

## 太湖冬季底泥中活体藻类的检测\*

吴生才<sup>1, 2, 3</sup> 陈伟民<sup>1</sup> 高 光<sup>1</sup>

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所太湖生态系统研究站, 南京 210008;

2: 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3: 盐城师范学院, 盐城 224002)

**提 要** 2002 年冬从太湖梅梁湾采集柱状底泥, 取三段进行直接镜检和用 MA 培养基进行光照培养. 镜检发现表层 (0-3cm) 底泥中有多种藻类细胞, 中层 (10-13cm) 底泥的藻类细胞种类明显减少, 下层 (20-23cm) 底泥中没有发现藻类细胞. 底泥培养的结果与之有相似的趋势, 但得到的活体藻类细胞的种类相应减少. 培养 3 个月后得到在外观和群落结构上与夏季水华相似的群落. 结果表明底泥中的微囊藻和小环藻在太湖底泥中具有良好的适应性, 占有明显的优势地位, 底泥可以作为水华蓝藻的越冬场所和来年水华的种源.

**关键词** 藻类 太湖 底泥

**分类号** P343.3 Q949.2

湖泊底泥是湖泊生态系统的重要组成部分, 是湖泊内源性污染的主要汇和源, 是湖泊生物重要的栖息地和主要越冬场所, 因而是影响湖泊生态系统, 特别是湖水水质的重要因素. 因此, 湖泊底泥的研究历来是湖泊生态系统研究的重点内容之一. 底泥中的物理、化学条件因易受外界影响而复杂多变. 底泥物质结构复杂, 演化途径多样, 这些都给湖泊底泥的研究带来很多困难. 特别是近几十年来湖泊富营养化进程加快, 严重影响湖泊生态系统的结构和功能的发挥, 从而影响湖泊自然资源的可持续开发利用. 国际上研究发现湖泊底泥可以作为浮游藻类的越冬地, Preston 用 <sup>15</sup>N 同位素示踪方法在有温跃层的深水湖泊中发现, 底泥表面有微囊藻越冬并可作为上层湖水中藻类生长的种源<sup>[1]</sup>. Fallon 发现微囊藻 (Microcystis) 在 Mendota 湖底沉积并越冬<sup>[2]</sup>. Huettel 通过波浪槽试验和现场试验, 研究了生物体及其有机质在底泥中的运动和变化, 认为孔隙水、沙粒直径和波浪对这种底泥中的生物及有机质有重要的影响<sup>[3]</sup>. 但国内尚未见有关底泥中藻类越冬和活体藻类的报道.

本研究通过无菌操作, 以底泥为种源接种到人工培养基中, 进行培养, 试图在太湖底泥中寻找冬季有活体藻类存在的直接证据, 为太湖生态系统地维护和治理提供科学依据.

### 1 材料与方法

#### 1.1 采样地点

试验所用底泥于 2002 年 12 月 22 日采自太湖梅梁湾 (120.21274 E; 31.50563 N, 见图 1).

\* 中国科学院创新项目 (KZCX1-SW-12 和 KZCX2-403) 联合资助.  
2003-03-31 收稿; 2003-05-04 收修改稿. 吴生才, 男, 1963 年生, 博士研究生.

## 1.2 柱状样的采集及分层

用柱状采泥器（直径 5.5cm）采集，泥柱总长 40cm，将泥柱带回实验室备用。考虑到太湖湖水的扰动波及底泥的深度变化很大，本实验只在柱状样中取出三段段试验。同时在预

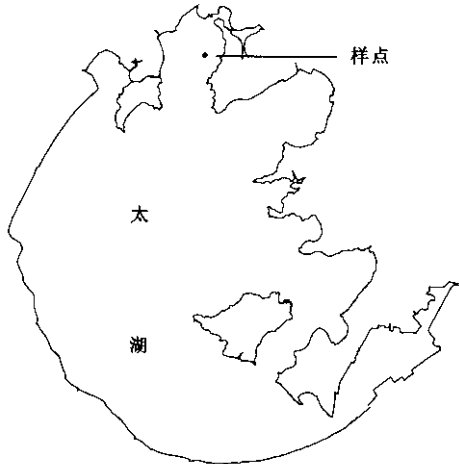


图 1 底泥采样点示意图

Fig.1 Sampling stations for sediment

试验中发现，底泥中藻类细胞密度很低，而且很难被直接镜检，底泥中的各种杂质也影响藻细胞的直接观察和分离，所以，直接计数有相当的难度。而活体的检测必须经过培养，培养过程中不同种类的藻类活体细胞的繁殖速度显然是不同的，因此，培养后的藻类群落中各种藻类细胞的密度和相对密度，都不能直接用来对底泥原样中的活体藻细胞进行定量估计，只能说明底泥原样中是否存在某种藻类活细胞，所以，在液体培养中对底泥进行更细的分层是没有实际性意义的。

## 1.3 泥样的镜检

用虹吸管移去上覆水后，将柱状样上层 3 cm 段（编号 DN1）、表层下 10-13cm 段（DN2）和表层下 20-23cm 段（DN3）小心切出，立即

取少量底泥置于干净的小烧杯中，加少许无菌水充分混匀，静置 1 分钟后取上部液体进行显微检测，重复三次取样检测。根据细胞或细胞群的形态特征对细胞进行分类鉴定。

## 1.4 泥样的接种和培养

在预试验中试用了 BG、水生 4 号、MA、灭菌过滤湖水等培养基来培养太湖几种常见藻类（铜绿微囊藻、小环藻、斜生栅藻、颤藻），发现 MA 具有最好的适用性。因此选用 MA 作为底泥中藻类的培养基。将 300mL 培养基装入 500mL 三角瓶中，高压灭菌后备用。采用无菌操作将底泥样品的外周部分去除，取中间部分（体积为 10mL 左右）接种到培养基中，置光照培养箱中培养，培养条件如下：光强 4000lx，23℃，每天摇动 3 次，每次将培养物充分摇匀。中途不补充培养基。

## 1.5 培养液的观测

每天对培养液的外观进行观测，特别是观测培养液澄清后的颜色、混浊度和底泥表面的颜色（无鞭毛的藻类细胞易在底泥表层聚集）。10d 后按无菌操作对培养液进行镜检，每隔 5d 镜检一次，持续观察 3 个月。每次取样时分别吸取清液和底泥表层液体，对藻类细胞进行定性鉴定。

## 1.6 干底泥的培养

2002 年 2 月在同一位点用彼得逊采样器采集底泥，采泥深度 10cm 左右，不分层，将泥样带回实验室。将底泥置于广口瓶，用多层灭菌的纱布封口，瓶的外壁用锡箔包裹，置于阴暗透风的地方，让其自然干燥 10 个月后备用，用上述同样方法进行活体藻类培养。

## 2 结果与讨论

### 2.1 底泥涂片的显微镜检测结果

从表 1 中的结果可以看出, 底泥表层存在大量的藻类细胞 (不一定都有活性), 藻类细胞的组成与太湖湖水中的常见优势种和次优势种<sup>[4]</sup>相似. 底泥表层易受湖水扰动, 随着风浪和湖流速度的变化, 这种扰动作用变化很大, 使得底泥经常性地处于再悬浮和再沉降的过程中. 水体中的藻细胞, 特别是无鞭毛的藻细胞和活力不强的藻细胞, 会自然沉降到水土界面上. 在底泥的再悬浮和沉降过程中也会和各种悬浮质组成的混合物一起沉降到底泥表层中去. 如果水体的动力学作用强烈, 部分藻细胞会沉降到底泥的内部, 甚至是底泥的较深部位. 底栖动物的运动也会促进藻类细胞在底泥中的迁移.

表 1 泥样镜检中发现的藻类细胞

Tab.1 The Algal cells in the tested sediment samples

样号	观测到的藻类	镜检情况描述
DN1	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz	多种藻类的完整细胞和许多各种大小的有机碎屑混杂在一起, 有多种动物出现.
	小型色球藻 <i>Chroococcus minor</i> Kutz	
	螺旋鱼腥藻 <i>Anabaena spiroides</i> Kleb	
	颗粒直链藻 <i>Melosira granulate</i> Her	
	广缘小环藻 <i>Cyclotella bodanica</i> Eul	
	菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp.	
	舟形藻 <i>Navicula</i> spp.	
	斜生栅列藻 <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp) Kutz	
	双对栅列藻 <i>S. bijugatus</i> (Turp)Lag	
	短棘盘星藻 <i>Pediastrum borganum</i> Turp	
DN2	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz	细胞和碎屑的数量明显减少
	颗粒直链藻 <i>Melosira granulate</i> Her	
	广缘小环藻 <i>Cyclotella bodanica</i> Eul	
	菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp.	
DN3	舟形藻 <i>Navicula</i> spp.	沉积物比较均一
	菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp.	
	舟形藻 <i>Navicula</i> spp.	

### 2.2 底泥培养中出现的藻类

表 2 中的结果表明, 底泥中存在多种具有活力的藻类细胞, 在合适条件下重新开始生长和繁殖. 这种现象说明这些藻类细胞在底泥中良好的适应和生存能力. 这些藻类多是蓝藻和硅藻, 在一定条件下有可能相当长的时间内保持再次萌发的活性, 因为多种蓝藻的细胞在其生长期间都能分泌多糖到胞外, 与细胞壁紧密结合在一起, 随同细胞一起沉积到底泥中去, 从而对细胞形成良好保护层. 而硅藻具有保护性很好的硅质壳, 形成对细胞的机械和化学保护. 这些都有助于细胞度过不良环境. 干底泥培养中同样培养出微囊藻和小环藻, 也说明了这一点. Carr 等认为厚藻席、热泉、浓密水华等中的蓝藻能在低氧环境生存和发育, 其最重要的原因之一是对低氧或厌氧环境的忍受和适应能力, 这种能力也许在前寒武纪的最初进化以来一直保留下来, 并赋予它们一些优于真核藻类的特性<sup>[5]</sup>. 蓝藻具有与其他生物共生的能力和以有机物为碳源进行异生长的能力<sup>[5]</sup>, 这种特性可用来解释蓝藻在底泥中存活的现象. Boström 在浅水富营养化湖泊 Vallentunasjön 中发现, 在 0-10cm

底泥中微囊藻占有优势地位并具越冬能力<sup>[6]</sup>, 与本试验发现的现象是一致的. 太湖梅梁湾底泥中的种群组成和结构与夏季水华非常相似, 这与 Boström, 发现的现象是一致的; Boström 还发现表层沉积物中的微囊藻密度呈现周期性波动, 且与水华的周期性变化具有密切的关系. 太湖水华具有明显的季节性变化, 进一步检测底泥中活藻细胞的季节性变化是很有意义的.

表 2 底泥培养中出现的活体藻类

Tab.2 The alive algae in the sediment culture

样号	培养出的藻类活细胞种类
DN1	铜绿微囊藻, 广缘小环藻, 斜生栅列藻
DN2	铜绿微囊藻, 广缘小环藻
干底泥	铜绿微囊藻, 广缘小环藻 1
DN3	无

用 20cm 深处的底泥进行的培养试验中发现两种硅藻细胞, 但没有培养出活体藻类细胞. 三段柱状样的试验检测结果存在明显差异, 说明藻类细胞在底泥中的分布是有明显梯度的, 即底泥中藻类活细胞种类随深度加深而减少. 但活细胞存在的这个深度只能作为水体扰动深度或藻类细胞迁移深度的某种参

考, 因为不同水体具有不同的底泥条件和水动力条件, 活体藻类细胞可能存在的深度必然有很大的变化.

### 2.3 底泥培养过程中的变化

DN1: 培养 1 个月时, 无明显变化, 镜检发现有细胞出现, 但不能肯定其活性. 两个月时, 静置时, 培养液比较混, 底泥表面有明显的悬浮物, 镜检发现有大量有机碎屑, 出现铜绿微囊藻细胞团和广缘小环藻、斜生栅列藻细胞, 从明显的细胞色素判断有活性. 3 个月时, 培养液明显呈现蓝绿色, 表层有肉眼可见的细胞团块飘浮, 各样品中的藻细胞种类不变, 微囊藻占绝对优势, 小环藻次之, 在外观和群落结构上与夏季水华的相似.

DN2: 培养 1 个月时, 无明显变化. 2 个月时, 静置时, 培养液外观同 DN1, 镜检发现有大量有机碎屑, 铜绿微囊藻、广缘小环藻. 3 个月时, 同 DN1.

DN3: 培养 1 个月时, 无明显变化. 2 个月和 3 个月时, 水体略带混色, 未发现藻类细胞, 镜检发现有大量细菌.

干泥: 培养 1 个月时, 无明显变化. 2 个月和 3 个月时的变化同 DN2.

本试验中得到的活体藻细胞的种类有可能少于实际存在的活细胞种类, 因为, 有的藻类细胞虽然有繁殖活力, 但可能不适应本试验采用的培养基, 或者由于在这种培养基中萌发迟缓, 世代周期长, 加之浮游动物的特异性捕食而没有竞争优势, 无法形成种群. 如用多种培养基在多种条件下进行培养试验可能会得到更多的藻类种群. 即底泥中应存在更多种类的活藻细胞.

## 3 结语

在底泥中观测到多种藻类细胞并培养出藻类活体细胞, 说明底泥可以作为一些藻类的生存和越冬场所. 不同藻类在底泥中存在的深度和丰度是不同的, 也可以说不同藻类具有不同的生存和适应能力. 其中分布最广、适应能力最强的藻类是铜绿微囊藻和广缘小环藻. 这两种藻类也是太湖夏季水华中的优势种和常见种, 上层泥样、中层泥样和干泥样的培养

都得到了在外观和种群结构与水华相似的藻类群落, 这说明太湖底泥与水华有着某些密切的联系, 其突出的两点是: (1) 出现在底泥中的具有生命力的微囊藻、小环藻和栅列藻应是来自于夏季水华在沉积物表面的大量沉积和在底泥中的包埋, 太湖梅梁湾底泥中的种群优势是由其夏季水华中的种群优势决定的; (2) 底泥中存在的这些藻类活细胞一旦再悬浮到水体中, 在条件合适的情况下又能恢复生长, 成为水华的种源。

本文只在太湖的一个样点采样, 试验结果可能具有某些局限性和偶然性, 但活体藻类在底泥中的存在和分布是一个基本事实, 进一步检测底泥中活藻细胞的季节变化, 定能有助于湖泊生态和藻类生理生态的研究。

### 参 考 文 献

- 1 Preston T, Stewart W D P, Reynolds C S. Bloom-forming cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* overwinters on sediment surface. *Nature*, 1980, **288**: 365-367
- 2 Fallon R D & Brock T D. Overwintering of *Microcystis* in Lake Mendota. *Freshwater Biology*, 1981, **11**: 217-226.
- 3 Huettel M, Rusch A. Transport and degradation of photoplankton in permeable sediment. *Limnol Oceanogr*, 2000, **45**(3):534-540
- 4 陈宇炜, 高锡芸, Martin dikuli, 太湖梅梁湾浮游植物动态及其初级生产力周年变化的研究. 见: 蔡启铭主编. 太湖环境生态研究 (一), 北京: 气象出版社. 1998: 98-108
- 5 Carr N G., Whitton B A. The biology of blue-green algae. Blackwell Scientific Publications, 1973: 417, 496-500
- 6 Boström B, Pettersson A-K & Ahlgren I. Seasonal dynamics of a cyanobacteria-dominated microbial community in surface sediments of a shallow, eutrophic lake. *Aquat Sci*, 1989, **51**: 153-178

## Examination of Alive Algal Cells in the Sediments in Meiliang Bay of Taihu Lake during Winter Period

WU Shengcai<sup>1, 2, 3</sup>, CHEN Weimin<sup>1</sup> & GAO Guang<sup>1</sup>

(1: Nanjing Institute of Geography & Limnology, CAS, Nanjing 210008 P.R.China; 2: Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P.R.China; 3: Yancheng Teachers College, Yancheng 224002, P.R.China; )

### Abstract

Three layers of a sediment core collected from Meiliang bay of Taihu Lake in December of 2002, were examined under microscope to identify algae species composition and cultured axenically in MA medium to find the living cells and its vertical distribution in sediment. Many species of algae were found in the surface of the core sample(0-3cm) and three of them (*Microcystis aeruginosa* Kutz, *Cyclotella bodanica* Eul, *Scenedesmus obliquus*(Turp) Kutz) were able to develop in culture 8 them. Less algae species could be found in the layer (10-13cm) of the core sample and only two of them(*Microcystis aeruginosa* Kutz, *Cyclotella bodanica* Eul) were developed in culture. Two algae species could be identified in the layer(20-23cm) of the core sample and no algae cell could be developed in culture. It showed that *Microcystis aeruginosa* Kutz, and *Cyclotella bodanica* Eul, the dominant phytoplankton populations in summer bloom, could be survive the environment of the sediment in Taihu Lake during the winter period.

Keywords: Algae; Taihu Lake; sediment