

## 太湖北部隐藻生物量时空动态\*

刘霞<sup>1,2</sup>, 陆晓华<sup>1</sup>, 陈宇炜<sup>2\*\*</sup>

(1: 华中科技大学环境科学与工程学院, 武汉 430074)

(2: 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

**摘要:** 利用 2005—2009 年每月一次的监测资料, 对太湖竺山湾、梅梁湾和贡湖湾理化因子和浮游植物, 特别是隐藻生物量周年季节变化进行比较研究, 探讨环境因子以及蓝藻变化对隐藻生物量的影响. 结果显示, 竺山湾内隐藻平均生物量 (1.89 mg/L) 高于梅梁湾 (0.87 mg/L)、贡湖湾 (0.43 mg/L). 2008—2009 年隐藻平均生物量 (2.12 mg/L) 高于 2005—2007 年平均生物量 (0.28 mg/L). 通过与环境因子的时空差异比较分析, 竺山湾内高营养盐浓度、高有机质浓度和高悬浮质浓度使得隐藻更具有竞争优势, 而贡湖湾内浮游动物的摄食作用可能限制了隐藻生物量. 同时, 太湖隐藻与蓝藻的竞争演替趋势明显, 春夏季高温和蓝藻的过度繁盛可能对隐藻的生长产生抑制作用.

**关键词:** 隐藻; 蓝藻; 竺山湾; 梅梁湾; 贡湖湾; 太湖; 生物量

## Temporal and spatial dynamics of Cryptophytes biomass in the north of Lake Taihu

LIU Xia<sup>1,2</sup>, LU Xiaohua<sup>1</sup> & CHEN Yuwei<sup>2</sup>

(1: *School of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, P. R. China*)

(2: *State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China*)

**Abstract:** The variation of the abundance of Cryptophytes was analyzed using monthly monitoring data during 2005–2009 in large shallow eutrophic Lake Taihu in China. The environmental factors and variations in cyanobacterial biomass were analyzed to explain the spatial and temporal distribution of Cryptophytes at three stations in Lake Taihu (Zhushan Bay, Meiliang Bay and Gonghu Bay). The results showed that: The mean biomass of the Cryptophytes in Zhushan Bay (1.89 mg/L) was much higher than that of Meiliang Bay (0.87 mg/L) and Gonghu Bay (0.43 mg/L); The average biomass of Cryptophytes in 2008–2009 (2.12 mg/L) was much higher than that in 2005–2007 (0.28 mg/L); Principally, Cryptophytes were most prevalent in Zhushan Bay which was marked by higher nutrient levels, higher organic matter and suspended solid concentrations. The succession of Cryptophytes was mainly affected by the grazing of zooplankton in Gonghu Bay. Furthermore, Cryptophytes and Cyanobacteria abundances were found to be inversely correlated, temporally, in Lake Taihu. Cyanobacteria seem able to reduce the biomass of Cryptophytes.

**Keywords:** Cryptophytes; Cyanobacteria; Zhushan Bay; Meiliang Bay; Gonghu Bay; Lake Taihu; biomass

隐藻 (Cryptophytes) 的某些特殊生理机制, 如独特的光合色素、兼性营养方式使得它广泛存在于海洋和淡水生态系统中<sup>[1-2]</sup>. 隐藻可以利用特有的光合色素最大化吸收光; 即使在低光照下, 它也可以吞噬外界的有机营养盐作为能量物质<sup>[3-5]</sup>. 与其它藻类相比, 隐藻更适应于低光照且高有机质浓度的水体环境. 同时, 隐藻中的许多种类能适应宽范围的辐射照度<sup>[6]</sup>, 对富营养化有很强的耐受性<sup>[7]</sup>. 以往的研究大多集中在海洋硅藻、甲藻以及淡水蓝藻, 却忽略了隐藻这一特殊类群.

关于太湖隐藻的调查最早可追溯至 1950 年. 调查结果显示, 五里湖的浮游植物以隐藻和硅藻占优势,

\* 国家重点基础研究发展计划“973”项目 (2008CB418005) 资助. 2011-06-25 收稿; 2011-10-08 收修改稿. 刘霞, 女, 1983 年生, 博士研究生; E-mail: zjyapple\_1983@yahoo.com.cn.

\*\* 通信作者; E-mail: ywchen@niglas.ac.cn.

而隐藻密度在春秋季节最大<sup>[8]</sup>. 1987 年, 夏季(7 月)浮游植物总生物量中, 隐藻占 32.7%, 仅次于蓝藻(55.3%); 春季(4 月)隐藻为最大的优势类群. 在 1988 年 3 月的调查中, 隐藻(占 34.6%)与硅藻(占 35.6%)的优势度几乎相等<sup>[9]</sup>. 从空间格局来看, 1987—1988 年隐藻在五里湖、三山湖、竺山湖、小梅口、东太湖占优势. 从全湖平均值来看, 隐藻占藻类总生物量的 24.8%, 仅次于蓝藻的 37.7%<sup>[9]</sup>. 1991—1999 年, 太湖梅梁湾和大湖面隐藻最大生物量往往出现在直链硅藻最大生物量之前或之后, 持续时间非常短暂. 在某些年份, 隐藻最大生物量出现在春季 4、5 月<sup>[10]</sup>. 由此可见, 半个多世纪以来对太湖隐藻的研究极为零散简单, 仅有的描述也只是简单涉及到隐藻生物量, 而缺乏对引起该生物量变化的原因及其与生境之间关系的探讨, 且研究的区域主要集中在富营养化程度严重的梅梁湾.

本研究利用 2005—2009 年的太湖监测资料, 初步分析太湖北部三个湖湾(竺山湾、梅梁湾、贡湖湾)隐藻生物量时空差异的形成原因, 从而研究隐藻与太湖蓝藻的相互影响关系.

## 1 研究方法

### 1.1 研究对象

太湖(30°55'40"~31°32'58"N, 119°52'32"~120°36'10"E)位于长江三角洲太湖平原上, 靠近上海, 全湖总面积为 2338 km<sup>2</sup>, 平均水深 1.9 m, 是一个典型的大型浅水湖泊<sup>[11]</sup>. 考虑到太湖空间异质性大, 不同湖区可以代表不同类型的浅水湖泊, 因此, 根据营养水平、水草分布、风浪水平及地理位置差异将西太湖北部分成梅梁湾、贡湖湾和竺山湾进行比较. 这几个湖湾大都因为水流缓慢、水浅及盛行风向作用而成为太湖受污染或富营养化较为严重的地方. 2000 年以前, 太湖蓝藻水华主要出现在梅梁湾、竺山湾, 以及竺山湾和梅梁湾相连的水域, 梅梁湾发生频率远高于竺山湾. 2005 年以来, 贡湖湾也时有蓝藻水华发生, 2007 年贡湖湾蓝藻水华的频率明显增加<sup>[12]</sup>.

本研究均匀布设 8 个采样点(图 1), 其中 Z1~Z2 位于竺山湾, M1~M4 从北向南均匀分布在梅梁湾内, G1~G2 位于贡湖湾, 贡湖湾是一个藻草混合型湖区, 其富营养化水平较梅梁湾轻. 监测时间从 2005 年 1 月—2009 年 12 月, 每月采样一次.

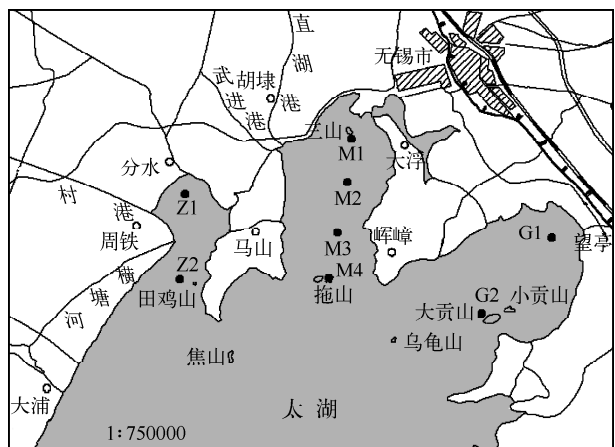


图 1 太湖北部采样点分布  
Fig. 1 Distribution of sampling sites  
in the north of Lake Taihu

### 1.2 实验方法

每个采样点用长 2 m、直径为 10 cm 的中空塑料管采集水样 1 L, 混匀带回. 浮游植物样品用鲁哥试剂固定沉淀 48 h 后进行显微镜分类计数. 计数时, 用细小虹吸管(内径 3 mm)吸去上清液, 最后定容到 30 ml<sup>[13]</sup>. 取浓缩后的 0.1 ml 样品通过显微镜在 ×400 下鉴定, 浮游植物种类参照《中国淡水藻类》<sup>[14]</sup>. 浮游植物生物量根据细胞体积的测定换算, 将 1 mm<sup>3</sup> 细胞体积换算成 1 mg 鲜重生物量<sup>[10]</sup>. 水样物理化学指标水温、pH、悬浮质(SS)、总氮(TN)、总磷(TP)、硝氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、亚硝氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)、铵氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、磷酸盐(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)等具体测定步骤参照《湖泊富营养化调查规范》<sup>[15]</sup>. 本文数据分析时将 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度相加之和定义为 NO<sub>x</sub><sup>-</sup>-N<sup>[16]</sup>. 浮游植物叶绿素 a(Chl. a)含量采用分光光度法测定<sup>[17]</sup>. 用岛津 TOC 仪测定溶解性有机碳(DOC).

### 1.3 数据分析

采用 ArcGIS 9.2 软件模拟浮游藻类的空间分布, 用 ANOVA(One-Way ANOVA)检验隐藻生物量时空差异显著性. 基于竺山湾、梅梁湾和贡湖湾小生境的特点, 对其环境变量进行 Kruskal-Wallis 检验, 同时检验各

环境变量的年际变化差异性. 本文各种统计学检验均采用 SPSS 15.0 统计软件完成, 绘图使用 SigmaPlot 10.0 软件完成. 在进行相关分析和回归分析前, 除去 pH 值, 所有数据均进行  $\ln(x+1)$  转化. 以  $P < 0.05$  作为显著性检验标准.

藻类净变化率<sup>[18]</sup>  $r = (\ln C_2 - \ln C_1) / (t_2 - t_1)$ , 式中,  $C_1$  为初始藻类生物量,  $C_2$  为结束时藻类生物量,  $t_1$  为初始时间,  $t_2$  为结束时间.

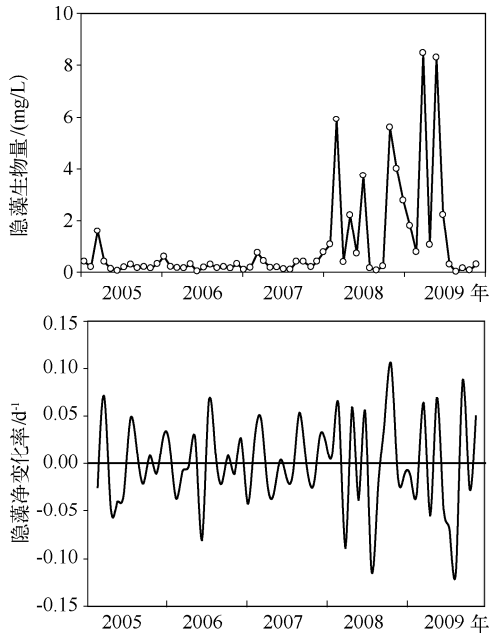


图 2 2005—2009 年太湖北部隐藻生物量 (a) 和净变化率 (b) 变化趋势

Fig. 2 Development of monthly average Cryptophytes biomass (a) and net growth rates (b) in the north of Lake Taihu from 2005 to 2009

## 2 结果

### 2.1 太湖北部隐藻生物量时间动态趋势

本次研究共鉴定到隐藻 3 种, 分别为卵形隐藻 (*Cryptomonas ovata*)、嗜蚀隐藻 (*Cryptomonas erosa*) 和偶见种尖尾蓝隐藻 (*Chroomonas acuta*), 其中 *Cryptomonas* 是太湖隐藻门类中的优势属<sup>[10]</sup>, 其生物量占隐藻总生物量的 99.5%.

2005—2009 年, 隐藻生物量年际变化显著 ( $F = 4.317$ ,  $P = 0.004$ ), 其月平均生物量变化范围为 0.01 ~ 8.49 mg/L (图 2a), 其中最大值 8.49 mg/L 出现在 2009 年 4 月. 2005—2007 年, 隐藻生物量均小于 1 mg/L, 其平均值为 0.28 mg/L; 2008—2009 年隐藻生物量明显高于 2005—2007 年, 其平均值为 2.12 mg/L.

藻类生物量净变化率反映的是藻类生物量每天或增或减的变化趋势, 以零值为界. 如果净变化率大于零值, 说明藻类生物量是增加的; 反之, 如果净变化率小于零值, 说明藻类生物量是减少的. 太湖北部隐藻生长净变化率起伏波动频繁. 2005—2009 年, 每年 1—3 月和 10—12 月隐藻净变化率值基本处于零界值以上, 4—6 月, 其净变化率值基本小于零值, 而 7—9 月其净变化率值或高于零值或低于零值, 其中最大净变化率出现在 2008 年 10—12 月, 说明隐藻生物量在此

期间显著增加; 而最小净变化率发生在 2009 年 7—9 月, 则说明隐藻生物量在此期间显著减少 (图 2b).

### 2.2 太湖北部隐藻生物量空间分布格局

采用 Kruskal-Wallis 检验竺山湾、梅梁湾和贡湖湾环境因子区域差异, 结果表明, 三个区域的营养盐浓度、有机质浓度及悬浮质差异显著 (表 1), 这也证实太湖各区域小生境的特点.

浮游藻类生物量空间差异较大 ( $F = 2.889$ ,  $P = 0.006$ ) (图 3a), 分布趋势为竺山湾 > 梅梁湾 > 贡湖湾. 竺山湾、梅梁湾和贡湖湾的隐藻平均生物量分别为 1.89、0.87、0.43 mg/L, 其中隐藻平均生物量高值区域为竺山湾和梅梁湾 M1 采样点, 在 Z1 样点达到最大 (2.13 mg/L). 梅梁湾内其它采样点 (M2 ~ M4) 隐藻平均生物量相对较低 (0.65 ~ 0.80 mg/L). 贡湖湾隐藻平均生物量最低 (0.31 ~ 0.55 mg/L), 单因素方差检验 ( $F = 2.698$ ,  $P = 0.009$ ) 验证了隐藻分布格局的空间异质性. 隐藻是太湖北部较优势类群 (图 3b), 其生物量百分比在各采样点为 11% ~ 37%, 与隐藻相比, 蓝藻生物量百分比略高, 为 16% ~ 46%. 蓝藻与隐藻分布格局较为相似, 三个区域差异显著 ( $F = 3.223$ ,  $P = 0.002$ ), 高值区域为竺山湾和梅梁湾, 在 Z2 样点蓝藻平均生物量达到最大值 (2.34 mg/L), 而硅藻在太湖北部分布较为普遍 ( $F = 0.970$ ,  $P = 0.453$ ).

表 1 2005—2009 年太湖竺山湾、梅梁湾和贡湖湾各环境变量 Kruskal-Wallis 检验及其平均值和变化范围  
Tab. 1 Mean, range and *P* value of Kruskal-Wallis tests on environmental variables in Zhushan Bay, Meiliang Bay and Gonghu Bay of Lake Taihu from 2005 to 2009

| 环境<br>变量                           | 竺山湾   |               | 梅梁湾   |               | 贡湖湾   |               | <i>P</i> 值 |
|------------------------------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|------------|
|                                    | 平均值   | 变化范围          | 平均值   | 变化范围          | 平均值   | 变化范围          |            |
| 水温                                 | 17.7  | 1.9 ~ 31.1    | 17.9  | 2.2 ~ 32.2    | 17.7  | 2.0 ~ 31.2    | 0.950      |
| pH**                               | 8.08  | 7.29 ~ 9.47   | 8.26  | 7.42 ~ 9.64   | 8.19  | 7.77 ~ 8.88   | <0.001     |
| SS**                               | 40.4  | 4.6 ~ 324.6   | 55.4  | 12.7 ~ 208.3  | 44.7  | 4.3 ~ 182.7   | <0.001     |
| TN**                               | 5.9   | 2.4 ~ 12.9    | 4.0   | 1.1 ~ 18.8    | 2.5   | 0.8 ~ 6.0     | <0.001     |
| TP**                               | 0.24  | 0.07 ~ 1.05   | 0.15  | 0.05 ~ 1.01   | 0.09  | 0.04 ~ 0.32   | <0.001     |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N*   | 1.02  | 0.11 ~ 4.28   | 1.05  | 0.08 ~ 4.06   | 0.82  | 0.07 ~ 3.51   | 0.026      |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N**  | 2.12  | 0.06 ~ 6.15   | 0.89  | 0.02 ~ 5.89   | 0.37  | 0.03 ~ 1.79   | <0.001     |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P** | 0.032 | 0.0005 ~ 0.16 | 0.013 | 0.0002 ~ 0.08 | 0.010 | 0.0007 ~ 0.05 | <0.001     |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N**  | 0.15  | 0.009 ~ 0.10  | 0.05  | 0.001 ~ 0.74  | 0.03  | 0.0005 ~ 0.68 | <0.001     |
| Chl. a**                           | 37.9  | 3.1 ~ 258.1   | 30.4  | 1.8 ~ 491.2   | 14.4  | 1.0 ~ 50.0    | <0.001     |
| DOC**                              | 8.5   | 0.81 ~ 17.0   | 6.8   | 1.01 ~ 23.6   | 5.5   | 0.93 ~ 12.5   | <0.001     |

\* 表示  $P \leq 0.05$ ; \*\* 表示  $P < 0.001$ , 极显著.

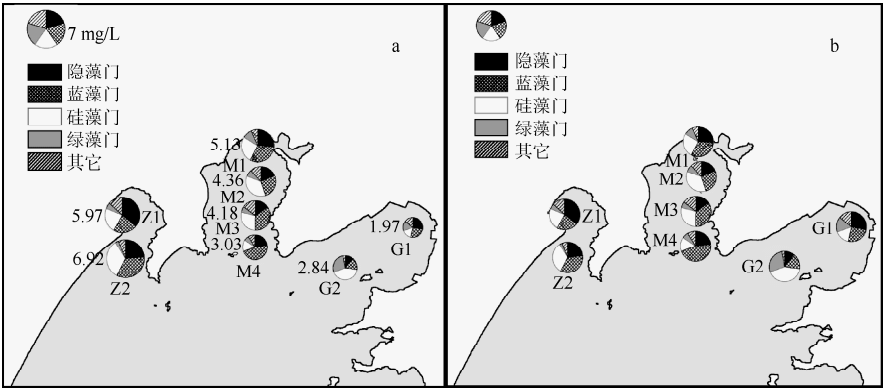


图 3 2005—2009 年太湖北部各类群浮游藻类平均生物量空间分布(a) 及其所占比例(b)  
Fig. 3 Spatial distribution(a) of mean phytoplankton biomass and the proportion(b) of different groups in the north of Lake Taihu from 2005 to 2009

2.3 隐藻与环境因子及其它藻类的相关分析

隐藻与蓝藻生物量百分比的季节演替趋势明显(图 4). 2005—2009 年,太湖隐藻占总浮游藻类百分比平均值约 28%,而蓝藻占总浮游藻类百分比平均值约为 35%. 冬春季,蓝藻生物量百分比均低于 10%,甚至接近于零值. 而在此期间,隐藻生物量百分比高,波动于 30% ~ 70% 之间. 夏季蓝藻水华频发,其生物量百分比在 60% ~ 87% 之间波动,而此时隐藻生物量百分比均低于 10%.

虽然 1988 年后蓝藻一直都是太湖浮游藻类的优势种群,但隐藻也是太湖浮游藻类重要类群,而且其净变化率与总浮游藻类净变化率密切相关(图 5). 竺山湾、梅梁湾和贡湖湾的隐

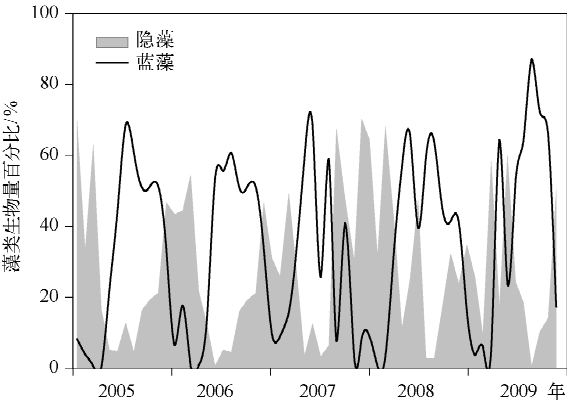


图 4 太湖北部 2005—2009 年隐藻与蓝藻生物量百分比变化趋势  
Fig. 4 Development of percentages of Cryptophytes and Cyanobacteria biomass in the north of Lake Taihu

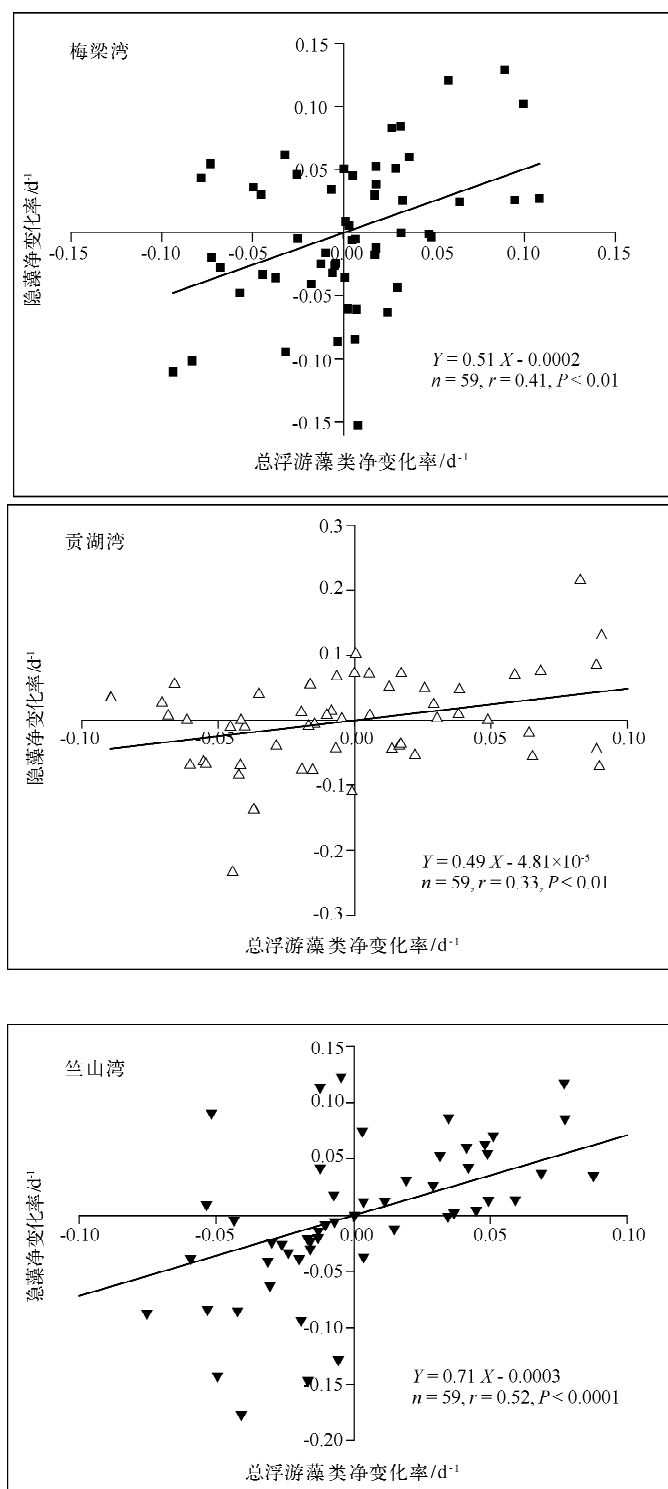


图 5 2005—2009 年太湖北部隐藻生物量净变化率与总浮游藻类生物量净变化率的相互关系  
 Fig. 5 Correlation between net Cryptophytes growth rates and net total phytoplankton growth rates  
 in the north of Lake Taihu from 2005 to 2009

藻和总浮游藻类净变化率均呈现显著线性回归趋势,随着总浮游藻类净生长率增加,隐藻净生长率呈现增加趋势.

隐藻与总浮游藻类显著相关,每个湖区与隐藻显著相关的环境因子不大相同.在竺山湾, $\text{NO}_x\text{-N}$ 和隐藻极显著相关( $r = 0.25, P < 0.01$ );梅梁湾, $\text{NO}_x\text{-N}$ 和DOC均与隐藻显著相关( $r = 0.20, P < 0.01; r = -0.11, P < 0.01$ ).贡湖湾, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、DOC和SS与隐藻显著相关( $r = 0.29, P < 0.01; r = -0.25, P < 0.01; r = -0.30, P < 0.01$ )(表2).

3 讨论

本次研究结果表明,太湖隐藻生物量在竺山湾、梅梁湾和贡湖湾空间分布上具有显著差异,总体分布格局为:竺山湾>梅梁湾>贡湖湾.已有资料表明,竺山湾和梅梁湾是太湖水体富营养

化的典型湖泊,而贡湖湾富营养化水平较梅梁湾轻(表1).随着营养盐浓度的升高,蓝藻在很多处于富营养化状态水体中的优势地位被隐藻、裸藻和绿球藻目的种类所取代<sup>[19]</sup>,陈宇炜等<sup>[20]</sup>研究发现梅梁湾污染较严重的河口区域隐藻比例上升,有取代蓝藻成为优势种群的趋势.作为水体富营养化的指示种<sup>[21-22]</sup>,隐藻在太湖的分布趋势响应了各湖区营养水平的差异.

富集大量溶解性有机营养盐的内陆湖泊、入海河口和沿海海域是隐藻繁盛区域<sup>[5]</sup>.虽然有机物质是藻类生长能源,但它的大量存在会降低水下可利用光照,从而限制藻类的光合作用.与其它藻类营养方式明显不同,隐藻的兼性营养特点,使得它在低光照条件下能充分利用外界有机物质补偿能源<sup>[3-4]</sup>.太湖水体的显著特点之一是悬浮质高,水体透明度低<sup>[10]</sup>,且梅梁湾和竺山湾沉积物中的有机质、总氮、总磷都显著高于其他湖区(除东太湖)<sup>[11,23]</sup>.因此,与其它藻类相比,太湖北部竺山湾和梅梁湾的高悬浮质浓度和丰富有机质的生境特点(表1)更有利于隐藻的生长.

梅梁湾、竺山湾内底栖动物绝对优势种为耐污能力较强的颤蚓类,而贡湖湾内底栖动物主要是以滤食悬浮碎屑、细菌和浮游植物为主的过滤收集者<sup>[24]</sup>.Barone等<sup>[22]</sup>研究表明,滤食性底栖动物摄食会限制隐藻的增长.比较太湖隐藻与底栖动物分布发现,贡湖湾内丰富的滤食性底栖动物可能是限制隐藻生长的一个重要因素.

2007年是太湖隐藻生物量变化的一个转折年,2008—2009年隐藻生物量明显增加,其中一个重要原因可能是太湖绝对优势种——蓝藻对隐藻生长的限制作用.2007年4月25日太湖梅梁湾蓝藻水华大规模暴发,5月27日北部的竺山湾和贡湖湾以及整个西部湖区均发生了大面积蓝藻水华<sup>[25]</sup>,Suikkanen等<sup>[26]</sup>研究发现蓝藻所分泌的化感物质严重影响了隐藻的生长,与硅藻及其它藻类相比,这种限制作用更加强烈.五里湖浮游植物随着水温的上升,优势种类由冷水性的隐藻属<sup>[27]</sup>演替为高温下能大量生长的微囊藻<sup>[28]</sup>,这也证实了太湖隐藻净生长率会在每年4—6月(蓝藻生长繁殖月)出现负值现象(图2)以及隐藻与蓝藻的季节演替趋势(图4).

致谢:本研究由中国科学院太湖湖泊生态系统研究站提供监测数据,特此致谢.

4 参考文献

[ 1 ] Fiala M, Semeneh M, Oriol L. Size-fractionated phytoplankton biomass and species composition in the Indian sector of the Southern Ocean during austral summer. *Journal of Marine Systems*, 1998, **17**: 179-194.  
[ 2 ] Higashi Y, Seki H. Ecological adaptation and acclimatization of natural freshwater phytoplankters with a nutrient gradient. *Environmental Pollution*, 2000, **109**: 311-320.

表2 太湖北部一些环境因子与隐藻相关分析

Tab.2 Correlation between environmental factors and Cryptophytes in the north of Lake Taihu

| 环境变量                        | 竺山湾(n=120) | 梅梁湾(n=359) | 贡湖湾(n=120) |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| $\text{NO}_x\text{-N}$      | 0.25 **    | 0.20 **    | n. s       |
| $\text{NH}_4^+\text{-N}$    | n. s       | n. s       | n. s       |
| $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ | n. s       | n. s       | 0.29 **    |
| DOC                         | n. s       | -0.11 *    | -0.25 **   |
| TN                          | n. s       | n. s       | n. s       |
| TP                          | n. s       | n. s       | n. s       |
| SS                          | n. s       | n. s       | -0.30 **   |
| 总浮游藻类                       | 0.62 **    | 0.48 **    | 0.38 **    |

\* 表示显著相关, $P < 0.05$ ; \*\* 表示极显著相关, $P < 0.01$ ; n. s 表示无显著相关性(双尾检验).

- [ 3 ] Lewitus A, Caron D, Miller K. Effect of light and glycerol on the organization of the photosynthetic apparatus in the facultative heterotroph *Pyrenomonas salina* (Cryptophyceae). *Journal of Phycology*, 1991, **27**: 578-587.
- [ 4 ] Gervais F. Light-dependent growth, dark survival, and glucose uptake by Cryptophytes isolated from a freshwater chemocline. *Journal of Phycology*, 1997, **33**: 18-25.
- [ 5 ] Cauwet G. DOM in the coastal zone. In: Hansell DA ed. Biogeochemistry of marine dissolved organic matter. California: Academic Press, 2002: 579-609.
- [ 6 ] Girollo D, Vieira AAH. Assimilation of  $^{14}\text{C}$  in a tropical strain of *Cryptomonas obovata* (Cryptophyceae) exposed to several irradiances. *Journal of Plankton Research*, 1999, **21**: 1911-1921.
- [ 7 ] Barone R, Naselli-Flores L. Distribution and seasonal dynamics of Cryptomonads in Sicilian water bodies. *Hydrobiologia*, 2003, **502**: 325-329.
- [ 8 ] 饶钦止. 五里湖 1951 年湖泊学调查: 三、浮游植物. 水生生物学集刊, 1961, (1): 74-92.
- [ 9 ] 孙顺才, 黄漪平. 太湖. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [ 10 ] Chen YW, Qin BQ, Teubner K *et al.* Long-term dynamics of phytoplankton assemblages: *Microcystis*-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China. *Journal of Plankton Research*, 2003, **25**: 445-453.
- [ 11 ] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民. 太湖水环境演化过程与机理. 北京: 科学出版社, 2004.
- [ 12 ] 张晓晴, 陈求稳. 太湖水质时空特性及其蓝藻水华的关系. 湖泊科学, 2011, **23**(3): 339-347.
- [ 13 ] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游植物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991: 338, 340, 345-347.
- [ 14 ] 胡鸿均, 魏印心. 中国淡水藻类: 系统、分类及生态. 北京: 科学出版社, 2006: 5-950.
- [ 15 ] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 138-207.
- [ 16 ] Liu X, Lu XH, Chen YW. The effects of temperature and nutrient ratios on *Microcystis* blooms in Lake Taihu, China: an 11-year investigation. *Harmful Algae*, 2011, **10**: 337-343.
- [ 17 ] 陈宇炜, 陈开宁, 胡耀辉. 浮游植物叶绿素 a 测定的“热乙醇法”及其测定误差的探讨. 湖泊科学, 2006, **18**(5): 550-552.
- [ 18 ] Teubner K, Crosbie N, Donabaum K *et al.* Enhanced phosphorus accumulation efficiency by the pelagic community at reduced phosphorus supply: a lake experiment from bacteria to metazoan zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 2003, **48**(3): 1141-1149.
- [ 19 ] Jensen JP, Jeppesen E, Olrik K *et al.* Impact of nutrients and physical factors on the shift Cyanobacteria to Chlorophyta in shallow Danish lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1994, **51**: 1692-1699.
- [ 20 ] 陈宇炜, 高锡云, 秦伯强. 西北太湖夏季藻类中间关系的初步研究. 湖泊科学, 1998, **10**(4): 35-40.
- [ 21 ] Olive JH, Karn BP. Trophic assessment of ten publicly-owned northeastern Ohio lakes. *The Ohio Journal of Science*, 1980, **80**: 223-231.
- [ 22 ] Barone R, Naselli-Flores L. Distribution and seasonal dynamics of Cryptomonads in Sicilian water bodies. *Hydrobiologia*, 2003, **502**: 325-329.
- [ 23 ] 李江, 金湘灿, 姜霞等. 太湖不同营养水平湖区沉积物理化性质和磷的垂向变化. 环境科学研究, 2007, **20**(4): 64-69.
- [ 24 ] 蔡永久, 龚志军, 秦伯强. 太湖大型底栖动物群落结构及多样性. 生物多样性, 2010, **18**(1): 50-59.
- [ 25 ] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 太湖梅梁湾 2007 年蓝藻水华形成及取水口污水团成因分析与应急措施建议. 湖泊科学, 2007, **19**(4): 357-358.
- [ 26 ] Suikkanen S, Fistarol GO, Graneli E. Effects of cyanobacterial allelochemicals on a natural plankton community. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, **287**: 1-9.
- [ 27 ] Reynolds CS. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [ 28 ] 宋晓兰, 刘正文, 潘宏凯等. 太湖梅梁湾与五里湖浮游植物群落的比较. 湖泊科学, 2007, **19**(6): 643-651.