每年都暴发了不同程度的水华现象^[2-4]。目前多数观点认同藻类水华的形成一般是由藻类本身的生理特点以及温度、光照、营养盐、缓慢的水流等诸多环境因素所引发的^[5-6]。多年来很多学者致力于水华发生的机理研究, Briand等^[7]人研究得出在混合藻类种群的河流中, 温度20℃时硅藻(*Diatom*)占优势; 30℃时绿藻(*Chlorella*)占优势; 35~40℃时蓝藻(*Cyanophytes*)占优。Kamermans等^[8]认为, 一些藻类能在春季迅速生长并在夏季形成水华的主要原因就是在冬季这些藻细胞埋于底泥中得以生存。孔繁翔等^[9]通过对太湖蓝藻多年研究, 提出了水华的形成可以分为休眠、复苏、生物量增加(生长)、上浮及聚集等4个阶段, 指出每个阶段中蓝藻的生理特性及主导影响因子有所不同。上述研究主要以湖泊为主, 对河道型水库及河流研究较少, 为了研究因三峡水库蓄水水华频繁暴发的香溪河库湾中藻类水华的种源及水华暴发的过程, 本课题组在香溪河设置野外观测站进行持续调查, 同时进行围隔试验, 对各样点营养盐、叶绿素a浓度、光照及相关理化因子进行监测, 以期对三峡水库水环境的保护和水华的防治提供一定的依据和参考。

1 材料与方法

1.1 采样点的设置

利用三峡大学在距离香溪河口约19 km处设置

的水生态与环境野外观测站(图1中S1所示)进行围隔实验, 同时对观测站附近一定点(DD)处自然水体中水环境因子进行为期60 d的持续监测。

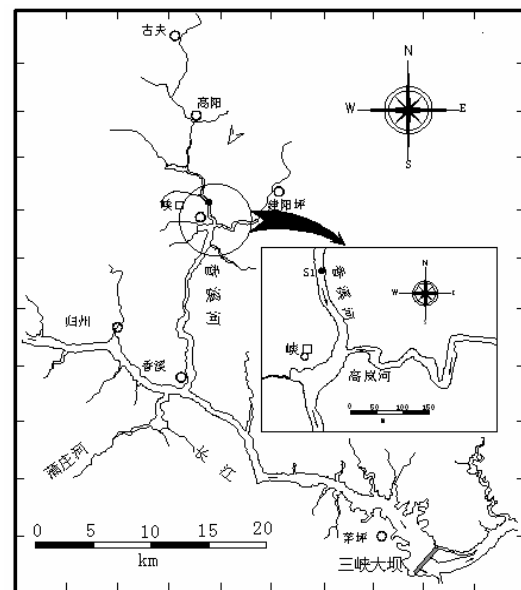


图1 观测站在香溪河中的位置

Fig.1 Position of research station in XiangXi Bay

1.2 实验设计

围隔利用不透水的聚乙烯材料制成。围隔试验分三组进行, 每组水体营养条件、环境条件及水动力条件相同。对三组围隔各设置两个平行试验。围隔设计标准如表1。根据围隔的设计标准, 制作围隔, 示意图如图2。

1-1、1-2为一组平行试验。将钢圈深入底泥并用原河水充满, 该组平行试验与底泥贯通, 藻类种源可能来源于水体或底泥, 称其为种源底泥1、种

基金项目: 国家自然科学基金项目(50679038); 湖北省科技攻关项目(2005AA401C38)

作者简介: 杨霞(1986年生), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生态水工学。E-mail: yangxia1986@126.com

收稿日期: 2009-10-08

表1 围隔设计标准

Table 1 The design standard of the isolated water column

序号	围隔编号	直径/m	深度	材料	设置	围隔内水体
1	1-1	1	到河底	钢圈+薄膜	钢圈深入底泥中,整个围隔贯通	河流原水
2	1-2	1	到河底	钢圈+薄膜	钢圈深入底泥中,整个围隔贯通	河流原水
3	2-1	1	到河底	钢圈+薄膜	钢圈深入底泥中,下部水体与底泥用浮游植物网隔开	河流原水
4	2-1	1	到河底	钢圈+薄膜	钢圈深入底泥中,下部水体与底泥用浮游植物网隔开	河流原水
5	3-1	1	到河底	钢圈+薄膜	钢圈深入底泥中,下部水体与底泥用浮游植物网隔开	过滤水
6	3-2	1	到河底	钢圈+薄膜	钢圈深入底泥中,下部水体与底泥用浮游植物网隔开	过滤水

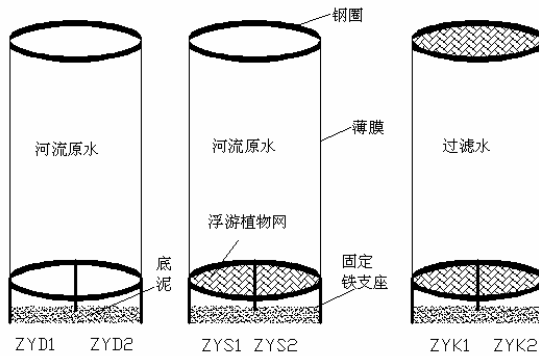


图2 各组围隔示意图

Fig.2 The schemes of isolated water column

源底泥2(即ZYD1、ZYD2);

2-1、2-2为第二组平行试验。将钢圈深入底泥,两围隔底部用浮游植物网(4层孔径为30 μm的绢网)与底泥隔开并用原河水充满。该组平行试验排除底泥的影响,藻类水华种源可能来源于水体,称为种源水1、种源水2(即ZYS1、ZYS2);

3-1、3-2为第三组平行试验,将钢圈深入底泥,两围隔底部用上述同样的浮游植物网与底泥隔开并用经浮游植物网过滤后的河水充满。该组平行试验排除底泥和河水藻类种源可能来源于水体,称为种源水1、种源水2(即ZYS1、ZYS2);

1.3 监测指标

主要监测项目为:水温(Temp.)、水深(Depth)、浊度(Turb)、电导率(Cond)、pH、溶解氧(DO)叶绿素a(Chl.a)、总氮(TN)、硝酸盐氮(NO₃-N)、氨氮(NH₄-N)、总磷(TP)、正磷酸盐(PO₄-P)、溶解性硅酸盐(D-Si)、空气光照、水下光强和降雨量。

1.4 监测方法

水温、水深、电导率、溶解氧、pH、浊度、叶绿素a利用Hydrolab DS5多参数水质监测仪分层测定;空气光照用TES-1339照度计测定;水下光强使用ZDS-10W-1D型水下照度计测定;TN、NO₃-N、NH₄-N、TP、PO₄-P、D-Si取水样带回实验室参考《水和废水分析方法》(第四版)^[10]和《湖泊生态调查观测与分析》^[11]测定。

2 结果与分析

对围隔试验中各组平行试验(ZYD1与ZYD2、ZYS1与ZYS2、ZYK1与ZYK2)的监测数据进行平均得到ZYD、ZYS、ZYK三个水柱中相关因子在2月18日—4月17日间的变化情况。处于自然水体中的定点(DD)由监测数据直接得到相关因子的变化。

2.1 水华暴发过程阶段分区

为探讨三峡水库香溪河库湾春季水华暴发的过程,对各水柱2月18日—4月17日间监测到的相关因子在SPSS for Windows 13.0中用聚类分析进行阶段分区。为了便于分析,并使各指标能够最大程度地反映各水柱每天的差异,参与分析的各监测项目中,温度取日间层内温度极差,叶绿素a指标取表层的浓度,电导率、溶解氧、浊度、pH值均取每天的均值,降水采用当天的降雨量,水下光强取每天各水柱中的可见光衰减系数K_{Sd}。可见光衰减系数的计算公式为^[12, 13]:

$$K_{Sd} = \frac{1}{Sd} \ln \frac{E(0)}{E(Sd)},$$

Sd为透明度, E(Sd)为透明度Sd处的可见光光强, E(0)为起始面可见光辐照度。聚类分析时,由于所有监测项目单位不完全相同,为了消除量纲的影响,对原始数据进行标准化,公式如下:

$$x_{ij} = (s_{ij} - \bar{s}_j) / \sqrt{\sum (s_{ij} - \bar{s}_j)^2 / (n-1)}$$

其中, x_{ij}为变量标准化之后第i天的第j个指标的数值, s_{ij}为原始数据, \bar{s}_j 为第j个指标的均值。聚类分析的方法采用目前国内外使用最多的系统聚类法,以欧氏距离(Euclidean Distance)度量样本之间的距离^[14],运用离差平方和法(Ward's method)生成具有层次结构的聚类树。聚类图及各围隔中对应的各阶段表层叶绿素a变化如图3所示。

由图4可知,定点水华暴发过程分为以下三个阶段:2月18日—3月8日,复苏阶段,历时20d,此阶段叶绿素a质量浓度从4.5 mg·m⁻³逐渐增大到70 mg·m⁻³;3月9日—4月7日,增长阶段,历时

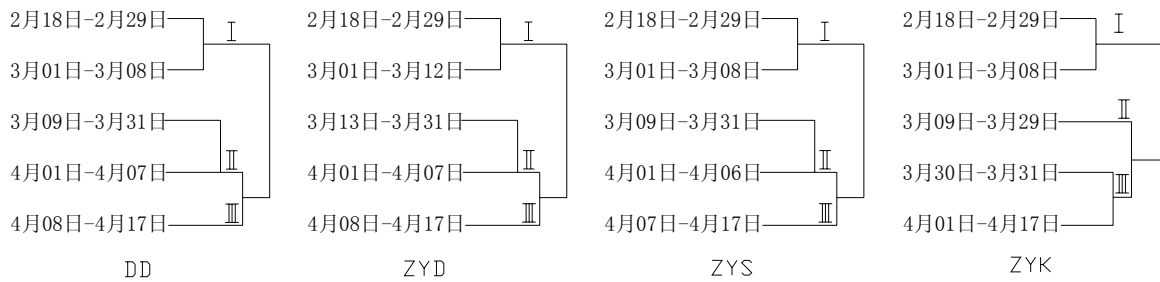


图3 采样点监测数据在时间上的聚类图

Fig.3 Cluster diagrams in time of datas in the four water columns in Xiangxi Bay

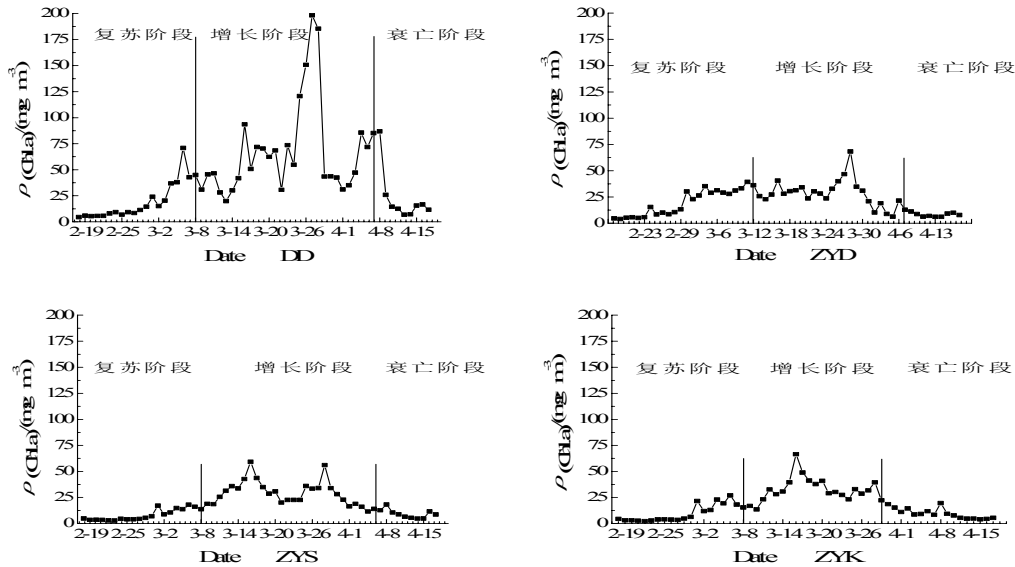


图4 各围隔各阶段的叶绿素 a 质量浓度变化

Fig.4 Concentration of chlorophyll-a in surface layer in every stage of the four water columns.(Unit:mg·m⁻³)

30 d, 叶绿素 a 质量浓度在此阶段达到最大, 约 200 mg·m⁻³; 4 月 8 日—4 月 17 日(试验结束), 衰亡阶段, 历时 10 d, 叶绿素 a 质量浓度从 86.8 mg·m⁻³ 逐渐减小到 6.7 mg·m⁻³。通过显微镜观察得知, 复苏阶段和增长阶段的优势藻种均为硅藻属(主要是针杆藻 *Synedra* 和星杆藻 *Asterionella*)和甲藻属; 衰亡阶段的优势藻种为硅藻属。

ZYD 水华暴发过程分为以下三个阶段: 2 月 18 日—3 月 12 日, 复苏阶段, 历时 24 d, 叶绿素 a 质量浓度从 4.0 mg/m³ 逐渐增大到 49.3 mg·m⁻³; 3 月 13 日—4 月 7 日, 增长阶段, 历时 26 d, 叶绿素 a 质量浓度在此阶段达到最大, 约 68.3 mg·m⁻³; 4 月 8 日—4 月 17 日, 衰亡阶段, 历时 10 d, 叶绿素 a 质量浓度从 11.1 mg·m⁻³ 逐渐减小到 6.0 mg·m⁻³。三个阶段中优势藻种均为硅藻属。

ZYS 水华暴发过程分为: 2 月 18 日—3 月 8 日, 复苏阶段, 历时 20 d, 叶绿素 a 质量浓度从 2.8 mg·m⁻³ 逐渐增大到 18 mg·m⁻³; 3 月 9 日—4 月 6 日, 增长阶段, 历时 29 d, 叶绿素 a 质量浓度在此阶段

达到最大, 为 59.1 mg·m⁻³; 4 月 7 日—4 月 17 日, 衰亡阶段, 历时 11 d, 叶绿素 a 质量浓度从 18.1 mg·m⁻³ 逐渐减小到 4.7 mg·m⁻³。三个阶段中优势藻种均为硅藻属。

ZYK 水华暴发过程分为: 2 月 18 日—3 月 8 日, 复苏阶段, 历时 20 d, 叶绿素 a 质量浓度从 2.3 mg·m⁻³ 逐渐增大到 22.8 mg·m⁻³; 3 月 9 日—3 月 29 日, 增长阶段, 历时 21 d, 叶绿素 a 质量浓度在此阶段达到最大, 约 66.5 mg·m⁻³; 3 月 30 日—4 月 17 日, 衰亡阶段, 历时 19 d, 叶绿素 a 质量浓度从 19.5 mg·m⁻³ 逐渐减小到 4.0 mg·m⁻³。三个阶段中优势藻种均为硅藻属。

2.2 试验围隔的差异性分析

本试验主要研究水华暴发的种源是否为潜伏在底泥中的孢囊, 因此以 ZYD 划分的阶段为标准对四个水柱进行欧式距离分析, 研究四个水柱间的不相似性, 确定底泥对水华暴发过程的影响。参与分析的变量有: 温度、pH 值、溶解氧、电导率、浊度、叶绿素 a、水下光强、透明度及营养盐。以

欧氏距离度量样本之间的不相似程度。各阶段各水柱间距离如下:

四个水柱的监测均在观测站进行,因此各水柱在光照、水温、营养盐等方面的差异不大。如表2

所示,整个水华暴发过程中,DD与ZYD、ZYS、ZYK一直存在一定的距离且距离不断增加,即差异不断增大。由于围隔深入至水底,阻碍了水体的自然交换,ZYD、ZYS、ZYK三个围隔中水体只能通

表2 各阶段各水柱间距离

Table 2 Euclidean Distances between each other in the four pillars in the three stages

	复苏阶段				增长阶段				衰亡阶段			
	DD	ZYD	ZYS	ZYK	DD	ZYD	ZYS	ZYK	DD	ZYD	ZYS	ZYK
DD	0	2.082	4.513	4.257	0	9.627	10.17	10.83	0	8.653	12.91	13.17
ZYD		0	3.96	3.714		0	2.951	3.873		0	6.231	8.189
ZYS			0	0.647			0	2.027			0	6.553
ZYK				0				0				0

过底部与外界水体发生交换,与上下游水体的交换极少。而该观测站设置在比较开阔的河道上,水体的纵向扩散系数较大,DD处水体与上下游水体交换频繁。取标本通过显微镜观察得知,DD中优势藻种为硅藻(主要是针杆藻和星杆藻),其次为甲藻,而另外三个围隔中优势藻种均只有硅藻。由此,可以判断甲藻种源是从库湾中其他地方水平迁移而来的。试验过程中由于监测工作的进行会给各水柱带来感染,且浮游动物大量吞食藻类,导致各水柱中随着试验进行差异不断增大。

ZYD与底泥接触,ZYS与底泥隔绝,但均用原河水充满,整个过程中,二者间的距离一直较小,且两水柱中暴发水华的优势藻种均为硅藻,可以判断硅藻暴发的种源不是潜伏在底泥中的孢囊,而是原河水本身。衰亡阶段,由于随着试验的进行,对试验产生影响的作用随着时间的增加而不断积累,导致二者的距离有所增加。

ZYD与ZYK、ZYS与ZYK在整个过程中存在差异,且差异不断增大。ZYK用经浮游植物网过滤的河水充满的围隔,过滤了某些直径大于浮游植物

网孔径的藻种,应该与ZYS、ZYD存在差异,这也进一步证明了试验原理的正确性。

2.3 水华暴发过程主控因子分析

影响水华暴发过程的因子很多,如水温、光照、气温、营养盐等,但所有因子在水华暴发过程中所起的作用不同,所占的比重也不尽相同。本文对所有监测项目利用偏相关分析找出自然水体中水华暴发各阶段中主要影响因子。偏相关分析是指在对其他变量的影响进行控制的条件下,分析多个变量中某两个变量之间的线性相关程度。偏相关系数更能反映现象之间的真实关系^[15]。

前面对DD水柱水华暴发过程分为“复苏—增长—衰亡”三个阶段,各阶段相关因子对水华暴发过程中的影响程度如表3,表4,表5:

复苏阶段,各因子与叶绿素a的偏相关系数及影响程度排序如表3。其中影响最大的是溶解性硅酸盐,其次为光照。同前所述,2008年香溪河春季水华暴发的优势藻种为硅藻属,而硅是硅藻生长合成硅壳必不可少的元素。复苏阶段藻类开始繁殖,消耗大量的硅元素,而溶解性硅酸盐是其主要的供

表3 复苏阶段相关因子与叶绿素a偏相关程度系数汇总

Table 5 Summary statement of partial correlation coefficient between the correlative factors and chlorophyll-a in the recovery stage

指标	溶解性硅酸盐	光照	溶解氧	硝酸盐氮	浊度	气温	正磷酸盐	氨氮	pH	水温	水下光强	总磷	降雨量	总氮	电导率
偏相关系数	-0.552	-0.472	-0.411	0.366	-0.328	0.311	-0.23	-0.226	-0.225	-0.215	-0.121	0.098	0.097	-0.086	-0.078
相关程度	0.552	0.472	0.411	0.366	0.328	0.311	0.23	0.226	0.225	0.215	0.121	0.098	0.097	0.086	0.078
归一处理	0.145	0.124	0.108	0.096	0.086	0.081	0.06	0.059	0.059	0.056	0.032	0.026	0.025	0.023	0.02
影响排序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

表4 增长阶段相关因子与叶绿素a偏相关程度系数汇总

Table 6 Summary statement of partial correlation coefficient between the correlative factors and chlorophyll-a in the growth stage

指标	溶解性硅酸盐	电导率	总磷	气温	正磷酸盐	水下光强	溶解氧	总氮	降雨量	氨氮	浊度	pH	光照	硝酸盐氮	水温
偏相关系数	0.813	-0.655	-0.629	-0.465	0.438	-0.423	-0.421	0.388	-0.298	-0.297	-0.262	0.092	-0.083	-0.04	0.004
相关程度	0.813	0.655	0.629	0.465	0.438	0.423	0.421	0.388	0.298	0.297	0.262	0.092	0.083	0.04	0.004
归一处理	0.213	0.172	0.165	0.122	0.115	0.111	0.11	0.102	0.078	0.078	0.069	0.024	0.022	0.01	0.001
影响排序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

表 5 衰亡阶段相关因子与叶绿素 a 偏相关程度系数汇总

Table 7 Summary statement of partial correlation coefficient between the correlative factors and chlorophyll-a in the decline stage

指标	浊度	降雨量	溶解氧	正磷酸盐	溶解性硅酸盐	电导率	光照	水下光强	气温	总磷	硝酸盐氮	总氮	pH	氨氮	水温
偏相关系数	0.915	0.871	0.817	0.814	-0.799	-0.757	0.752	0.749	-0.71	0.686	-0.533	0.484	-0.482	-0.161	-0.016
相关程度	0.915	0.871	0.817	0.814	0.799	0.757	0.752	0.749	0.71	0.686	0.533	0.484	0.482	0.161	0.016
归一处理	0.24	0.228	0.214	0.213	0.209	0.198	0.197	0.196	0.186	0.18	0.14	0.127	0.126	0.042	0.004
影响排序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

给者，因此，硅酸盐是藻类复苏的主要影响因子。藻类复苏生长需要进行光合作用，光照是其复苏不可或缺的因素。

增长阶段，如表 4，各因子中对叶绿素 a 影响最大的是溶解性硅酸盐，其次是总磷和气温。由此可知，藻类增长过程中受营养盐和气温的控制。原因可能是藻类大量生长需要消耗大量的营养元素，而气温升高则是藻类增长的自然控制因子。

衰亡阶段，如表 5，各因子中对叶绿素 a 影响最大的是浊度，其次是降雨量。由监测过程可知，2008 年 4 月 8 日突降暴雨，降水量为 57 mm 且持续时间较长，造成浊度明显高于平时，约为平时的 5~10 倍。由于浊度增加水下光强减小，阻碍了藻类进行光合作用，藻类所需要的营养盐也被大量雨水稀释，导致藻类衰亡。

2.4 讨论

赤潮生物的来源，可分为由原地水体中增殖或由其它海区运输而来，以及由原地底泥中的孢囊萌发或由其他海区运输而来的孢囊萌发这四种情况^[16]。本实验连续监测的数据显示，用原河水充满的与底泥直接接触的围隔和与底泥隔绝的围隔差异很小，且优势藻种均为硅藻，表明该实验点硅藻（主要是针杆藻和星杆藻）暴发的种源不是潜伏在底泥中的孢囊，而有可能是原河水本身增殖而来的。由长期野外观测得知，观测站上游平邑口附近常率先暴发水华且水华较严重，本次实验过程中，观测站附近一定点暴发了甲藻水华和硅藻水华，而围隔中只暴发了硅藻水华，表明 2008 年观测站附近暴发的甲藻水华的种源是从库湾上游水平迁移而来。孔繁翔等^[9]在对太湖水华形成机理的研究中提出“在四季分明、扰动剧烈的长江中下游大型浅水湖泊中，藻的生长与水华的形成可以分为休眠、复苏、生物量增加、上浮和积聚形成水华等 4 个主要的阶段”，本实验对春季水华暴发的过程进行聚类分析，发现整个过程存在“复苏-增长-衰亡”三个阶段，且溶解性硅酸盐是硅藻水华暴发过程的主要影响因子，2008 年 4 月 8 日的暴雨对水华消亡有很大影响。另外，本次试验过程中水华暴发最严重时，处于自然水体中的定点和各围隔中的优势藻种相同，均为硅藻，但定点表层叶绿素 a 质量浓度大约为 200

mg·m⁻³，而各围隔中水华暴发严重时表层叶绿素 a 质量浓度大约为 80 mg·m⁻³（如图 4），这可能说明围隔环境不适合硅藻生长，这一观点有待进一步试验验证。由于野外试验的影响因子较多，且不易控制，因此不可避免地存在较大误差，但应尽量减小人为造成的误差，在监测过程中应尽量做到专人、定点、定时监测。种源试验应当尽量减少对围隔的扰动，减少围隔间的感染，为此，可以在水华暴发不明显的时段进行每 3~5 d 监测一次，水华暴发严重的时段进行每天持续监测。由于河道型水库的纵向扩散系数较大，建议下一步研究选取水深不大且纵向扩散系数较小的河湾中进行试验。

参考文献：

- [1] 叶麟. 三峡水库香溪河库湾富营养化及春季水华研究[D]. 武汉: 中国科学院, 2006.
YE Lin. Study on spring phytoplankton bloom and eutrophication in XiangXi Bay in Three Gorges reservoir[D]. Wuhan: Chinese Academy of Science, 2006.
- [2] 蔡庆华, 胡征宇. 三峡水库富营养化问题与对策研究[J]. 水生生物学, 2006, 30(1): 7-11.
CAI Qinhu, HU Zhengyu. Studies on eutrophication problem and control strategy in the Three Gorges Reservoir[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(1): 7-11.
- [3] 韩新芹, 叶麟, 徐耀阳, 等. 香溪河库湾春季叶绿素 a 浓度动态及其影响因子分析 [J]. 水生生物学, 2006, 30(1): 89-94.
HAN Xinqin, YE Lin, XU Yaoyang, et al. Analysis of the spatial and temporal changes of chlorophylla concentration in XiangXi Bay in spring and its impact factors[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(1): 89-94.
- [4] 诸葛亦斯, 欧阳丽, 纪道斌, 等. 三峡水库香溪河库湾水华生消的数值模拟分析[J]. 中国农村水利水电, 2009, 5: 18-22.
ZHUGE Yisi, OUYANG Li, Ji Daobin, et al. Numerical simulation of algal bloom in XiangXi Bay at Three Gorges Reservoir[J]. China Rural Water and Hydropower, 2009, 5: 18-22.
- [5] Paerl W., Fulton R.S., Moisander P.H. Harmful freshwater algal bloom s, with an emphasis on cyanobacteria [J]. Sciworld, 2001, 1: 76-113
- [6] 李锦秀, 杜斌, 孙以三. 水动力条件对富营养化影响规律探讨 [J]. 水利水电技术, 2005, 36(5): 15-18.
LI Jinxiu, DU Bin, SUN Yisan. Effect of hydrodynamics on the eutrophication[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005, 36(5): 15-18.
- [7] BRIANDJF, ROBILLOTQ, LLOBERASC Q. Environmental context

- of *Cylindrospermopsis baltica* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France [J]. *Water Research*, 2002,36(13): 3183-92.
- [8] Kamermans P., Malta E.J. Role of cold resistance and buriak for winter survival and spring initiation of an *Ulvaspp.* (Chlorophyta) bloom in a eutrophic lagoon (Veerse Meer lagoon, The Netherlands) [J]. *Marine Biology* 1998, 131:45-51
- [9] 孔繁翔, 高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考 [J]. *生态学报*, 2005, 25(3): 589-95.
KONG Fanxiang, GAO Guang. Hypothesis on cyanobacteria bloom-forming mechanism in large shallow eutrophic lakes [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 生态学报, 2005,25(3):590-594.
- [10] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
Country Environmental protection Bureau. Water and waste water monitor analysis method [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental science Press, 2002.
- [11] 黄祥飞, 陈伟明, 蔡启铭. 湖泊生态调查观测与分析 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
HUANG Xiangfei, CHEN Weiming, CAI Qiming. Ecology investigation observation and analysis on lake [M]. Beijing: Chinese Standard Press, 2000.
- [12] 徐耀阳, 叶麟, 韩新芹, 等. 香溪河库湾春季水华期间水体光学特性及
相关分析 [J]. *水生生物学报*, 2006, 30(1): 85-87.
XU Yaoyang, YE Lin, HAN Xinqing, et al. Characteristic and regression analysis of the par attenuation coefficient in XiangXi Bay during spring bloom [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 85-87.
- [13] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体光学衰减系数的分布及其变化特征 [J]. *水科学进展*, 2003, 14(4): 447-453.
ZHANG Yunlin, QING Boqiang, CHEN Weimin, et al. Analysis on distribution and variation of beam attenuation coefficient of Taihu Lake's water [J]. *Advances in Water Science*, 2003, 14(4): 447-453.
- [14] Fovell R, Fovell M Y. Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis [J]. *Journal of Climate*, 1993, 6(11): 2103-2135.
- [15] 章文波, 陈红艳. 实用数据统计分析及 SPSS 12.0 应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
ZHANG Wenbo, CHEN Hongyan. Practical data statistical analysis and SPSS 12.0 applications [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2006.
- [16] 陈翰林, 吕颂辉, 张传松, 等. 2004 年东海原甲藻水华暴发的现场调查和分析 [J]. *生态科学*, 2006, 25(3): 229-230.
CHEN Hanlin, LU Songhui, ZHANG Chuansong, et al. Spot investigation and analysis on the armor algae water bloom in china eastsea in 2004 *Ecologic Science*, 2006, 25(3): 229-230.

The origin of algae in the spring phytoplankton bloom in XiangXi Bay

YANG Xia, LIU Defu, YANG Zhengjian

College of Civil & Hydroelectric Engineering, China Three Gorges University, YiChang 443002, China

Abstract: This paper aims to seek for the origin of algae in the water bloom and reveal the three stages of the bloom in the XiangXi Bay of the Three Gorges Reservoir. Daily monitoring for the special sampling site and enclosure experiment were carried during the phytoplankton bloom period (18 Feb.-17Apr, 2008), The results show that *Diatom* (mostly *Synedra* and *Asterionella*) is not from the bottom mud of the bay but from the water itself. And *pyrrhophyta*, which can generate *sporangiocysts* near the outdoor monitoring site in the water bloom period, is not from the bottom mud of the river but through transmission from other places in the bay. The spring phytoplankton bloom can be divided into three stages: recovery-growth-decline. And the main factors which accelerate the respective stages are dissolved silicate and illuminance, dissolved silicate and total phosphorus, and turbidity **and precipitation**.

Key words: Three Gorges Reservoir; XiangXi Bay; Phytoplankton bloom; Origin of Algae