

从藻类化石的垂直分布探讨 杭州西湖的演变历程*

项斯端 赵建康[†] 周宏 王江毅

(浙江大学生命科学院 杭州 310012)

[†] (浙江省地质环境监测总站 杭州 310007)

提要 于1994年春在杭州西湖东北面、西面及湖中心小瀛洲3个钻孔共取了70号岩芯样,经浮选、筛选,以显微镜鉴定化石藻种,并分析其垂直分布,从而探讨西湖的形成历史。西湖自晚更新世以来的6个化石藻带由下而上依次为:轮藻带、微红金颗藻-近缘针杆藻-条纹小环藻带、圆筛藻带、圆筛藻-近缘针杆藻-微红金颗藻带、桥穹藻-异极藻-短缝藻带和水花束丝藻带,从而反映了西湖的6个发育时期:淡水古湖沼期、淡咸水过渡期、海湾期、泻湖期、淡水西湖沼泽期和淡水西湖富营养化期。从淡水轮藻组成的古湖沼期的存在,提出西湖起始于淡水湖沼,而不是以泻湖、海湾等海相生境开始的。

关键词 化石藻 硅藻 淡水藻 半咸水藻 海藻

学科分类号 P53

杭州西湖风景秀丽,为我国著名的游览性湖泊,它位于120°10'E、30°15'N,湖面积为5.66km²,平均水深仅为1.5m。关于西湖的形成历史,学者们已从地理、地质(王宗涛等,1990;沈耀庭,1990;竺可桢,1921;章鸿剑,1924)、微体古生物有孔虫等(汪品先等,1979)方面进行过探讨。而关于西湖地层沉积中的化石藻类至今尚未见系统报道。当前国内外多采用硅藻及其他藻化石推断水体的古盐度、古湿度等,进而了解湖泊古生态与其历史演变过程(Caljon *et al.*, 1991; Haworth, 1972; Round, 1961)。为此,作者等先在湖内作了10余个现代西湖的浅层柱状钻孔,到1994年再在湖缘岸边作深达晚更新世的钻孔。分析其化石藻的垂直分布与组合,并据此划分化石藻带,从而对西湖的古生态及其演变过程进行探讨。

1 样品来源及研究方法

于1994年4月由浙江省地质环境监测总站协助在西湖东北缘及西侧作2钻孔(X1及X2孔):X1孔位于湖东北侧六公园附近,距今日湖缘约50m,钻孔深34.95m,达凝灰岩基岩,取岩芯样41个;X2孔位于湖西岸西里湖的西北角,距今日湖边0.5m,钻孔深11.25m,取岩芯样17个。此外,浙江省地质环境监测总站提供了湖心小瀛洲6号孔岩芯样12个。总共分析了岩芯样70个,但由于6号孔土样年代过久,藻种以CCl₄浮选仍不多,仅作参考。

* 国家自然科学基金资助项目,39370140号。项斯端,女,出生于1928年9月,教授, Fax: 0086-0571-8805551

收稿日期: 1996-07-08, 收修改稿日期: 1998-07-12

各号岩芯样取 50g, 加 200ml 水及 NaHCO_3 至 15×10^{-6} 浓度, 摇匀, 静置, 则小型藻比重轻于泥砂, 多沉降于泥表, 可取样于高倍镜下鉴定。对于大型海藻及轮藻卵孢子等则以 0.07mm 孔径筛筛洗后以 1 号镜镜检, 6 号孔泥样则以 CCl_4 浮选。

2 研究结果

2.1 化石藻种及其垂直分布

从西湖 70 个岩芯样中鉴定到化石藻种 63 种 (表 1), 分别隶属于硅藻门、绿藻门、蓝藻门、甲藻门、金藻门、轮藻门 6 大门类。以含硅质壁的硅藻门种类最多, 达 50 种, 占总种数的 79%, 其中仅个别藻体成为残碎片段之外, 大多数细胞完整, 也有些细胞壁被氧化铁染成褐色。绿藻门在本地层中仅见具钙质囊壳的透镜壳衣藻 (*Phacotus lenticularia*), 而在现代西湖内常见的盘星藻属 (*Pediastrum* spp.) 多种在本地层中均未见到, 这可能与当时湖体营养状态有关。至于其他各门则常以休眠孢子、孢囊或卵孢子等被保存下来。此外, 还见到个别蓝藻的胶质群体。

这些藻种按耐盐程度可分为淡水藻、半咸水藻及海生藻 3 类, 它们在西湖钻孔的不同

表1 藻种及其垂直分布

Tab.1 Algal species and their vertical distribution

生态类型	藻种	埋深(m)		
		X1孔	X2孔	
淡水藻种	肘状针杆藻	<i>Synedra ulva</i>	4.3, 4.6	
	钝脆杆藻	<i>Fragilaria capucina</i>	4.3	
	缢缩脆杆藻	<i>Fragilaria construens</i>	2, 2.4	
	变异直链藻	<i>Melosira varia</i>	5	2, 2.4, 2.9
	冰岛直链藻	<i>M. islandica</i>	25.4	2
	意大利直链藻	<i>M. italica</i>		2
	埃伦桥穹藻	<i>Cymbella ehrenbergii</i>	5, 6.5	2.4, 2.9, 4.3, 4.6
	偏肿桥穹藻	<i>C. ventricosa</i>		2
	纤细桥穹藻	<i>C. graciles</i>		2, 2.4
	膨胀桥穹藻	<i>C. tumida</i>		2
	桥穹藻一种	<i>Cymbella</i> sp.	30.45	
	橄榄形异极藻	<i>Gomphonema olivaceum</i>		2
	尖异极藻	<i>G. acuminatum</i>	5	4.6
	球异极藻	<i>G. sphaerophorum</i>	5	4.3, 4.6
	扁圆卵形藻	<i>Cocconeis placentula</i>		2, 2.4, 2.9
	篦形短缝藻	<i>Eunotia pectinalis</i>	5	
	月形短缝藻	<i>E. lunaria</i>	5	
	大短缝藻	<i>E. major</i>	5	
	粗壮短缝藻	<i>E. robusta</i>		3.8
	隐头舟形硅藻	<i>Navicula cryptocephala</i>		2.4, 4
	舟形硅藻	<i>N. sp.</i>		2.4
	放射舟形硅藻	<i>N. radiosa</i>		4.3
	扁圆舟形硅藻	<i>N. placentula</i>		4.3
	弯羽纹硅藻	<i>Pinnularia gibba</i>		2.4
	棒杆藻	<i>Rhopalodia gibba</i>		2.4

续表1

生态 类型	藻 种	埋 深(m)	
		X1 孔	X2 孔
淡 水 藻 种	菱形肋缝藻	<i>Frustulia rhomboids</i>	2, 2.9
	辐节藻	<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	4.6
	水花束丝藻(休眠孢子)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	5
	粘杆藻	<i>Gloeothece</i> sp.	31.85
	粘球藻	<i>Gloeocapsa</i> sp.	31.85
	水华鱼腥藻(休眠孢子)	<i>Anabaena flos-aquae</i>	
	透镜壳衣藻	<i>Phacotus lenticularia</i>	23.9
	轮藻2种	<i>Chara</i> 2 sp.	29.5, 30.45, 31.8
	丽藻2种	<i>Nitella</i> 2 sp.	
	微红金颗藻	<i>Chrysococcus rufescens</i>	6.5, 25.9, 28.3, 29
	光亮窗纹藻	<i>Epithemia argus</i>	5
	斑纹窗纹藻	<i>E. zebra</i>	5
半 咸 水 藻 种	近缘针杆藻	<i>Synedra affinis</i>	12.8, 24.7
	截端双眉藻	<i>Amphora terroris</i>	
	尖布纹藻	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	
	卵圆双壁藻	<i>Diploneis ovalis</i>	
	椭圆半盘藻	<i>Hemidiscus ovalis</i>	
	钝端窗纹藻	<i>Epithemia hyndmanii</i>	23.9
	明盘藻	<i>Hyalodiscus</i> sp.	25.4
	裸甲藻	<i>Gymnodinium</i> sp.	6.5
	多甲藻	<i>Peridium</i> sp.	6.5
海 生 藻 种	楔形半盘藻劲直变种	<i>Hemidiscus cunifomis</i> var. <i>recta</i>	6
	辐射圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	9.5
	弓束圆筛藻小型变种	<i>C. curvatutes</i> var. <i>minor</i>	15
	小眼圆筛藻	<i>C. oculus</i>	22.7
	线形圆筛藻	<i>C. lineatus</i>	26.8
	银币圆筛藻	<i>C. denarius</i>	15
	交错三角藻	<i>Triceratium alternans</i>	19.8
	星形柄链藻	<i>Podosira stelliger</i>	27.7
	条纹小环藻	<i>Cyclotella straita</i>	27.7
	肾形脊刺藻	<i>Liradiscus reniformis</i>	25.4
	辐环藻	<i>Actinocyclus</i> sp.	25.4
	椭圆辐环藻	<i>A. ellipticus</i>	
	沟鞭藻	<i>Gouyalax</i> sp.	15.7
	纹筛蛛网藻	<i>Arachnoidiscus ornatus</i>	19.8
马鞍藻一种	<i>Campylodiscus</i> sp.	19.8	

沉积层次中呈现一定的分布规律。从表1可见,在X1孔内淡水藻主要分布在埋深29m以下及埋深8m以上的沉积层内,海生藻种主要分布在埋深9—28m之间的沉积层内,半咸水性藻种主要分布在埋深4—13m以及埋深24—26m深度的沉积层内。因此,从化石藻在柱

表2 X1孔(上表)及X2孔(下表)的化石藻组合及垂直带

Tab.2 The fossil algal assemblages and their vertical zonation for Core X1 (upper part) and Core X2 (lower part)

埋深(m)	岩性	化石藻组合	化石藻带	古环境
4—0	填土		(淡水浮游藻带)	
7—4	深褐色有机质粘土	埃伦桥穹藻-异极藻-短缝藻组合 <i>Cymbella ehrenbergii-Gomphonema</i> spp. - <i>Eunotia</i> spp. Assem. 埃伦桥穹藻-微红金颗藻组合 <i>Cymbella ehrenbergii-Chrysoococcus rufescens</i> Assem.	桥穹藻-异极藻-短缝藻带 (淡水附生藻带)	淡水西湖 沼泽期
13—7	青灰色-灰色淤泥质粘土, 夹细粉沙	辐射圆筛藻-近缘针杆藻组合 <i>Coscinodiscus radiatus-Synedra affinis</i> Assem.	圆筛藻-近缘针杆藻-微红金颗藻带 (咸淡水过渡藻带)	泻湖期
24—13	灰色淤泥质粘土, 亚粘土	弓束圆筛藻小型变种-银币圆筛藻组合 <i>Coscinodiscus curvatutes var. minor</i> - <i>C. denarius</i> Assem. 纹筛珠网藻-小眼圆筛藻组合 <i>Arachnoidiscus ornatus</i> - <i>Coscinodiscus oculus</i> Assem.	圆筛藻带 (海藻带)	海湾期
29—24	深灰色淤泥质粘土	近缘针杆藻-钝端窗纹藻组合 <i>Synedra affinis-Epithemia hyndmanii</i> Assem. 肾形脊刺藻-明盘藻-冰岛直链藻组合 <i>Liradiscus reniformis-Hyalodiscus</i> sp. - <i>Melosira islandica</i> Assem. 条纹小环藻-星形柄链藻组合 <i>Cyclotella straita-Podosira stelliger</i> Assem. 微红金颗藻组合 <i>Chrysoococcus rufescens</i> Assem.	微红金颗藻-近缘针杆藻-条纹小环藻带 (淡咸水过渡藻带)	淡咸水 过渡期
32—29	褐黄色亚粘土 黄绿色亚粘土	轮藻组合 <i>Chara</i> sp. Assem. 轮藻-桥穹藻组合 <i>Chara</i> sp.- <i>Cymbella</i> sp. Assem. 轮藻-粘球藻-粘杆藻组合 <i>Chara</i> sp.- <i>Gloeocapsa</i> sp. - <i>Gloeotheca</i> sp. Assem.	轮藻带 (淡水藻带)	淡水湖 沼期
35—32 >35	亚粘土砂砾层 凝灰岩母岩	无化石藻		
3—0	湖积淤泥	水花束丝藻-缢缩脆杆藻-直链藻组合 <i>Aphanizomenon flos-aquae-Fragilaria construens</i> - <i>Melosira</i> spp. Assem.	水花束丝藻带 (淡水浮游藻带)	淡水西湖 富营养化期
5—3	黑褐色泥炭	丽藻-埃伦桥穹藻-异极藻组合 <i>Nitella</i> spp. - <i>Cymbella ehrenbergii-Gomphonema</i> spp. Assem.	丽藻-桥穹藻-异极藻带 (淡水附生藻带)	淡水西湖 沼泽期
6—5	灰褐色亚粘土	近缘针杆藻-卵圆双壁藻-微红金颗藻组合 <i>Synedra affinis-Diploneis ovalis-Chrysoococcus rufescens</i> Assem.	近缘针杆藻-微红金颗藻带 (咸淡水过渡藻带)	泻湖期
9—6	灰色淤泥质粘土	圆筛藻-微红金颗藻组合 <i>Coscinodiscus</i> sp.- <i>Chrysoococcus rufescens</i> Assem.	圆筛藻-微红金颗藻带 (海藻带)	海湾期
11—9 >11	棕黄色坡积土 母岩(灰岩)	无化石藻		陆相坡积土 母岩

层内的垂直分布范围可反映出西湖在地质历史的不同时期曾经受过海陆变迁。以淡水藻成分为主的地层指示当时是湖河相沉积,以海藻成分为主的地层应是海相沉积,再根据近岸种或远洋性成分等情况确定其环境性质。至于半咸水种或微咸水种通常分布于河口或淡水交汇的过渡生境,如河口或泻湖,而在西湖的过渡生境内常发现沉积物中除半咸水藻种之外,有淡水藻种及海生藻种伴生共存,形成复合生态类型的组合。当然,能在过渡生境存在的淡水藻种对盐度的适应幅度也会比较宽,对盐分有一定的耐受能力,如通常见于淡水水域的冰岛直链藻(*Melosira islandica*) (图 1: 8)曾被金德祥等(1982)在苏北盐度为 30‰的水中采到过。同样,微红金颗藻(图 1: 10)也是能分布在淡水及淡咸水过渡生境的藻种。

2.2 化石藻的组合及分带

在 X1 孔埋深 34m 以下为凝灰岩母岩,其内未见任何化石藻。X2 孔埋深 8.95m 以下为棕黄色坡积土,亦未鉴定到化石藻。该两地段应为陆相无藻带。

在该地段以上的柱状沉积层内则可根据各层的化石藻组合归纳为 6 个藻带(表 2):

I. 轮藻带 在 X1 孔埋深 32—29.5m 处。埋深 31.85m 层有轮藻-粘球藻-粘杆藻组合(*Chara* sp. - *Gloeoecapsa* sp. - *Gloeothece* sp. Assem.);埋深 30.45m 层有轮藻-桥穹藻组合(*Chara* sp. - *Cymbella* sp. Assem.)。在埋深 29.5m 层有更多的轮藻卵孢子(图 2e, f)。同时,从孢粉分析发现,在埋深 34.6m 层有冷杉(*Abies*)及麻黄(*Ephedra*)孢粉;在埋深 32.35m 处有麻黄和胡桃(*Juglans*)孢粉,显示当时气候冷凉干燥,应为更新世晚期到全新世初期。

II. 微红金颗藻-近缘针杆藻-条纹小环藻带 在 X1 孔埋深 29—24m 的垂直深度内,岩性为深灰色淤泥质粘土。化石藻的垂直分布:在埋深 29—28m 的 3 样号内均见到微红金颗藻(*Chrysococcus rufescens*),稍上到埋深 27.7m 处有半咸水性到海生性的条纹小环藻-星形柄链藻(图 1: 6)组合(*Cyclotella straita*-*Podosira stelliger* Assem.),埋深 25.4m 处则出现肾形脊刺藻-明盘藻-冰岛直链藻组合(*Liradiscus reniformis*-*Hyalodiscus* sp. - *Melosira islandica* Assem.),同一层沉积了海水、半咸水与淡水藻成分;埋深 24m 处又出现了半咸水性的近缘针杆藻-钝端窗纹藻组合(*Synedra affinis*-*Epithemia hyndmanii* Assem.)。本带化石藻的组合情况显示当时海水已影响古西湖谷地的东北侧,使 X1 孔处原来淡水湖泊内的水逐渐变成淡咸水,同时各组合也反映出当时海水升降不定,盐度多变,以致藻类先后出现淡水、半咸水与海水成分的变化,是一种淡咸水过渡性质的生境。

本带下界埋深 29.5m 深处进行的¹⁴C 测年值为 $8\ 927 \pm 180\text{aB.P.}$,距今约 9 000 年上下,大致相当于全新世冰后期气候由寒冷干燥转为温暖湿润,之后海平面逐渐上升。

III. 圆筛藻带 在 X1 孔埋深 24—13m 处,本带岩性为灰色淤泥质粘土、亚粘土。化石藻在埋深 22.7—19.8m 层有纹筛蛛网藻(图 1: 2)-小眼圆筛藻组合(*Arachnoidiscus ornatus*-*Coscinodiscus oculatus* Assem.),并有交错三角藻(*Triceratium alternans*)及马鞍藻(*Campylodiscus* sp.) (图 1: 3);在埋深 15.7—15m 层有弓束圆筛藻小型变种-银币圆筛藻(图 1: 1)组合(*C. curvatutes* var. *minor*-*C. denarius* Assem.)。本带化石藻以海藻为主显示此时海水已大量侵入湖盆,水域盐度已与近岸海水相近。但由于所见海藻种仍以沿岸种为主,与通常认为的浅水海湾的生境相符。

X2 孔在埋深 8.95—6.2m 的沉积层也出现化石海藻,岩性亦为海相灰色淤泥质粘土。

化石藻在埋深 7.7m 层有圆筛藻-微红金颗藻组合 (*Coscinodiscus* sp.-*Chrysococcus rufescens* Assem.)。

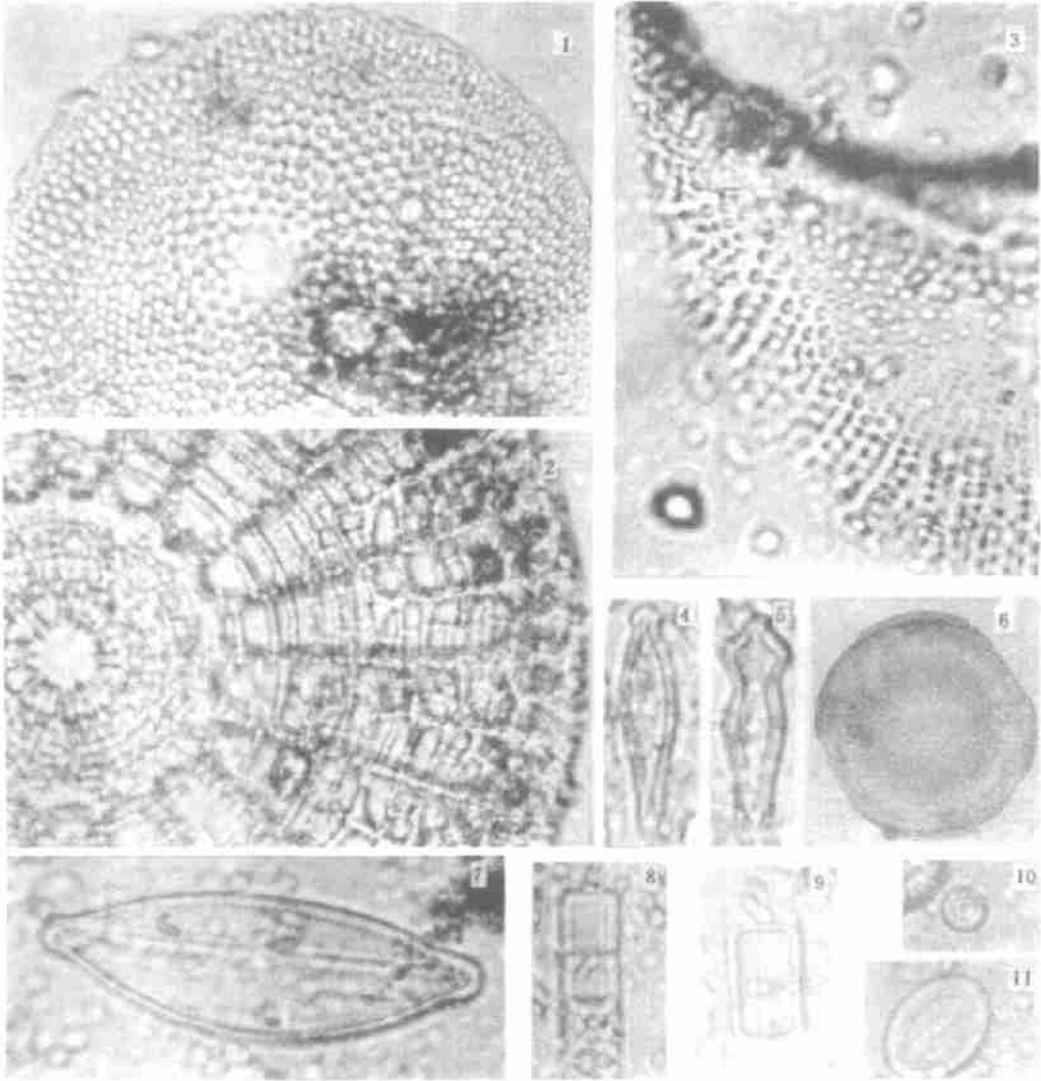


图 1 杭州西湖化石藻显微摄影照片

Fig.1 Microphotograph of the fossil algae of West Lake, Hangzhou

1. 银币圆筛藻 (*Coscinodiscus denarius*), $\times 880$; 2. 纹筛珠网藻 (*Arachnoidiscus ornatus*), $\times 880$; 3. 马鞍藻一种 (*Campylodiscus* sp.), $\times 880$; 4. 球异极藻 (*Comphonema sphaerophorum*), $\times 880$; 5. 尖异极藻 (*G. acuminatum*), $\times 880$; 6. 星形柄链藻 (*Podosira stelliger*), $\times 220$; 7. 埃伦桥穹藻 (*Cymbella chrenbergii*), $\times 880$; 8. 冰岛直链藻 (*Melosira islandica*), $\times 880$; 9. 变异直链藻 (*M. varia*), $\times 880$; 10. 微红金颗藻 (*Chrysococcus rufescens*), $\times 880$; 11. 扁圆卵形藻 (*Cocconeis placentula*), $\times 880$

湖中小瀛洲 6 号孔在埋深 7.6—7.4m 层也有小眼圆筛藻 (*C. oculus*) 的碎片。

从 3 个钻孔均出现海生的圆筛藻化石可认为其时海水既影响西湖东北侧, 也影响到湖

心及湖的西部。但三者受海水影响的时间及程度仍有所不同,湖心及湖的西部受海水影响的时间较湖的东北侧为迟,从3孔海相淤泥质粘土分布的深度及厚度可见X1孔该层厚度可达22.2m, X2孔该层厚度仅为2.75m,相差8倍多,显示湖东、西两侧受海侵入时间有很大差距。再从藻种组成看,湖的西部受海水影响的同时也受西部山涧溪流的淡水影响,因此,呈现海生种、半咸水种与淡水藻种的复式组合,与湖的东北侧以海生藻为主的组合也有所差异。

本带的地质年代按有关资料记载,浙江沿海在距今7000年前后海平面急剧上升,海水沿江向内陆进侵(冯怀珍等,1986),西湖成为古海湾(汪品先等,1979;李从先等,1993)。

IV.圆筛藻-近缘针杆藻-微红金颗藻带 在X1孔埋深13—7m处,本带以海生藻、半咸水藻及淡水藻交替出现,为咸淡水过渡带。在埋深12.8m处出现近缘针杆藻(图2g),它是一种广布于内陆淡盐水的藻种,在本孔第II带也存在,它的出现与海水向淡咸水转化的环境相一致。但在埋深9.5m层又出现辐射圆筛藻(*Coscinodiscus radiatus*),显示当时海水有所下退,但仍时上时下,升降不稳定。从本带化石藻组合看应属泻湖相。

在X2孔埋深5.8m沉积层也出现近缘针杆藻-卵圆双壁藻-微红金颗藻组合(*Synedra affinis*-*Diploneis ovalis*-*Chrysococcus rufescens* Assem.),其中前二种为半咸水种,后一种为淡水种,是半咸水藻与淡水藻组合。

从本带2钻孔情况显示,该时期海面下降,西湖谷地由海湾缩小、水质渐淡化,但从藻类生态成分的组成显示仍不时受到海水的影响。

V.桥穹藻-异极藻-短缝藻带 在X1孔埋深7—4m处,本带在X1孔埋深6.5m处出现淡水性的埃伦桥穹藻(图1:7)-微红金颗藻组合(*Cymbella ehrenbergii*-*Chrysococcus rufescens* Assem.),而到埋深6m层偶见海生性的楔形半盘藻劲直变种(*Hemidiscus cumiformis* var. *recta*),显示湖东北侧此时还偶尔受到海潮的波及,而到埋深5m时出现淡水性的埃伦桥穹藻-异极藻-短缝藻组合(*Cymbella ehrenbergii*-*Gomphonema* spp.-*Eunotia* spp. Assem.),其内有橄榄形异极藻(*Gomphonema olivaceum*)、球异极藻(*G. sphaerophorum*) (图1:4)、尖异极藻(*G. acuminatum*) (图1:5)、光亮窗纹藻(*Epithemia argus*) (图2i)及斑纹窗纹藻(*E. zebra*) (图2h)、大短缝藻、(*Eunotia major*)、月形短缝藻(*E. lunaria*)、篦形短缝藻(*E. pectinalis*)、变异直链藻(*Melosira varia*) (图1:9)等。所见淡水藻种多为附生性成分。

在X2孔埋深5—2.9m沉积层内为丽藻-埃伦桥穹藻-异极藻组合(*Nitella* spp.-*Cymbella ehrenbergii*-*Gomphonema* spp. Assem.)。该组合内藻种多样性程度高。本带5样号均有丽藻卵孢子(图2a—d)出现,且有窗纹藻2种、扁圆卵形藻(*Coccones placentula*) (图1:11)和粗壮短缝藻(*Eunotia robusta*)。从以上二孔的化石藻看,除X1孔受到海潮波及而出现了海生藻种外,本带化石藻均为淡水藻,显示此时湖水水质已基本上淡化。而从藻种的生活型分析则主要为附生性成分,因此,本带应划为附生藻种带。同时,在本带岩芯样内的孢粉分析中也见到眼子菜(*Potamogeton*)、香蒲(*Typha*)等水生维管植物的孢粉,及芦苇含硅质的表皮细胞。综合藻种的生活型及水生植物残体和孢粉,可以推测当时湖内有大量水生维管植物及轮藻类生长,加以本带岩性为黑色泥炭层或褐色腐殖质泥层,均显示西湖在淡化后出现过沼泽化时期。

本带地质年代根据X1孔埋深6.5m处进行的¹⁴C测年值为1634 ± 133a B. P.

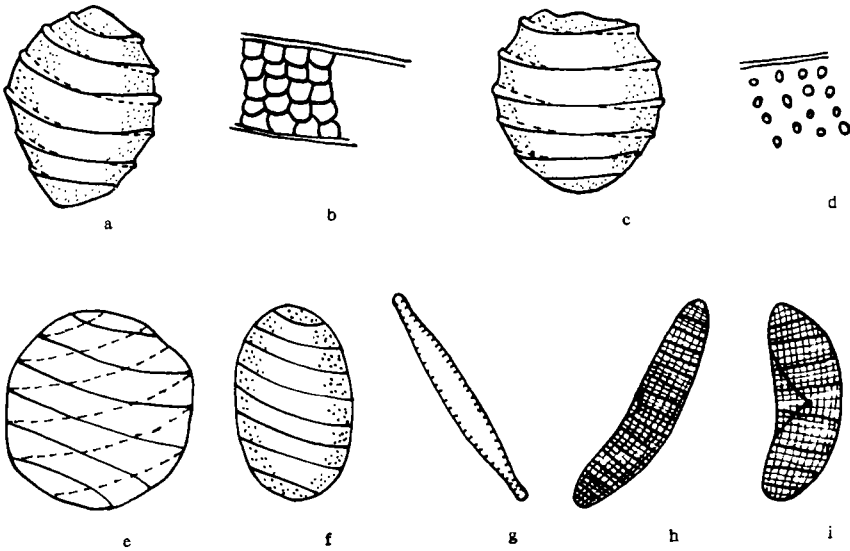


图2 杭州西湖化石藻图(根据显微摄影照片绘制)

Fig.2 Fossil algae for the West Lake, Hangzhou

a. 丽藻 1 (*Nitella* sp.) 卵孢子, $\times 40$; b. 丽藻 (*Nitella* sp.) 卵孢子表面网纹, $\times 440$; c. 丽藻 2 (*Nitella* sp.) 卵孢子, $\times 40$; d. 丽藻 2 (*Nitella* sp.) 卵孢子表面点纹, $\times 440$; e. 轮藻 1 (*Chara* sp.) 卵孢子, $\times 40$; f. 轮藻 2 (*Chara* sp.) 卵孢子, $\times 40$; g. 近缘针杆藻 (*Synedra affinis*, $\times 880$); h. 斑纹窗纹藻 (*Epithemia zebra*, $\times 880$); i. 光亮窗纹藻 (*E. argus*, $\times 880$)

VI. 水花束丝藻带 由于 X1 孔距今日西湖湖缘约 50m, 在埋深 4m 以上深度处受人为填土影响未见带性藻种, 而 X2 孔则临近西里湖, 在埋深 3—1m 的湖积淤泥层内所见浮游藻种与现代湖内浮游藻相仿(项斯端, 1983), 在埋深 2.9m 沉积层内存在大量水花束丝藻休眠孢子, 并有水花鱼腥藻 (*Anabaena flos-aquae*) 的休眠孢子及缢缩脆杆藻 (*Fragilaria construens*)、直链藻属多种 (*Melosira* spp.)、舟形藻属多种 (*Navicula* spp.)、尖布纹藻 (*Gyrosigma acuminatum*)。从水花束丝藻及缢缩脆杆藻等大量出现显示此时期以浮游藻占优势, 同时也显示湖水渐趋富营养化。

3 讨论与结语

3.1 从化石藻的垂直分布分析西湖的形成与演变历程

从本次对化石藻垂直分布的研究, 发现在更新世晚期到全新世初期埋深 32—29m 沉积层内多次出现轮藻组合。轮藻是分布于低温的静水湖沼或缓流水内的一种藻种, 它们的多次出现表明其生长的水域不是一个暂时积水, 而是一个较稳定的淡水水域。再从 3 个钻孔分析, X2 孔及 6 号孔当时均为陆相土层, 仅 X1 孔多次出现轮藻等, 可藉此推测当时在 X1 孔处是一个生长了轮藻的淡水湖沼, 它应该是西湖形成过程的初始阶段, 可以称它为古西湖, 它位于今日西湖的东北隅, 在西湖复向斜的东北倾伏端。其成因应是向斜洼地, 由于其地势低洼, 西部山涧沟谷之水得以汇聚于此而成湖沼。因此, 根据本次钻孔分析得到的 6 个化石藻带, 作者提出西湖的演变历史可分为 6 个期:

(1) 淡水湖沼期 在更新世晚期到全新世早期, 以轮藻等淡水藻组成的淡水湖沼,

是西湖形成的初始阶段。

(2) 淡咸水过渡期 全新世早期之后,全球气候转暖,海面开始上升,海水经钱塘江古河口影响西湖东北隅(或包括东侧)的淡水古西湖湖沼,X1孔由原来的轮藻带转为淡咸水过渡藻带。而湖西部X2孔及中部6号孔处由于地势较高未受影响,仍为陆相坡积土层。

(3) 海湾期 全新世中期,海面上升规模增大,西湖湖谷及其东部平原均被海水淹没成为浅海湾,此时X1孔及X2孔均出现海相的藻类成分。

(4) 泻湖期 全新世晚期由潮水携入的长江及钱塘江泥沙在河口北岸渐沉积为河口沙坎(陈吉余等,1964;李从先等,1993),使西湖海湾的东南面与海水隔断,而东北端可能仍受海水影响,本期水质受海水与陆源淡水双重调控,因此藻类为海生种、半咸水种与淡水种并存的泻湖相。比较X1及X2孔化石藻看,东部仍不时受海水干扰,水体淡化程度略逊于西部。

(5) 淡水西湖沼泽期 距今不到2000年西湖逐渐成为淡水湖泊,从泥炭、孢粉显示其内生长了大量水草,且有苔藓、丽藻等生长。水生高等植物繁生促使水体沼泽化。藻类以贫营养性附生种为主。

(6) 淡水西湖富营养化期 隋唐之后历代对西湖疏浚治理,使水生植物淤塞的沼泽化湖泊成为游览性湖泊。同时,从藻种生态成分的转变,也显示由于人为污染,其水质逐渐由贫营养化向富营养化发展。

3.2 关于西湖的成因与发育历程的探讨

关于西湖的成因与发育历程历来为中外学者所关注,早在1909年日本人石井八万次郎认为西湖是火山堰塞湖(章鸿剑,1924);之后,竺可桢(1921)提出西湖成因于泻湖;此外,尚有认为西湖前身是潮沼或盐沼(王宗涛等,1990)及构造湖盆说(沈耀庭,1990)等,其中泻湖说被研究杭州及西湖历史的各种论著广泛沿用。而作者通过对西湖3钻孔化石藻的分析,根据在湖东北隅埋深32—29m沉积层内有淡水轮藻组合,认为在近万年前该地已存在淡水湖沼,它是西湖形成过程的初始阶段,到9000余年前气候转暖,海水入侵影响该湖沼,使藻类呈现以多种圆筛藻为主的海相组合,经过海湾、泻湖时期之后,直到距今约1800年前再次成为淡水西湖。纵观西湖的演变过程不是从泻湖、海湾等海相生境开始,而是从淡水湖相起始,它经历了淡水—海水—淡水的过程。泻湖是它发育过程中的一个过渡性阶段。当然,西湖发育过程中的海湾、泻湖是两个极其重要的时期,在西湖整个发育历程中约7000余年受到海水制约影响,占了西湖整个历程的2/3时间。

3.3 西湖发育时期在湖体不同部位有所不同

从本次化石藻况的研究来看,湖东北侧自下而上呈现6个化石藻带:Ⅰ.淡水轮藻带→Ⅱ.微红金颗藻—近缘针杆藻—条纹小环藻带→Ⅲ.圆筛藻带→Ⅳ.圆筛藻—近缘针杆藻—微红金颗藻带→Ⅴ.桥穹藻—异极藻—短缝藻带→Ⅵ.水花束丝藻带。据此划分的西湖发育时期为淡水古湖沼期→淡咸水过渡期→海湾期→泻湖期→淡水西湖沼泽期(贫营养化期)→淡水西湖富营养化期。而西湖中部及西部湖区则不存在Ⅰ、Ⅱ两化石藻带,也就是缺失淡水古湖沼期及淡咸水过渡期,而只有后面4个发育期。显示在湖体不同部位的发育时期受地势影响而有所不同。

参 考 文 献

- 王宗涛,顾嗣亮,吴静波等,1990.西湖的成因、发育及年龄.见:杭州历史丛编之一(南北朝前古杭州).浙江人民出版社,213—225
- 冯怀珍,王寂涛,1986.全新世浙江的海岸变迁与海面变化.杭州大学学报,13(1):100—107
- 李从先,陈刚,钟和贤,1993.冰后期钱塘江口沉积层序和环境演变.第四纪研究,1:16—23
- 汪品先,叶国梁,卞云华,1979.从微体化石看杭州西湖的历史.海洋与湖沼,10(4):373—382
- 陈吉余,罗祖德,陈德昌,1964.钱塘江河口沙坎的形成及其历史演变.地理学报,30(2):109—123
- 沈耀庭,1990.杭州地壳演变历程.见:杭州历史丛编之一(南北朝前古杭州).浙江人民出版社,27—39
- 金德祥,程兆第,林均民,1982.中国海洋底栖硅藻类(上卷).北京:海洋出版社,19
- 竺可桢,1921.杭州西湖生成的原因.科学,6(4):18—20
- 胡鸿钧,李尧英,魏印心等,1980.中国淡水藻类.上海:上海科技出版社,130—199
- 项斯端,1983.杭州西湖浮游藻种的调查.杭州大学学报,10(增刊):95—102
- 章鸿剑,1924.杭州西湖成因一解.中国地质学会志,3(1):21—29
- Caljon A G, Cocquyt C. Z. 1991. Sedimentary diatom assemblages in the northern part of Lake Tanganyika. *Hydrobiologia*, 266:179—191
- Haworth E Y, 1972. Diatom succession in a core from Pickerel Lake, northeastern south Dakota. *Geological Society of America Bulletin*, 83:157—172
- Round F E, 1961. The diatoms of a core from Esthwaite water. *New Phytol*, 60:43—59

PROBING INTO THE HISTORY OF THE WEST LAKE, HANGZHOU, BASED UPON THE VERTICAL DISTRIBUTION OF ALGAL MICROFOSSILS

XIANG Si-duan, ZHAO Jian-kang[†], ZHOU Hong, WANG Jiang-yi

(College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou, 310012)

[†] (The Geological Environmental Monitoring Station of Zhejiang, Hangzhou, 310007)

Abstract In spring 1994, 70 sediment samples from 3 cores, collected from the northeastern shore (X1), western shore (X2) and Xiaoyingzhou (No.6) of the West Lake were analyzed. 63 species of microfossil algae are found, including 79% of diatoms; these algal microfossils made up 18 assemblages. From bottom to top, the core X1 is divided into six algal zones according to indicator species of algal assemblages: I. *Chara* zone: - 32— - 29m; II. *Chrysococcus rubescens*-*Synedra affinis*-*Cyclotella striata* zone: - 29.0— - 24m, characterized by coexistence of fresh water algae, brackish water algae and marine algae; III. *Coscinodiscus* zone: - 24— - 13m, marine algae zone; IV. *Coscinodiscus*-*Synedra affinis*-*Chrysococcus rubescens* zone: - 13— - 7m, coexistence of marine, brackish and fresh-water algae; V. *Cymbella*-*Gomphonema*-*Ennotia* zone: - 7— - 4m, freshwater epiphytic algae zone; VI. *Aphanizomenon* zone: - 4m and above. These zones indicates 6 developing stages of the Lake i.e. paleopond stage, fresh water to marine transitional stage, bay stage, lagoon stage, fresh water West Lake bog stage, and a eutrophic stage of fresh water.

The algal zones in Cores X2 and NO.6 are lack of Zones I, II. Thus, paleopond stage and fresh water to marine transitional stage are absent at these two sites; only 4 developing stages exist.

The existence of the paleopond stage shows that, around 10 thousand years ago, the West Lake originated from a fresh water pond, instead of a lagoon or embayment.

Key words Fossil algae Diatom Fresh water algae Brackish water algae Marine algae

Subject classification number P53