

杭州西湖湖底附泥藻群落*

项斯端 吴文卫

(杭州大学生命科学学院, 杭州 310012)

提 要 杭州西湖在 20 世纪 40 年代湖底附泥藻群落以蓝藻门静水隐杆藻为优势, 占 98% - 99%, 而 90 年代本次调查时发现随着水体富营养化底栖性的附泥藻群落由蓝藻型转变为以硅藻门放射针杆藻为优势的群落。根据 1991 年 4 月及 12 月调查全湖各湖区该群落分为三个组合: (1)放射针杆藻组合: 外湖及北里湖, 藻密度高, $(302 - 575) \times 10^4$ 个 $\cdot g^{-1}$ 。放射针杆藻占总藻量的 41.2% - 52.8%。(2)凸腹脆杆藻 - 放射针杆藻组合: 分布在西部三个湖区。藻密度低, 仅为前一组合的 1/3 或 1/8。(3)静水隐杆藻组合: 仅存在于三潭印月内湖。

关键词 附泥藻群落 放射针杆藻 静水隐杆藻 杭州西湖

分类号 Q949.22

附泥藻群落是由底栖微藻组成的群落, 存在淤泥水界面到淤泥下数毫米深度处, 它与湖泊内的浮游藻群落同为水生生态系统中二个上下并存的藻类群落, 二者分别占据了湖水及淤泥表层不同的生态位。附泥藻群落在湖底淤泥表面吸收利用底泥的氮、磷营养并对富营养湖底的氮磷释放起到一定的调控作用。同时, 它又是底栖鱼类及动物的饵料基地与栖息场所, 因此, 在研究湖泊富营养化问题, 监控浮游藻群落动态的同时, 研究湖底附泥藻群落是十分必要的。Round 等在 50 年代之后即对湖泊底栖活藻体进行了系列的研究^[1-5]。而我国至今对湖泊富营养化的研究多局限於浮藻类, 而对底栖性附泥藻的研究尚未见报道。

杭州西湖为著名的游览性湖泊, 面积仅 5.66km², 深度平均 1.5m, 20 世纪 60 年代之后富营养化急剧发展, 80 年代时其浮游藻密度曾高达每升水数亿个, 蓝藻门占绝对优势^[6]。随着富营养化的发展, 湖水透明度降低, 必然引起了底栖附泥藻群落的相应变化, 作者对西湖湖底沉积物(包括化石藻类)进行柱状取样时对泥表层的附泥藻群落的组成成分、数量、存活率及全湖的水平分布等进行了分析。

1 研究方法

1.1 样点设置

西湖包括 6 个湖区(外西湖、北里湖、岳湖、西里湖、小南湖、三潭印月内湖)。外西湖是西湖的主要湖区, 每次采样设 4 个采样点。其他各湖区各设 1 个采样点(图 1)。

1.2 采样方式

用内径 6.0cm 的柱状硬质塑料采泥管作湖内浅层钻孔取样, 该管外有刻度, 下口有莲花状齿瓣, 在船上操作, 取泥表层土样 20g, 置玻瓶, 加 200mL 蒸馏水, 加 15mg $\cdot L^{-1}$ NaHCO₃, 摇

* 国家自然科学基金资助项目: (39370140)。

收稿日期: 1997-09-13; 收到修改稿日期: 1998-05-05。项斯端, 女, 1928 年生, 教授。

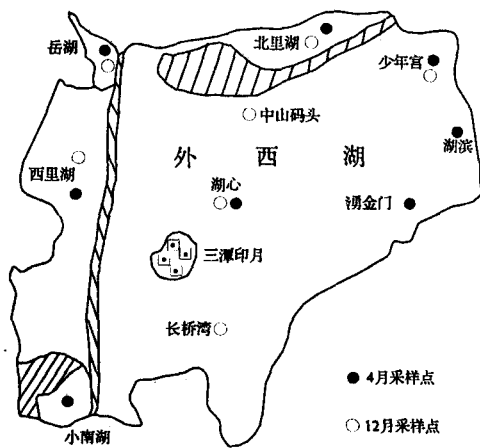


图 1 西湖采样点分布

Fig. 1 Disattribution of sampling points in West Lake (● Apr. □ Dec.)

匀,待泥沙下降距水面 1cm 上下时取上层液于高倍显微镜下计数.

于 1991 年 4 月及 12 月各采样一次,4 月设 9 个采样点,12 月设 7 个采样点.

2 结果

2.1 湖底附泥藻群落组成成分分析

西湖湖底泥表层二次采样共采到 50 种藻类:计硅藻门 30 种;蓝藻门 9 种;绿藻门 11 种.现将每种藻的多度、频度以及活藻体与死藻体数量分别列于表 1.在附泥藻群落内的这些藻种按生活型可分为三类.

2.1.1 附泥藻类(epipellic algae) 它们在泥表均为活藻体能在水底淤泥表面进行光合作用.从表 1 可见硅藻门的放射针杆藻(*Synedra berolinensis*),缢缩脆杆藻(*Fragilaria construens*)、缢缩脆杆藻凸腹变种(*F. construens* var. *venter*)活藻体分别占 94.8%

-97.6%、83% - 100%、75% - 100%,它们在淤泥表面活体比率极高,而且多度高能成为优势种或亚优势种.蓝藻门的静水隐杆藻(*Aphanothece stagnina*)虽仅分布在三潭印月内湖湖底但活体比例可达 100%,蓝藻门的螺纽鞘丝藻(*Lyngbya contorta*)在湖底泥表也能大量存在,活藻体可高达 61% - 62%,多度亦高,它在光条件适宜时可行光合作用,在腐殖质丰富时也可进行腐生生活.同时它既是附泥藻群落中的重要成份又是西湖内浮游藻群落中的优势种之一.

表 1 附泥藻群落内藻种的多度、频度以及活藻与死藻数量

Tab. 1 The Abundance, Frequence, living and dead algal number of epipellic algal community

藻 种	多 度*	频 度*	活/死藻数
硅藻门(Bacillariophyta)			
放射针杆藻 (<i>Synedra berolinensis</i> Lem)	D	100%	183/10, 160/4
凸腹脆杆藻 (<i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i>)	D-A	100%	38/0; 118/0
缢缩脆杆藻 (<i>P. construens</i>)	F-A	70%	20/0; 45/0
颗粒直链藻 (<i>Melosira granulata</i>)	R	100%	0/2; 0/5
颗粒直链藻窄形变种 (<i>M. g.</i> var. <i>augustissima</i>)	V _r -F	100%	6/0; 0/3
变异直链藻 (<i>M. varia</i>)	V _r	20%	0/3
湖泊圆筛藻 (<i>Cocconeis lacustris</i>)	V _r	30%	1/2
卵形藻 (<i>Cocconeis placentula</i>)	V _r	50%	0/1; 2/2
小环藻 (<i>Cyclotella</i> sp.)	V _r	20%	0/1
针状针杆藻 (<i>Synedra acus</i>)	R	20%	5/1; 2/0
肘状针杆藻 (<i>S. ulna</i>)	V _r	20%	0/2
窗格平板藻 (<i>Tabellaria fenestrata</i>)	V _r	20%	0/1
普通肋缝藻 (<i>Frustulia vulgaris</i>)	V _r	40%	0/1
菱形肋缝藻 (<i>F. rhomboids</i>)	V _r	10%	0/1
汉氏冠盘藻 (<i>Stephanodiscus hantzschis</i>)	V _r	10%	0/1
短扁美壁藻截形变种 (<i>Caloneis silicula</i> var. <i>truncatula</i>)	V _r	10%	0/2

藻种	多度*	频度*	活/死藻数
卵圆双壁藻 (<i>Diploneis ovalis</i>)	Vr	10%	0/1
舟形藻 (<i>Navicula</i> sp.)	R	20%	8/0;6/2
卵圆双眉藻 (<i>Achnanthes ovalis</i>)	Vr	30%	0/1
偏肿桥穹藻 (<i>Cymbella ventricosa</i>)	Vr	10%	0/1
橄榄形异极藻 (<i>Gomphonema olivaceum</i>)	Vr	20%	0/2
窄异极藻 (<i>G. angustatum</i>)	Vr	10%	0/1
尖异极藻 (<i>Gomphonema acuminatum</i>)	Vr	10%	0/1
曲壳藻 (<i>Achnanthes</i> sp.)	Vr	40%	0/1
光亮窗纹藻 (<i>Epithemia argus</i>)	Vr	40%	0/1
斑纹窗纹藻 (<i>E. zebra</i>)	Vr	40%	0/1
双尖菱板藻 (<i>Hantzschia amphioxys</i>)	Vr	10%	0/1
谷皮菱形藻 (<i>Nitzschia palea</i>)	Vr	10%	0/1
椭圆波缘藻 (<i>Cymatopleura elliptica</i>)	Vr	10%	0/1
草鞋形波缘藻 (<i>C. solea</i>)	Vr	10%	0/1
蓝藻门 (Cyanophyta)			
螺纽鞘丝藻 (<i>Lyngbya contorta</i>)	A	100%	24/14;25/16
水花束丝藻 (<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>)	Vr-F	100%	23/0;1/0
水花束丝藻休眠孢子	F	100%	2/8;4/0
银灰平裂藻 (<i>Merismopedia glauca</i>)	Vr-R	40%	2/0;55/0
微小平裂藻 (<i>M. tenuissima</i>)	Vr	20%	2/0
拉氏拟鱼腥藻 (<i>Anabaenopsis raciborskii</i>)	Vr-A	100%	2/0;55/0
艾氏拟鱼腥藻 (<i>A. elenkinii</i>)	Vr	10%	1/0
铜线微囊藻 (<i>Microcystis aeruginosa</i>)	Vr	10%	1/0
水花微囊藻 (<i>M. flos-aquae</i>)	Vr	10%	1/0
静水隐杆藻 (<i>Aphanothece stagnina</i>)	A-D	10%	
绿藻门 (Chlorophyta)			
四尾栅藻 (<i>Scenedesmus quadricauda</i>)	A	100%	5/10;30/22
繁茂栅藻 (<i>S. abundens</i>)	F	100%	0/27;0/23
二型栅藻 (<i>S. dimorphus</i>)	Vr	100%	1/1
卵囊藻 (<i>Oocystis</i> sp.)	Vr	30%	0/2
单突盘星藻 (<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>granulatum</i>)	Vr	60%	0/1;0/2
短棘盘星藻 (<i>P. boryanum</i>)	Vr	30%	0/1;0/4
针状纤维藻 (<i>Ankistrodesmus acicularis</i>)	Vr	10%	1/0
四角藻 (<i>Tetraedron minimum</i>)	Vr	30%	0/1
具刺双毛藻 (<i>Schroederia setigera</i>)	Vr	10%	0/1
透镜壳衣藻 (<i>Phacotus lenticularia</i>)	Vr	20%	0/4;0/2
四星藻 (<i>Tetrastrum</i> sp.)	Vr	20%	1/0;1/1

* 多度: D 表示优势(大于 100×10^4 个 $\cdot g^{-1}$); A 表示丰盛($40 \times 10^4 - 100 \times 10^4$ 个 $\cdot g^{-1}$); F 表示中量($10 \times 10^4 - 40 \times 10^4$ 个 $\cdot g^{-1}$); R 表示少量 $5 \times 10^4 - 10 \times 10^4$ 个 $\cdot g^{-1}$; Vr 表示微量 $1 \times 10^4 - 5 \times 10^4$ 个 $\cdot g^{-1}$ 。频度: 10 样点中出现次数。

2.1.2 附生藻类 (Epiphytic algae) 常附生于大型植物或其他物体上, 死亡后沉降到淤泥面上, 因此, 此类藻体镜检大多为死亡无色的个体。在本群落中出现的种类有卵形藻 (*Cocconeis placentula*)、肘状针杆藻 (*Synedra ulna*)、窗纹藻属多种 (*Epithemia* spp.)、异极藻属多种 (*Gomphonema* spp.)、变异直链藻 (*Melosira varia*) 等。本类藻在群落内多度甚低 (R - Vr)。

2.1.3 浮游藻类 (Phytoplankton) 这些藻种有的是采样时随水混入的, 也有一些蓝藻门藻种在强光时沉降到水的下层, 如水花束丝藻 (*Aphanizomenon flos-aquae*)、平裂藻属多种 (*Merismopedia* spp.)、铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 等, 它们都以活细胞状态存在。此外也有一

些死亡的浮游藻沉降到水底泥表层,如绿藻门栅藻属和盘星藻属的一些藻类,在淤泥表面为死亡或部分失绿状态。

以上三类生活型的藻类以第一类为真正的附泥藻成分,是附泥藻群落的主要组成者,在外西湖及北里湖内可占该群落藻量的 70% 以上(图 2a、b)。而在西部三个湖区内真正的附泥藻在群落中仅占 40% - 43%,相应的附生藻及沉降的浮游藻比例有所增加(图 2c、d、e)。

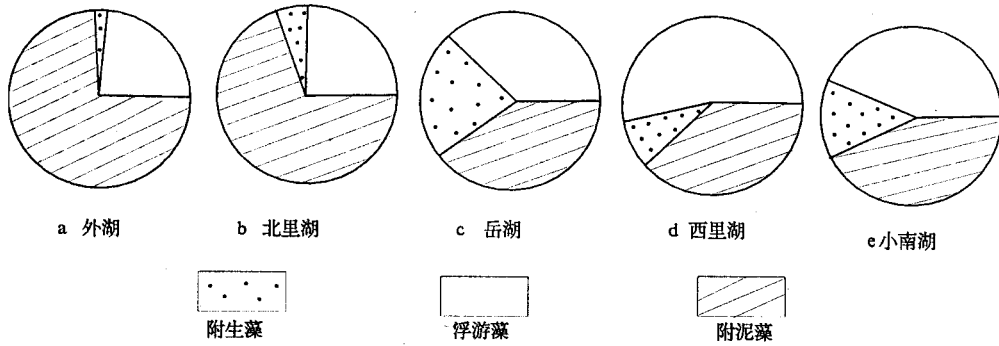


图 2 5 湖区附泥藻、附生藻、浮游藻的百分值

Fig. 2 The pecentage of epipellic, epiphytic algae and phytoplankton on 5 lake regions

2.2 附泥藻群落的优势类群

附泥藻群落在 4 月、12 月采样均以硅藻门为优势类群(表 2), 占总藻量的 64%, 又均以放射针杆藻为优势种, 4 月占总藻量的 47.50%, 12 月占 33.68%。二次采样蓝藻门都只占 20%。而浮游藻群落与附泥藻群落同期的优势类群与优势种截然不同(表 2), 浮游藻群落的优势类群为蓝藻门占总藻量的 84.77%, 其中水花束丝藻为优势种占总藻量的 75.78%, 放射针杆藻仅占总藻量的 5.86%。由之可见, 西湖内浮游藻群落与附泥藻群落由于生态位的不同, 光条件与营养状况的差异形成群落的优势类群与优势种完全不同, 前者以蓝藻门成分占绝对优势, 后者则以硅藻门占绝对优势。

表 2 湖心浮游藻群落与附泥藻群落主要藻种百分率比较

Tab. 2 A comparison of the percentage of main phyta. and species between epipellic algal community and phytoplankton community in the centre of West Lake

主要类群及藻种	湖心浮游藻群落 (1991 年 4 月)	湖心附泥藻群落 (1991 年 4 月)	湖心附泥藻群落 (1991 年 12 月)
蓝藻门 (Cyanophyta)	84.77%	20.60%	20.77%
水花束丝藻 (<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>)	75.78%	6.70%	0
螺纽鞘丝藻 (<i>Lyngbya contorta</i>)	1.56%	11%	7.16%
拉氏拟鱼腥藻 (<i>Anabaenopsis raciborskii</i>)	6.64%	0.60%	9.70%
平裂藻属多种 (<i>Merismopedia</i> spp.)	0.78%	0.60%	0.52%
绿藻门 (Chlorophyta)	1.95%	14.50%	14.80%
栅藻属 (<i>Scenedesmus</i> spp.)	1.56%	13.60%	13.44%
硅藻门 Bacillariophyta	12.89%	64.90%	64.40%
放射针杆藻 (<i>Synedra berolinensis</i>)	5.86%	47.50%	33.68%
凸腹脆杆藻 (<i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i>)	0.39%	11%	20.59%
缢缩脆杆藻 (<i>F. construens</i>)	0	5.80%	7.85%

2.3 附泥藻群落的水平分布

图 3 显示除西里湖采样点 4 月之外,其余各采样点除西里湖湖之外硅藻均占 60% 以上,因之可以认为全湖的附泥藻群落均以硅藻门为优势类群,而蓝藻门、绿藻门所占比例甚少.而从各采样点藻类丰度的水平分布情况看全湖的东部 2 湖区(外西湖、北里湖)高于西部 3 湖区(岳湖、西里湖、小南湖)(图 4).此外,东部 2 湖区与西部 3 湖区在优势种的优势程度上也有所差异,三潭印月内湖又以静水隐杆藻为优势种,因此,全湖附泥藻群落可分为三种组合.

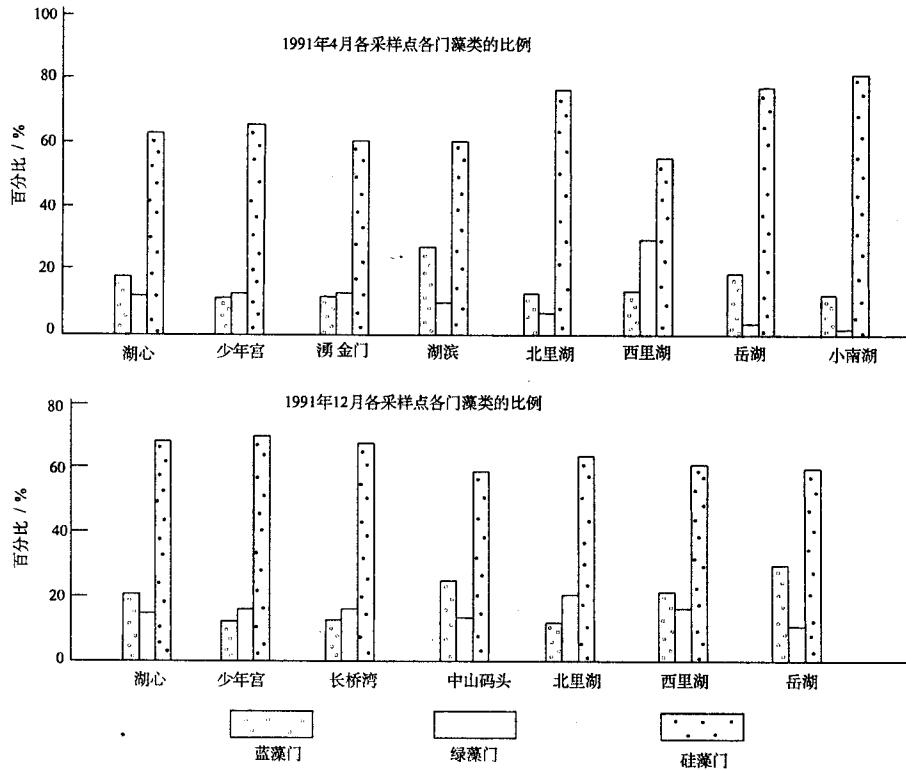


图 3 各采样点各门藻类所占百分值

Fig. 3 The percentage of Bacillariophyta, cyanophyta and chlorophyta in sample sites

2.3.1 放射针杆藻组合 分布在外湖及北里湖二湖区,以硅藻门放射针杆藻占明显的优势,4月份占总藻量的 41.2% - 52.8%,12月份占总藻量的 33.6% - 44.5%.本组合含藻量高,4月各点平均为 251×10^4 个 $\cdot g^{-1}$,12月各点平均为 279×10^4 个 $\cdot g^{-1}$.

2.3.2 凸腹脆杆藻—放射针杆藻组合 分布在西部 3 湖区(岳湖、西里湖、小南湖)与前一组合差异在于放射针杆藻的优势程度不明显,仅占各湖区总藻量的 17.8%、9.5%、9.8%(4月).而硅藻门的缢缩脆杆藻凸腹变种较放射针杆藻稍高,占各湖区总藻量的 13.3%、14.3%、22.4%.此外,蓝藻门的螺纽鞘丝藻也占该群落藻量的 8.9%、17.5%、8.2%.因此可以说本组合优势种的优势程度不明显.同时本组合附泥藻丰度低,藻量约为前一组合的 1/3 - 1/8(图 4).

2.3.3 静水隐杆藻组合 在三潭印月内湖以蓝藻门静水隐杆藻为优势,该湖区水深不足 1m;

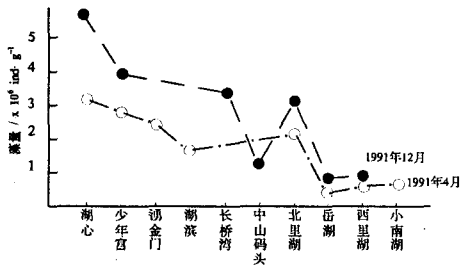


图 4 附泥藻群落藻量分布线

Fig. 4 The distributional curve of algal abundance on the epipelagic algal community

透明见底,湖内有大量水生维管束植物生长,湖底附泥藻为静水隐杆藻、舟形藻以及一些死亡的附生性硅藻形成组合。

3 讨论

3.1 西湖湖底附泥藻群落的变迁

本世纪 40 年代根来健一郎^[7]报道西湖湖底是以静水隐杆藻占 98% - 99% 的群落. 70 年代作者在外西湖偶而采到少量静水隐杆藻, 当时西湖已经富营养化, 大湖内水生维管束植物已绝灭. 90 年代本次调查时西湖各采样点附泥藻群落(除三潭印月内湖之外)

均以硅藻门放射针杆藻占优势, 泥表层取样置玻并内可见表面有薄层棕黄色沉积物, 与 30 年代川村多实二^[8]描述过的暗绿色沉积层截然不同。

目前,除了三潭印月内湖有静水隐杆藻与水草同时存在外,在西里湖柱状钻孔发现泥下 - 25cm 及 - 45cm 的沉积层内还有静水隐杆藻的胶质残骸,若按西湖年沉积速率 0.39cm^[9] 计算则埋深 25cm 及 45cm 沉积层距今年代约为 60 年到 110 年之前,显示西里湖在上世纪末到本世纪中期附泥藻群落为静水隐杆藻组合,与根来健一郎 40 年代报道的情况相一致. 至于在其他湖区相应沉积层内未发现该藻种残骸可能与西湖连年疏浚有关。

西湖主要湖区在 40 年代湖底的附泥藻群落以蓝藻门静水隐杆藻为优势,而 90 年代初本次调查已是硅藻门的放射针杆藻为优势,由于从 40 年代到 90 年代之间未见连续的附泥藻群落的调查资料,因此对这 60 年间附泥藻群落如何从静水隐杆藻逐渐演替为放射针杆藻尚不清楚. 但西湖数十年来经历了不少变化: 在 40 - 50 年代初,湖底繁生水草,水体透明见底; 60 年代之后城市污水大量排入,富营养化日趋严重; 80 年代西湖虽经治理但水质短期仍无明显好转. 富营养化形成浮游藻类密度的增加,水体透明度降低时仅 25 - 35cm,引起底栖附泥藻群落的受光条件改观,根据作者 1986 年秋季测得水深 1m 处光照仅为水表面全日照的 4% - 7%, 1.5m 深处为 0.3%. 湖底光照不足可能导致静水隐杆藻的消亡. 至于 90 年代附泥藻群落的优势种放射针杆藻既可栖身于湖底泥表,也仍有一定浮游能力,因此,它对富营养水体的弱光生境应较静水隐杆藻有更强的适应能力。

3.2 与国内外湖泊附泥藻群落的比较

由于国内至今对富营养湖泊藻类的研究工作均侧重于浮游藻类的调查,对附泥藻群落的研究少见报道,而国外 60 年代 Round 曾报道了芬兰 18 个湖体的泥表区系,发现它们大多以硅藻门绒毛平板藻 (*Tabellaria flocculosa*) 为优势种,占群落藻量 23% - 60%, 并认为绒毛平板藻的优势可指示湖泊为寡营养到腐殖质营养的性质^[11]. 之后, Round 又报道了英国 Windermere 水体及 Esthwaite 湖底泥表均以美丽星杆藻 (*Asterionella formosa*) 为优势,并认为该藻种出现于向富营养化转化的水体^[12]. 与这两种硅藻相比以放射针杆藻为优势的西湖湖底必然也与沉积层的营养状况相一致. 西湖底质调查均认为西湖底泥有机质含量特别高,是国内外湖泊中少见的,如腐泥层内有机质含量可高达 22.24%^[9], 而英国 Esthwaite 为 14%^[10]、英 Windermere 为 6% - 15%^[10]. 由此可见,西湖湖底附泥藻群落的优势种放射针杆藻是较绒毛平板藻,美丽

星杆藻更能适应富营养化水体的附泥藻成分.

参 考 文 献

- 1 Round F E. The epipellic algae flora of some Finnish lakes. *Arch Hydrobiol*, 1960, **57** (1/2):161 - 178
- 2 Round F E. The diatoms of a core from Esthwaite water. *New Phytol*, 1961, **60**:43 - 49
- 3 Round F E. Studies on bottom living algae in some lakes of the English Lake District. Part II *J Ecol*, 1957, **45**:343 - 360
- 4 Round F E. Studies on bottom living algae in some lakes of the English Lake District. Part III. *J Ecol*, 1957, **45**:649 - 664
- 5 Round F E. Studies on bottom living algae in some lakes of English Lake District, Part IV. *J Ecol*, 1960, **48**:529 - 547
- 6 项斯端. 杭州西湖的浮游蓝藻群落及其类型. 杭州大学学报, 1983, **10**(增刊):75 - 87
- 7 根来健一郎. 杭州西湖湖の底上に発達す百藻類群落について. 上海自然科学研究所汇报, 1942, **13**(15):423 - 438
- 8 川村多夷二. 杭州西湖及し常陸神の池の湖底沉積物に就て. 陸水学雑誌, 1931, **1**(1):3 - 11
- 9 吴静波、焦荔、章永昌. 杭州西湖湖底的表层沉积物—内负荷的积累和反馈. 见: 西湖环境研究论文集, 1990. 91 - 100
- 10 Round F E. Studies on bottom-living algae in some Lakes of the English Lake District, Part I. some chemical features of the sediment related to algae productivities. *J Ecol*, 1957, **45**:133 - 148

Epipellic Algal Community on the Bottom of West Lake, Hangzhou

XIANG Siduan WU Wenwei

(Life Science College, Hangzhou University, Hangzhou 310012)

Abstract

Epipellic algal community and phytoplankton community are two correlative communities in the same ecosystem of West Lake, Hangzhou. In the 1940s, *Aphanothece stagnina* was a dominate species in the epipellic algal community, occupying 98% - 99% of the sediment in West Lake. Therefore forwarded a half centenary, following the eutrophication of the lake, the transparency of water decreased, and the decrement induced a corresponding succession of the epipellic algal community. The dominant species are changed from *Aphanothece stagnina* to *Synedra berolinensis*.

The epipellic algal community in West Lake can be divided into 3 assemblages:

(1) *Synedra berolinensis* Assem.: Distributed in Waixihu and Beilihu area with relatively high algal density, $302 \times 10^4 - 575 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{g}^{-1}$. *Synedra berolinensis* is a dominant species, occupying 41.2% - 52.8% of total algal number in the assemblages.

(2) *Fragilaria construens* var *venter*-*Synedra berolinensis* Assem.: Distributed in 3 lake areas which are located in the western part of the lake (Xilihu, Yuehu and Xiaonanhu). The algal density is 1/3 - 1/8 of the first assemblage.

(3) *Aphanothece stagnian* Assem.: Only exists in the inner lake on Santanyinyue island.

Key Words Epipellic algal community, *Synedra berolensis*, *Aphanothece stagnian*, assemblage, West Lake(Hangzhou)