

# 硅藻与色素在古环境演化研究中的意义

## ——以固城湖为例

马燕 王苏民 潘红玺

(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放实验室, 南京 210008)

**提要** 根据固城湖 GS<sub>1</sub> 孔沉积物中硅藻的丰度与组合、色素的含量与有关参数, 并结合孢粉、有机碳等分析数据, 较详细地讨论了从晚冰期到全新世中期(15.3~6.0ka B.P.) 固城湖地区古气候古环境演化的过程。同时尝试把硅藻与色素的结合作为度量湖泊古初始生产力的有效性, 以及识别沉积记录有关人类活动的可能性。文中还专门论述了全新世初期海相硅藻出现的层位特点与背景, 并与太湖作了比较, 这一现象对重新认识长江三角洲地区的古地理环境无疑是十分重要的。

**关键词** 硅藻丰度 色素 环境演化 固城湖

### 1 前言

硅藻与色素是研究湖泊古生物量中的两个重要因子, 但就其单个指标而言, 有其局限性与多解性。现代湖泊的生产力, 一般以藻类的丰度来表示, 而硅藻以其在沉积物中易于保存的特点而使它在古环境研究中的作用越显重要。硅藻组合以及浮游与底栖比例已作为解释湖泊古环境最有效的工具之一。但在连续沉积的湖泊沉积剖面中, 有时出现硅藻缺失段, 这是由于藻类内部存在群落演替的过程。为此需借助藻类色素含量, 才能有效地识别古生物量的多少并合理地解释与环境的关系。本文以江苏固城湖 GS<sub>1</sub> 孔为例, 探讨色素、硅藻及环境之间的联系。

固城湖位于江苏省高淳县境内(31°14'~31°17'N, 118°52'~118°57'E), 湖盆由断裂构造作用形成。该湖原有面积 65km<sup>2</sup>, 后因历代围湖造田, 现有面积仅为 24.3km<sup>2</sup>(图1)<sup>[1]</sup>。

### 2 材料与方法

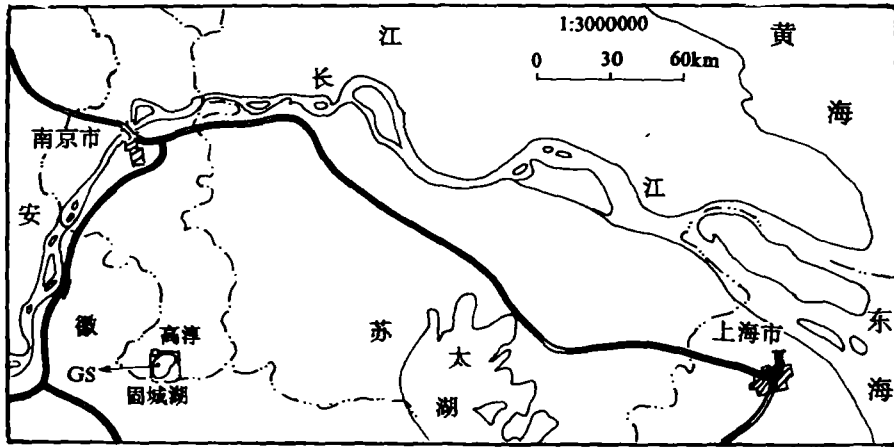
GS<sub>1</sub> 孔位在固城湖西北岸狮树附近(图1), 位于1978年的围垦区。孔深21.50m(20.90m处见白垩系风化壳及基岩), 主要岩性为湖相淤泥和粉砂, 有少量细砂, 局部见沼泽沉积, 底部与基岩接触处为河流砂砾层。硅藻与色素各取样品342个, 采样间距为5cm。

硅藻用重液浮选法提取, 丰度用重量计算法获得。色素用丙酮萃取法提取。用分光光度计比色定量<sup>[2]</sup>。

• 中国科学院“八五”重点项目(Z-011)资助。

来稿日期:1994-07-15;接受日期:1995-01-18。

作者简介:马燕,女,1965年生,助理研究员。1989年于南京大学古生物专业硕士毕业。主要从事湖泊硅藻与古环境研究,近年来与人合作发表有关太湖、岱海、呼伦湖等的古环境硅藻记录方面的著作与论文。

图 1 固城湖及 GS<sub>1</sub> 孔位置图Fig. 1 Location of Gucheng Lake and GS<sub>1</sub> hole

### 3 硅藻植物群的垂向分布

根据硅藻的丰度大小(图 2)结合组合特征(图 3),GS<sub>1</sub> 孔的硅藻植物群可分为 5 大段:

I 段(18.80~16.90m):本段硅藻零星分布,含量很少,不够统计标准。偶见 *Melosira granulata* (Ehr.) Ralis 与 *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun.。

II 段(16.90~16.70m):本段硅藻浓度达一定数量,为  $6.6 \times 10^3 \sim 3.0 \times 10^4$  粒/g。但分异度很低,只有 3 个种:*Hantzschia amphioxys* (73%→98%)、*Anchanthes* sp. (26%→2%)以及只在底部偶见的 *Melosira granulata*。

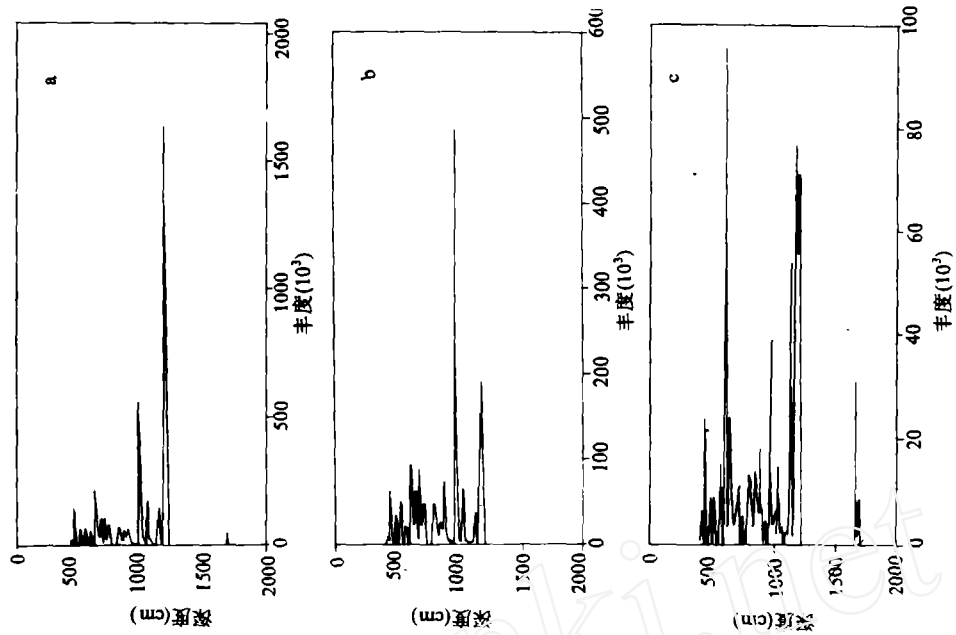
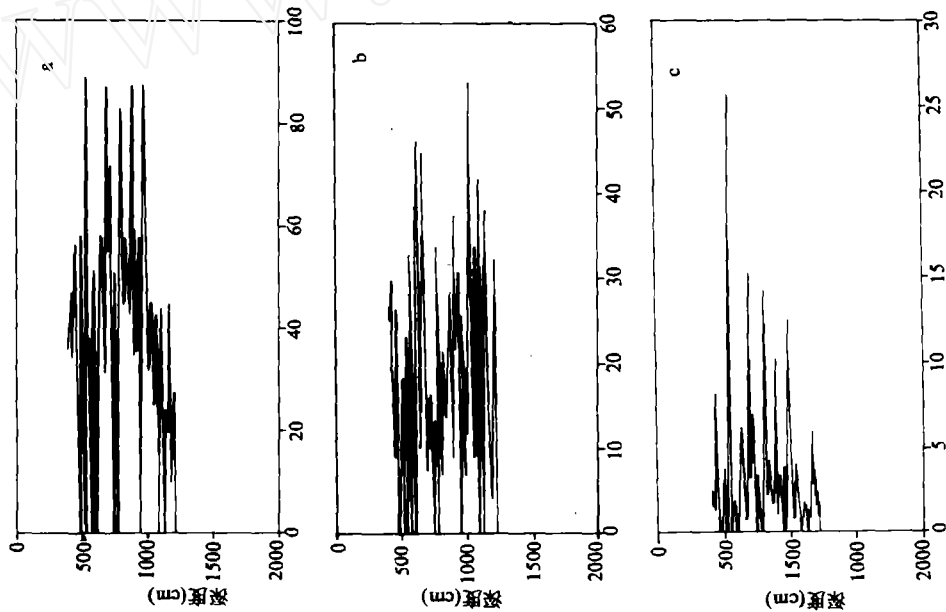
III 段(16.70~12.08m):本段硅藻较前段骤减,零星分布,偶见 *Melosira granulata*, *Pleurosigma* sp., *Diploneis* sp., *Hantzschia amphioxys*, *Cyclotella stylorum* Bright 及 *Cymbella hustedii* Krasske, 未达统计标准。

IV 段(12.08~4.05m):本段硅藻含量丰富,种类繁多。占主导地位的有两大类群:颗粒直链藻 *Melosira granulata* 与小环藻 *Cyclotella* [包括柱状小环藻 *C. stylorum* 与条纹小环藻 *C. striata* (Kützing) Grunow 及少量的星状小环藻 *C. comta* (Ehr.) Kützing]。其次,有圆筛藻 *Coscinodiscus* (包括弓束圆筛藻 *C. curvatulus* Grunow、多束圆筛藻 *C. diviscus* Grunow 及星脐圆筛藻 *C. asteromphalus* Ehr.)、斜纹藻 *pleurosigma* sp. 及普通的肋缝藻 *Frustulia vulgaris* (Thwaites) De Toni。根据浓度差异,本段又可分为 6 亚段:

IV<sub>1</sub> 亚段(12.08~11.19m):除两个样品(12.08m 与 11.34m)浓度较小外,本段浓度均在  $1.2 \times 10^5 \sim 8.5 \times 10^5$  粒/g 间波动,11.83m 达到本剖面浓度最高值:  $1.6 \times 10^6$  粒/g。

本段主要属种的丰度变化较频繁,且变幅较大,尤其以 11.75~11.51m 为代表:*Melosira granulata* 从 82%→47%→72%,*Coscinodiscus* spp., 从 4%→36%→7%。

IV<sub>2</sub> 亚段(11.19~10.45m):本段丰度较前段下降了一个数量级,为  $3.1 \times 10^3 \sim 3.1 \times 10^4$  粒/g。但主要属种的丰度变化颇有规律:*Melosira granulata* 在中部有谷值(59%→25%→18%→25%→36%→66%),而 *Cyclotella* spp. 在中部为峰值(21%→33%→32%→31%→29%→15%)。

图2 GS<sub>1</sub>孔硅藻丰度图式(a. 总丰度; b. 中心目丰度; c. 羽纹目丰度)Fig. 2 Diatom abundance of GS<sub>1</sub> core图3 GS<sub>1</sub>孔硅藻百分含量图式(a. 中心目; b. 羽纹目; c. 中心目/羽纹目)Fig. 3 The percentage of diatom in GS<sub>1</sub> core

IV<sub>3</sub> 亚段(10.45~9.75m): 丰度回升了一个数量级, 为  $1.18 \times 10^4 \sim 1.34 \times 10^5$  粒/g, 有时可达  $5.58 \times 10^5$  粒/g. *Melosira granulata* 有明显的递减趋势(44%→5%), 而 *Cyclotella* 则从 38% 升至 87%。

$N_4$  亚段(9.75~7.35m):根据硅藻丰度本段内部又分为 3 小段,自下而上为:

$N_{4a}$  小段(9.75~9.05m):本段硅藻丰度较前亚段( $N_3$  亚段)降低了一个数量级,一般为  $2.9 \times 10^3 \sim 1.4 \times 10^4$  粒/g,有的层位含量很少,不够统计标准。在硅藻组合上,本小段主要属种的含量变化幅度不大,以 *Cyclotella* 为主,含 36%~50%,中部为谷值(47%→46%→38%→36%→50%),均值为 43.4%。*Melosira granulata* 占次要地位,含 16%~27%,中部为峰值(16%→27%→27%→19%→23%),均值为 22.4%。*Coscinodiscus* 在本小段也占一定的比例,含 5%~12%。

$N_{4b}$  小段(9.05~7.85m):本段硅藻丰度较  $N_{4a}$  小段上升了近一个数量级,为  $2.98 \times 10^4 \sim 7.08 \times 10^4$  粒/g。在硅藻组合上仍以 *Cyclotella* 为主,一般占 30%~50%,均值为 40.55%,出现两次峰值,为 87%(8.85m)与 79%(7.95m),且丰度的峰值层位与百分含量的峰值基本吻合。相应地 *Melosira granulata* 的含量一般为 23%~34%,均值为 28.55%。此外,本小段 *Coscinodiscus* 占 1%~15%,均值 7.39%。*Pleurosigma* sp. 占 2%~22%,均值 7.62%。

$N_{4c}$  小段(7.85~7.35m):本小段丰度明显下降,一般较前小段降低了两个数量级(为  $7.80 \times 10^2$  粒/g),甚至未达统计标准。偶尔高至  $3.89 \times 10^4$  粒/g(7.45m)。在硅藻组合上,本小段下部以 *Coscinodiscus* 为主,占 54%(7.65m),*M. granulata* 与 *Cyclotella* 只占 5%与 8%。而上部以 *M. granulata* 与 *Cyclotella* 为主(7.45m),分别占 36%与 43%。而 *Coscinodiscus* 只占 8%。显而易见,本小段的丰度峰值与 *M. granulata* 及 *Cyclotella* 的高峰值在同一层位上。

$N_5$  亚段(7.35~6.05m):本段硅藻较  $N_{4c}$  小段明显回升了两个数量级,一般为  $4.00 \times 10^4 \sim 9.99 \times 10^4$  粒/g,顶部(6.15m)达  $2.03 \times 10^5$  粒/g。在组合上,本段以(6.85m)为界,下部以 *Cyclotella* 为主,占 52%~84%,均值为 67.25%。其次为 *Melosira granulata*,占 6%~20%,均值为 15.5%。上部仍以 *Cyclotella* 为主,但含量明显下降,为 27%~51%,均值为 43.85%,较下部降低了 23.4%。*M. granulata* 与 *Pleurosigma* 含量上升,前者为 9%~23%,均值为 21.4%,后者占 1%~29%,均值为 11.0%,两者分别较下部增长了 5.64%与 8%。

$N_6$  亚段(6.05~4.05m):本段硅藻浓度变化较大,从  $2.77 \times 10^3$  至  $1.08 \times 10^5$  粒/g 不等。有时还少得难以计数(5.45m, 4.85~4.65m)。组合上仍以 *Cyclotella* spp. 与 *M. granulata* 为主。前者在(5.35m)处含量极高,达 87%。硅藻浓度的高值层位与 *Cyclotella* 的高峰值层位基本一致。总的来说,本段硅藻以浮游类(*Cyclotella* 与 *Coscinodiscus*)为主,半浮游的 *M. granulata* 次之。底栖类的 *Pleurosigma* 与 *Frustulia* 占一定的比例,分别为 0.5%~16%(均值 5.5%)与 0%~8%(均值为 4.3%)。

V 段(4.05~1.08m):本段硅藻零星分布,含量很小,未达统计标准。偶见 *M. granulata*, *Eunotia* sp., *Cyclotella stylonum*, *Hantzschia amphioxys*, *Gomphonema* sp., *Meridon* sp., *Cymbella* sp. 及 *Diploneis ovalis*. (Hilse) Cl.。

#### 4 GS<sub>1</sub> 孔色素地层学

GS<sub>1</sub> 孔的色素以(13.554m)为界,可明显地分为两大段:下段的 TC<sup>①</sup>、CD 及 NC 的值皆

① 目前国际上一般用 7 个指标研究古色素学,即:叶绿素及其衍生物(简称 CD)、总胡萝卜素(简称 TC)、蓝藻叶绿素(Myxoxanthophyll,简称 Myx)、颤藻黄素(Oscillaxant 简称 Osc),以及 CD/TC 比值、Osc/Myx 比值和未分解叶绿素即保存指数(Native chlorophylls,简称 NC)<sup>[2]</sup>。

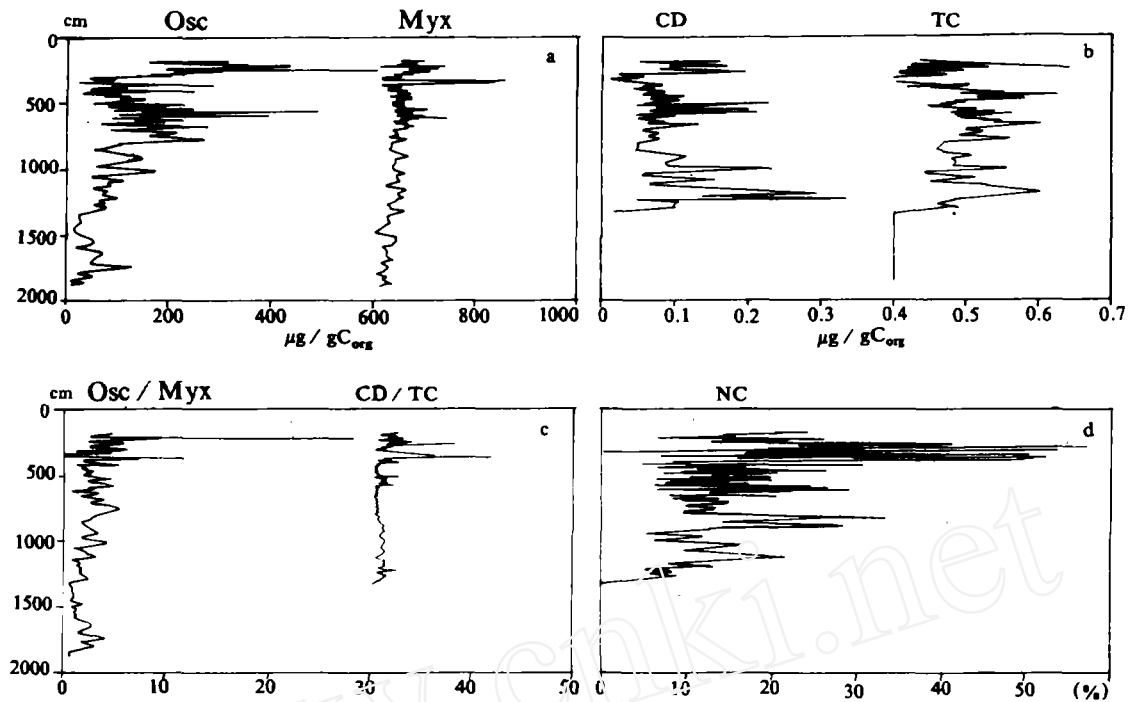


图4 GS<sub>1</sub> 孔色素及其参数的垂向分布

a. 颤藻黄素和蓝藻叶黄素;b. 叶绿素衍生物和总类胡萝卜素;c. 色素比例;d. 未分解叶绿素

Fig. 4 Vertical distribution of pigments and its parameters in GS<sub>1</sub> core

为零;上段的 TC、CD 及 NC 的值偶尔为零,基本上连续(图 4)。

根据 Myx 与 Osc 的变化,下段又可分为 4 小段(表 1)。

从表中可知,Osc 在下段变幅较大,一般是成倍地上升或成倍地下降,而 Myx 变化幅度相对较小。总的说来,Osc 值一般都高于 Myx。

上段色素的阶段性与连续性根据 Osc、Myx、CD、TC 和 NC 的变化,又可分为 10 段(自下而上)。

**I 段**(11.25~13.54m):Osc 与 Myx 升高。CD 与 TC 在段内以 12.22~12.37m 为界,NC 以 12.04~12.22m 为界,上部明显高于下部。

**II 段**(9.80~11.25m):本段的色素各参数值均为波动式变化,但以 10.30~10.55m 为界,除 NC 外,皆有上部高于(或略高于)下部的趋势。与前段相比,Osc 有所上升,尤其是上部,上升了 2 倍多。Myx、CD、TC 与 NC 略有下降。

**III 段**(9.15~9.80m):本段除 Myx 外,色素各值较前段(II 段)上部略微下降。Osc、Myx、CD 及 NC 在段内均呈上升趋势,TC 略有波动(表 1)。

**IV 段**(8.25~9.15m):本段除 NC 大幅度上升外,其它各值均有一定程度的下降(表 1)。

**V 段**(7.30~8.25m):本段色素 Myx、Osc、TC 和 CD 四者与前段相比,均有不同程度的升高,且峰、谷值层位一致。而 NC 相反,在数值上较前段降低了 2 倍多,层位上其峰谷值位置恰与其它 4 种色素值相反(图 4)。

表 1 GS<sub>1</sub> 孔古色素含量与变化  
Tab. 1 Poleopigment concentration and variation of GS<sub>1</sub> core

| 分段 | 深度(m) | Osc         |       |       | Myx   |       |       | CD<br>均值 | TC<br>均值 | NC<br>均值 |      |
|----|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|------|
|    |       | 最小          | 最大    | 平均    | 最小    | 最大    | 平均    |          |          |          |      |
| 上段 | X     | 0.00~3.05   |       | 607.9 | 275.5 |       |       | 68.6     | 0.09     | 0.06     | 22.3 |
|    | IX    | 3.05~4.05   |       |       | 88.8  | 216.4 |       | 62.5     | 0.05     | 0.02     | 27.1 |
|    | VIII  | 4.05~5.05   | 38.5  | 242.2 | 103.3 | 27.0  | 75.6  | 50.5     | 0.079    | 0.12     | 13.8 |
|    | VII   | 5.05~6.05   | 55.7  | 493.2 | 190.9 | 35.7  | 112.2 | 57.0     | 0.12     | 0.093    |      |
|    | VI    | 6.05~7.30   | 72.9  | 278.8 | 130.3 | 41.9  | 147.4 | 63.8     | 0.076    | 0.13     | 15.7 |
|    | V     | 7.30~8.25   | 173.8 | 267.4 | 219.6 | 32.1  | 62.7  | 47.7     | 0.074    | 0.12     | 11.0 |
|    | IV    | 8.25~9.15   | 54.8  | 104.3 | 87.5  | 33.2  | 53.4  | 39.7     | 0.057    | 0.07     | 23.3 |
|    | III   | 9.15~9.80   | 87.8  | 145.3 | 125.0 | 44.2  | 61.2  | 50.0     | 0.10     | 0.09     | 9.75 |
|    | II上   | 9.80~10.30  | 60.5  | 175.1 | 133.4 | 36.3  | 59.7  | 45.4     | 0.13     | 0.10     | 11.3 |
|    | II下   | 10.30~11.25 | 43.8  | 100.3 | 75.1  | 35.5  | 47.8  | 42.1     |          |          |      |
|    | I上    | 11.25~13.54 | 36.8  | 100.8 | 69.0  | 25.6  | 62.3  | 47.6     | 0.211    | 0.15     | 14.0 |
| I下 |       |             |       |       |       |       |       | 0.07     | 0.07     | 5.1      |      |
| 下段 | IV    | 13.54~15.04 | 13.5  | 23.0  | 19.7  | 7.1   | 29.6  | 21.1     | 0        | 0        |      |
|    | III   | 15.04~16.2  | 19.6  | 49.0  | 33.9  | 17.7  | 45.2  | 29.0     | 0        | 0        |      |
|    | II    | 16.2~17.2   | 52.1  | 66.1  | 61.7  | 25.4  | 41.0  | 30.3     | 0        | 0        |      |
|    | I     | 17.2~18.8   | 10.5  | 127.1 | 38.9  | 8.1   | 36.8  | 22.9     | 0        | 0        |      |

VI段(6.05~7.30m):Osc在本段大幅度降低,Myx与NC有所上升,CD与TC略微升高。Myx与Osc在段内呈波动式上升趋势,NC为锯齿状波动式上升,而CD与TC则为波动式下降趋势(图4)。

VII段(5.05~6.05m):Osc、Myx与TC为明显地波动式下降,NC呈波动式略降,CD则呈波动式略上升趋势。与前段相比(图4),Osc与CD有所上升,Myx与TC有所下降。

VIII段(4.05~5.05m):Osc与Myx在段内呈平缓式轻微波动(除Osc在4.10m处有一小峰)。CD以4.40m为界,下部略高,上部略低,从而使全段呈波动式递减趋势。TC以4.45m为界,下部呈波动式递增,上部呈波动式递减趋势。4.45m为全段的峰值,NC在段内波动频繁,但幅度不大(图4)。

IX段(3.05~4.05m):除NC与Myx外,本段各色素值皆有下降。与前段相比,Osc下降14.494,CD下降0.032,TC下降0.097,NC上升13.367,Myx上升12.021。Myx在3.35~3.45m达到全剖面的峰值(203.137~216.403),而相应地TC值在段内很低。NC的变化幅度与频率都较大。

X段(0.00~3.05m):除NC略有下降外,本段各色素值都有不同程度的上升。Osc增长最明显,为前段的3倍,均值为275.5,上升186.7。它在段内以2.50m为界,下部呈波动式递增趋势,上部呈波动式递减趋势,NO.14为本剖面最大值达607.9。Myx变化幅度不大,在2.15~2.25m有一谷值段,均值较前段上升了6.07。CD在2.75m以下,仍维持前段的含量,随后有一定增长,均值较前段上升了0.04。TC在本段以2.25m为界,下部呈波动式递增趋势,上部呈波动式递减趋势,2.25m处为全剖面最大值,达0.241,均值较前段增长0.037。NC在本段呈波动式递减趋势,均值较前段下降4.802。

## 5 讨论

### 5.1 理论根据

GS<sub>1</sub> 孔的硅藻植物群以中心目占优势,其中以 *Cyclotella stlorum*, *C. striata*, *C. comta*, *Coscinodiscus curvatulus*, *C. diviscus*, *C. asteromphalus* 以及 *Melosira granulata* 为主;羽纹目为次,主要有 *Pleurosigma* sp. 及 *Frustulia vulgavia*。一般来说,中心目多为浮游型,羽纹目为底栖型。

不同的植物具有不同的色素组合类型,但在湖泊里能保存在沉积物中的却只有那些不溶于水、细胞膜坚固的叶绿素类(Chlorophylls)与胡萝卜素(Carotenoids)。因此,被用于古生态及古湖泊学研究中。

叶绿素及其衍生物在淡水和海洋沉积物中均有其存在并富集。表现在富营养型湖泊沉积物有机质中浓度极高。相反,贫营养湖中沉积色素含量低,在遗体降落至湖底前发生氧化作用,结果只有一小部分最坚固的色素衍生物保存下来。

绿色植物与沉积物中主要的胡萝卜素是 $\beta$ -胡萝卜素。Myx 可为浮游生物中占主导地位的蓝藻科提供重要的沉积证据,对检测湖泊的富营养化历史具有重要作用。Osc 仅存在于颤藻科的两个属(*Oscillaria* 与 *Arthrospira*)中。由于 *Oscillaria* 被认为是湖泊明显富营养化时首先在浮游植物中占主导地位的蓝藻植物之一,因此 Osc 可以揭示湖泊营养状况变化的时序。此外,Osc 浓度的升高与人为富营养化作用共存,它又被作为判定人类活动强度与开始时间的重要依据之一。目前所有的证据表明,沉积物中的浮游植物以 *Oscillaria* 为主时,都是人为富营养化的产物<sup>[2]</sup>。

NC 是指未分解的叶绿素,它指示了沉积物中色素的保存程度,间接反映湖泊水深。

由于 CD 与 TC、Osc 与 Myx 基本上同速降解,所以,CD/TC 与 Osc/Myx 在古色素学中可作为度量湖泊营养状况和异地与原地生产力平衡的指标。一般 CD/TC 值越高,水越浅。与富营养湖相比,CD/TC 值在贫营养湖中较高,因为贫营养湖接受较多异地有机质,或者是湖泊氧化层较厚,TC 分解较快所致<sup>[2]</sup>。

Osc/Myx 的变化指示了蓝藻细菌植物群的组合变化。Osc/Myx 高时,是 *Oscillatoria* 占主导的蓝藻细菌植物群特征;Osc/Myx 低时,表示了多种蓝藻的混合组合。Osc/Myx 指示了 2 种色素在沉积时的相对产量<sup>[2]</sup>。

### 5.2 GS<sub>1</sub> 孔硅藻与色素间的关系及其环境意义

由于硅藻有较多的缺失段,因此,讨论 GS<sub>1</sub> 孔的硅藻与色素间的关系可分为硅藻稀少与硅藻丰富两种情况来分析。

5.2.1 稀少情况 硅藻零星分布,未达统计标准,丰度趋于零。而色素存在下列 3 种组合:

(1) CD、TC 与 NC 为零,Osc 与 Myx 有一定数量,如 18.80~16.90m,16.70~13.24m。表明湖泊初始生产力低,保存条件极差,藻群中以蓝藻为主,硅藻不发育。

(2) TC、CD 与 NC 较高,Osc 与 Myx 有一定数量,如 13.24~12.08m。表明湖泊有一定的生产力与保存条件。藻群中以蓝藻占优势,硅藻很不发育。

(3) TC、CD 与 NC 较高,Myx 与 Osc 相当高,如 4.0~1.80m。表明湖泊生产力很高,富营养化明显,人为作用影响大,藻群以蓝藻中的颤藻占绝对优势,硅藻很不发育。

5.2.2 丰富情况 硅藻有一定的丰度。根据其值变化以及色素含量,又可分 3 种组合:

(1) 硅藻总丰度有一定数量,但不高;TC、CD、NC 为零,Myx 与 Osc 有一定的值,如 16.90~16.70m。表明湖泊生产力较低,保存条件差。藻群中硅藻与蓝藻共处于发育阶段。

(2) 硅藻总丰度极高( $11.6 \times 10^6$  粒/g, 11.83m),而 Myx 与 Osc 相对偏低,TC、CD 和 NC 较高,如 12.08~11.19m。该组合表明藻类生物群中硅藻类占优势,湖泊初始生产力较高,外源有机质较丰富,具有较高的保存能力。

(3) 硅藻丰度较高,相应地 Myx、Osc、TC、CD 都出现小峰值段,仅 NC 值偏低,如 10.45~9.65m。丰富的藻群表明湖泊营养态高,生产力较高,陆源有机质丰富,湖泊淤浅,保存能力变低。

### 5.3 固城湖晚更新世晚期以来的湖沼史

以硅藻、色素为主,参考有机碳、孢粉、磁化率等资料,并依据<sup>14</sup>C 测年数据(15.08m, 12190±80a B. P.; 11.77m, 9365±95a B. P.; 8.35m, 7545±155a B. P.; 4.30m, 6895±135a B. P.),重建固城湖 15ka 以来环境演化的序列。

5.3.1 15300~14000a B. P. (18.80~16.90m) 岩性以棕黄色细砂、灰色杂斑状泥质细砂和粉砂质泥为主,含较多炭屑。底部为灰色泥砾,顶部为青灰色粘土。本段硅藻偶见 *Melosira granulata* 与 *Hantzschia*,丰度极小,趋于零。

色素中 NC、CD、TC 为零,Osc 与 Myx 均值分别为 40 与 25。但是仔细分析,Osc 大致呈波动式上升,以 17.70m 为界,环境有一明显变化;Osc 和 Osc/Myx 出现峰值,相应地孢粉组合中木本花粉含量增加,为一次晚冰期内的暖波动。降水增加,湖泊开始形成,沉积青灰色粘土,也是初始成湖时期,其年代约为 14.3ka B. P.。

5.3.2 14000~13600a B. P. (16.90~16.70m) 岩性为青灰色粘土,见星散炭屑,中部有虫孔。硅藻属种极为单调,以 *Hantzschia amphioxys* 为主,占 73%~98%,其次为 *Achnanthes* sp,占 26%~2%,底部偶见 *Melosira granulata*。色素中 NC、CD、TC 仍为零,Osc 与 Myx 均值有所增长,分别为 65 与 27。

和前段相比,虽有硅藻出现,均以单一的底栖类为主。Osc/Myx 明显降低。藻类植物群组成有变化,颤藻成分减少,而孢粉组合中木本花粉数量降低,沉积岩性无大的变化。推测当时以冷偏湿的气候为特点,加上有机碳含量偏低(3.6%),说明初始生产力并不高。

5.3.3 13600~9600a B. P. (16.70~12.08m) 岩性下部以灰绿色、杂色粉砂质粘土为主,有时含大量植物根系与碳屑。上部(14m 以上)以青灰色粘土为主。

硅藻偶见 *Melosira granulata*、*Gyrosigma* sp.,*Diploneis* sp.,*Hantzschia amphioxys*,*Cyclotella Strylorum* 及 *Cymbella hustedii*。根据色素等其它资料,本阶段又可分为下列 3 个时期:

(1) 13600~12700a B. P. (16.70~15.75m) Myx 为一谷值段,Osc 下部高上部低,Osc/Myx 在顶部也明显下降,相应地孢粉组合中下部木本花粉含量高,上部是个谷值,表明下部温度偏高,有利于以颤藻为主的蓝藻发育。向上由于气温下降,Osc、Myx 都出现低值,相应地沉积特征也由青灰色粘土变为灰绿色粉砂质粘土。

(2) 12740~10860a B. P. (15.75~13.54m) 本时期大致可分为前后两个亚期。15.04m 以下,Osc、Myx 均为小峰值段,表明颤藻和蓝藻同等发育的藻群组合,孢粉则为木本花粉的峰值段,常绿阔叶比重增大,但是有机碳含量却偏低(4%)。该暖期的时代大致与阿来罗德时



期相当,似乎有效湿度并不高;15.04m以上Osc、Myx均为谷值,孢粉在14.0m处出现显著的木本花粉的低谷,表明温度下降,但是有机碳相对较高,这可能反映冷湿环境特点,与新仙女木冷期相当。

(3)10860~9600a B. P. (13.54~12.08m) 各参数的特征明显,Osc、Myx、CD、TC、NC及CD/TC均表现为波动式增加,这和木本花粉含量向上逐渐增大,在上部形成峰值段的孢粉图式非常一致,代表了逐渐增温的过程。在后期温湿条件最佳,初始生产力最高,有机碳也是最大的峰值。本段Osc/Myx较高,说明藻类植物群中以颤藻占主导。CD/TC在12.25m处为最大值,表明外源有机质丰富,这与岩芯观察到的明显湖底冲刷面是一致的。值得注意的是13.54m为一明显的生物地球化学界限,该深度以上TC、CD、NC开始出现,这可能与气候明显变暖湿有关,但也不能排除色素沉积后次生分解的影响。

5.3.4 9600~6840a B. P. (12.08~4.05m) 岩性大致可分为三段。下部以灰色泥为主,中部为灰色粘土与粉砂薄互层,构成规则的韵律,上部以灰色粘土为主,顶部夹粉砂薄层。

本期硅藻含量极为丰富,根据其丰度的变化,又可分为8个时期:

(1)9600~9040a B. P. (12.08~11.19m) 硅藻丰度极高,达全剖面最高点。硅藻组合以*Melosira granulata*为主,海相的*Coscinodiscus*也大量存在,表明有一次海水侵袭的过程。根据海相硅藻丰度在剖面中频繁波动,与淡水硅藻交替出现的特点,反映海水侵袭具阵发性的特点。硅藻中以浮游属占绝对优势,表明湖泊急速扩张,沉积细粒灰色淤泥,沉积物的磁化率急剧增高。但是硅藻丰度峰值出现的时间和孢粉相比,并不是暖湿的盛期,而是后期,甚至是向冷期的过渡段。这种时序上的差别,一方面表明海面上海水的侵袭迟后于气候,另一方面说明硅藻的峰值出现在一定程度上是与海水侵袭有关,因此迟后于有机碳的峰值而和外源有机质的峰值(CD/TC)相当。相应地藻类植物群组合中Osc偏低,Myx中等,Osc/Myx为低值,湖水的营养态并不高。

(2)9040~8540a B. P. (11.19~10.45m) 本段的硅藻丰度明显地比前段下降了一个数量级,相应地Osc、Myx、CD、TC均为相对的谷值段,孢粉组合中常绿阔叶的青冈栎(*Cyclobatanopsis*)和落叶阔叶的栎(*Quercus*)水生植物和水龙骨科的孢子含量低。代表了一次冷干的波动,生产力低,有机碳含量是低谷,湖泊有退缩的趋势,在相应的层位见有丰富螺化石和Ca质结核。在本段的中期虽然有一次小暖波动,但持时极短。

(3)8540~8300a B. P. (10.45~9.75m) 硅藻丰度在本段明显回升,其中淡水*Melosira granulata*显著减少,而咸水或半咸水的*Cyclotella*显然增加。表明湖水盐度增大,相应地Osc、Myx、CD、TC都出现相对的峰值,是一个生产力较高的时期。但孢粉组合所指示的温度并不高,处于小的升温过程。推测当时是温湿的环境条件。地表径流发育,外源有机质较丰,发育毫米级的碎屑岩纹层。

(4)8300~7920a B. P. (9.75~9.05m) 本段硅藻丰度下降,有的层位甚至不够统计标准,其中浮游种属具减少趋势,而Osc和Myx表现为上升趋势。水生植物和水龙骨科孢子均为低值段,而青冈栎为一峰值,似乎表现为暖偏干的环境,湖泊有一定程度的退缩,仍维持相当的生产力,有机碳含量较高(8%左右)。NC值在本段较低,表明湖水变浅,保存能力较差。硅藻组合的内部成分也暗示该时期湖水有咸化的趋势。

(5)7920~7460a B. P. (9.05~7.85m) 硅藻丰度在本段又有较明显的上升,相应地

Osc 在下部是低值向上急速增大,Myx 虽有相同的趋势,但幅度较小,值偏低,有机碳也是下部略低于上部。从孢粉组合上可以发现,下部是木本花粉低值段,向上含量逐渐增加,是一个明显的升温过程,CD 和 TC 相应增大,生产力提高,NC 增大,湖水加深。

(6)7460~7380a B. P. (7.85~7.35m) 本段是硅藻的低丰度段,相应地 Myx 是低值,但是 Osc 却是峰值,说明藻群组合中以颤藻占优势(Osc/Myx 为高峰值)。CD、TC 也表现为相对的低值,CD/TC 的低谷证明外源有机质较少。但孢粉组合中的常绿阔叶是峰值期,虽然温度较高,但生产力不高,有机碳含量较低。NC 值较低,反映出的综合环境是暖干的特点。

(7)7380~7160a B. P. (7.35~6.05m) 全段硅藻丰度明显上升,但内部仍有波动,中期丰度有所下降,相应地 Osc、Myx、Osc/Myx 三者均有类似的变化趋势。中期的有机碳含量也较低(6.80m),在孢粉组合上为一短的回暖时期,这时水生植物和水龙骨科均为低谷,表明暖偏干的环境对应硅藻的低浓度,而凉湿的气候背景对应高浓度,相应地生产力也较高。

(8)7160~6840a B. P. (6.05~4.05m) 本段以硅藻浓度变化大为特点,相应地表现在浮游与底栖的比值变化上,总的说浓度并不高,下部低于上部。Osc 与 Myx、Osc/Myx 都是下高上低,表明藻类组合以颤藻占明显优势,湖泊的营养态在下部是相当高的,相应地 NC 的平均值也高,与此对应的是沉积一套灰色粘土沉积。就孢粉组合的情况看,本段处于逐渐降温的背景,总的是温湿环境。

5.3.5 6840~6480a B. P. (4.05~1.80m) 本段仅有零星的硅藻出现,均未达到统计标准。综合色素各项参数的分布特点看,大致以 2.6m 为界,可分成上下二部分。孢粉组合表明该界限是降温结束、开始升温的拐点。下部 Osc、CD、TC 均较低,NC 值较高,在凉湿的条件下,湖泊一直保持较大水深,沉积一套黑色和深灰粘土,有机碳的含量也较高。上部 Osc、Osc/Myx 的高值,显然湖泊富营养程度增加,沉积变粗,NC 变小,说明湖泊淤浅,孢粉中禾木科成分的突然增加,暗示了较强的人为活动影响。值得指出的是,在 4.05m 的深度,颤藻曾一度繁茂,相应地在孢粉剖面中就首次出现了禾木科的高峰值,这和当时气候变凉的背景并不协调,可能是固城湖区最早受先人耕作活动影响的记录。

通过固城湖晚冰期(15.3ka B. P.)至全新世中期(6.0ka B. P.)环境演化的分析,硅藻和色素作为古湖泊环境的指标,特别是有关古生物量方面的信息,无疑是极有效的手段之一。但是固城湖在全新世曾受到海水入侵的影响,因而情况较为复杂,现将有关特点归纳如下:

(1) 硅藻在剖面中以高丰度突发形式出现,例如 9600a B. P. 和 8540a B. P.,而且以半咸水的浮游种属占优势。固城湖是外流湖,湖泊的突然扩张,并具咸水性,只有用海水的影响才能合理地解释,出现的时间是在暖湿期之后期。全新世初期的海相硅藻层作者在西太湖马迹山南部的湖湾中也有发现<sup>[3]</sup>。因此,硅藻丰度和浮游底栖的比值一般作为生物量和湖泊扩张的标志,就固城湖而言,前者并不代表最大生产力,后者也和降水无关。

(2) 硅藻、Osc、Myx、TC 和 OC 的综合分析,不仅可以识别藻类植物群内部的组合特点,而且可以确定生产力的大小以及它的保存条件。

(3) Osc/Myx 和 CD/TC 两个指标一般是用判识藻群组合、陆源有机质的规模以及湖泊营养状况。固城湖的工作表明 Osc/Myx 和禾本科花粉的结合,在研究人类活动和原始农业方面具有潜力。

(4) 固城湖剖面中硅藻丰度的变化表明,较大的丰度段(除了受海水影响段)一般都出

现在冷暖的过渡期,湿度条件较好的阶段。冷期时硅藻、蓝藻、颤藻含量均低;而暖期时颤藻或蓝藻发育。这种特点是普遍规律还是局部或区域条件决定?还有待于今后资料的积累。

### 参 考 文 献

- 1 中国科学院南京地理研究所编. 江苏省湖泊志. 南京:江苏科技出版社, 1988
- 2 Swain B. Measurement and interpretation of sedimentary pigments. *Freshwater Biology*, 1985, 15:53~75
- 3 Ma Yan, Zheng Changsu. The discovery of holocene marine diatoms from Taihu Lake. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37 (8):667~670

## SIGNIFICANCE OF DIATOM AND PIGMENT IN THE STUDY ON PALAEOENVIRONMENTAL EVOLUTION —A CASE STUDY OF GUCHENG LAKE, JIANGSU PROVINCE

Ma Yan      Wang Sumin      Pan Hengxi

(*Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

### Abstract

According to the abundance and assemblage of diatom and content with certain parameters of pigments, and the analysis of spore-pollen and total organic carbon from the sediments of the Core GS<sub>1</sub> of Gucheng Lake, Jiangsu Province, this paper has discussed the palaeoclimatic and palaeoenvironmental evolution in the Gucheng Lake region from Late Glacial period to the middle of Holocene in detail, including the formation of Gucheng Lake and monsoon rainfall at 14ka B.P., Allerod warming period with a less effective moisture, cold and humid Younger Dryas event, a number of low temperature periods at 8.5, 7.8 and 6.5 ka B.P. in warm and wet climate background of early-mid Holocene. In general, the palaeolimnologic history of Gucheng Lake is macroscopically controlled by monsoon climate cycle resulted from orbital forcing, but is complicated by the intervention of marine transgression and abrupt climate event. In the meantime, the authors also try to contribute the combining of diatom and pigment to evaluate the lake paleoprimary productivity, and to distinguish the human activities in lake records. The results suggest that diatom along with pigments is not only an effective indicator for lake production, but may also be used to diagnose the texture change in algae plant community. This paper also deals with the strata characteristics and background when the marine diatom of early Holocene appeared, and makes a comparison with that from Taihu Lake. No doubt that this phenomena will be very important to get deeper insight into the palaeogeography environment of the Yangtze River Delta region.

**Key Words**      Diatom abundance, pigment, environment evolution, Gucheng Lake