

杭州西湖水生植被恢复的途径 与水质净化问题*

陈洪达

(中国科学院水生生物研究所)

AN APPROACH TO THE RESTORATION OF AQUATIC VEGETATION IN THE XIHU LAKE OF HANGZHOU, WITH REFERENCE TO THE WATER QUALITY PROBLEM

Chen Hongda

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica*)

我国著名的风景湖泊——杭州西湖、南京玄武湖、北京昆明湖、武汉东湖和昆明滇池等,由于人类经济活动的影响,特别是由于生活污水的大量排入和渔业生产的影响,致使湖泊富营养化问题越来越严重,不仅降低了旅游价值,而且有害于沿湖居民的生活和健康,因此引起人们的极大关注。杭州西湖富营养化程度相当严重^[1,2,3],尽管在五十年代采取了挖泥疏浚的措施,以增加湖水深度;近年来又逐步截断污染源以减少入湖的污水量;甚至向湖内投放了约50吨的螺类和蚌类,试图提高水生动物对污水的净化作用;1981年还引灌钱塘江水入西湖;但目前仍未能阻止水体富营养化的继续发展。

为了提高西湖水生生物对湖水的净化能力,特别是利用水生维管束植物(简称水生植物)作为净化湖水的手段,我们于1979年、1981年和1982年先后对西湖的水生植被进行了调查,并在湖中和室内做了一些有关恢复水生植被的试验研究。本文主要是分析西湖水生植被变化的原因,探讨

恢复西湖水生植被的可能性和恢复途径,预报西湖水生植被恢复后在水质净化上的作用。

西湖水生植被的现状及其原因的分析

1. 西湖水生植被的现状

据西湖园林局1981年提供的资料,西湖现有水面面积为5.68平方公里(8520亩),在平均水深为1.5米时,蓄水量约为1043万立方米。全湖可分为5个湖区:外西湖面积为6645亩(包括三潭内湖60亩),占全湖面积的78%;西里湖为1117.5亩,占13.11%;北里湖为525亩,占6.16%;小南湖为127.5亩,占1.50%;岳湖105亩,占1.23%。

据了解,在五十年代初期,西湖中的水

* 张晓燕同志及华中农学院1977届同学蒋国政、陈福兵、余秋梅参加过1981年的野外工作;王骥、王健两同志在1982年做过湖上试验。特此一并致谢。

编辑部收到稿件日期:1982年7月23日。

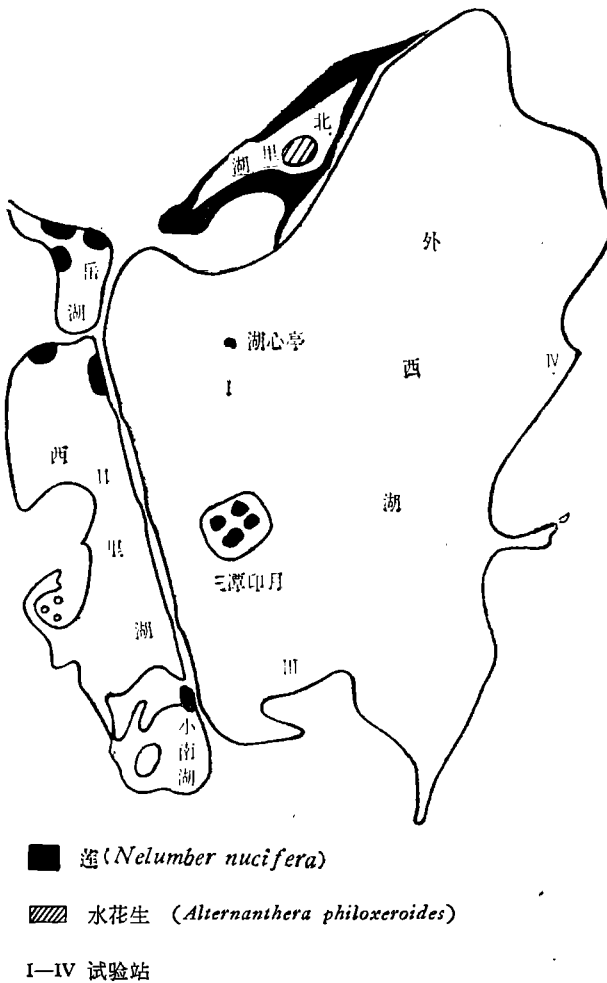


图1 杭州西湖水生植物的分布和试验站的位置

Fig. 1 Map of the Xihu Lake showing the distribution of aquatic macrophytes and the location of experiment stations

生植物是丰富的,其中莲 (*Nelumbo nucifera*) 的分布面积很大,沉水植物也不少,但后来受到人类经济活动的影响,湖中水生植物逐渐遭到破坏。目前除三潭内湖和其他风景区内的小池中生长着莲、水荇 (*Hydrocharis asiaticus*)、黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 等一些种类,湖内人工栽种的200多亩莲和数亩水花生 (*Alternanthera philo-*

xeroides) 外,在西湖中的任何深水、浅水处都没有植物分布 (图1)。

西湖水域管理处为了美化湖上风景,1981年全湖植莲200多亩,主要集中在北里湖,约163亩,占全湖莲丛面积的81%,在岳湖约有30亩,西里湖有16.5亩。在岳湖和北里湖内的莲丛,其外缘都围以竹箔,以防湖内的草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 和团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 进入为害,所以莲丛的面积是受到限制的 (图2)。在北里湖中心,于1981年试种水花生数亩,其外缘则围以聚氯乙烯网,但有草鱼钻进去咬食其根,故生长不良。在三潭内湖中,大部分水面均为莲丛,在群丛中有少量聚草、水花生等植物,在亭子附近水面引种有黄睡莲、红睡莲和萍蓬莲等观赏水生植物,增添了三潭内湖的美景。

2. 西湖水生植被缺乏的原因分析

据作者调查和分析,导致西湖水生植被缺乏的原因是多方面的,如放养草食性鱼类和湖水富营养化的迅速发展,以及由于挖泥增加了水深。

(1) 大量放养草食性鱼类使原有的水生植被遭到严重的破坏

在五十年代初,西湖平均水深为0.55米,生长着各种水生植物。当时为发展西湖渔业,建立了渔民协会 (后改为西湖渔场),并开始投放草鱼。据渔场提供的资料,1951年投放草鱼40万尾,2—3年后

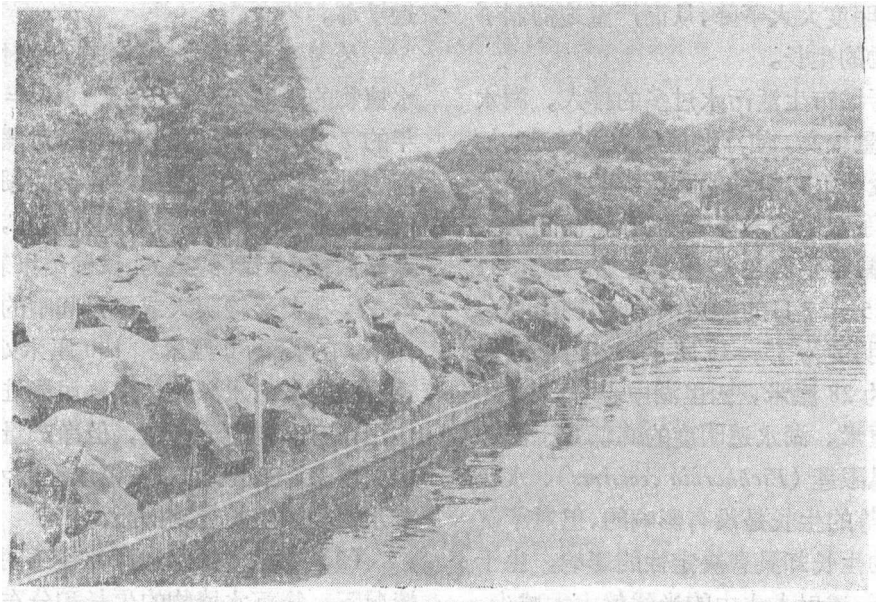


图 2 西湖内人工种植的莲丛，外缘围以竹箔，防止草鱼和团头鲂进入为害

Fig. 2 Artificially planted lotus (*Nelumbo nucifera*) in the Xihu Lake. Bamboo fences are installed around the vegetation to prevent being grazed by *Ctenopharyngodon idellus* and *Megalobrama amblycephala*

水生植被遭到了很大破坏。接着是 1954 年开始的深挖湖泥和逐年不断的放进草鱼和团头鲂，导致原已为数不多的水生植物基本被吃光。尽管在七十年代，强调了保护西湖水质的重要性，限制了草鱼的放养，但团头鲂的放养量却逐年增加。1970—1978 年的 9 年中，团头鲂的年放养量为 12,301—117,682 尾，平均每年放养 46,210 尾(图 3)，加上放养鲢、鳙时带进去的一些草鱼，使得任何种类的水生植物都无法在湖中得到生存的机会。

根据作者调查，武汉东湖、南京玄武湖、北京昆明湖和昆明滇池等城市风景湖泊，在人工放养鱼类以前，水生植物都是丰富的，在大量放养草鱼后都出现了水生植被受到严重破坏的现象。

(2) 湖水富营养化的迅速发展

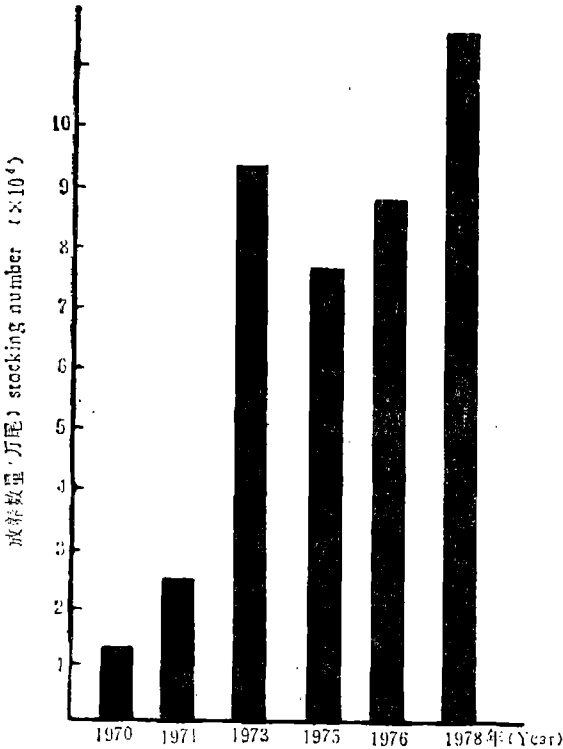


图 3 杭州西湖 1970—1978 年放养团头鲂的数量

Fig. 3 Stocking number of *Megalobrama amblycephala* in the Xihu Lake in 1970—1978.

展,使透明度大大下降,从而严重地抑制了沉水植物的生长。

由于城市生活污水过多的排入,湖水氮、磷含量较高,使浮游植物大量繁殖;加之湖泥受风浪、机动船和鱼类的搅动而上翻,增加了水中的悬浮颗粒,致使湖水透明度下降,常年平均在 35 厘米左右。据 1981 年 7 月 25—27 日的测定: 外西湖中心(I 站)的透明度为 35—38 厘米,外西湖南部(III 站)为 28 厘米,西里湖中心(II 站)为 39—40 厘米。湖水透明度的高低对于漂浮植物如凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*)、水花生、浮萍等的生长是没有影响的,但对于沉水植物的生长却具有决定性的影响。由于透明度低,透射入水中的光线就大大减少。实测资料表明(表 1),水深 1 米处的光强度为水面光强度 (3.663—38330 lx) 的 0.3—1.5%,水深 1.4 米处的光强度为零或

近于零。

为考察西湖的水深和透明度对恢复沉水植物的影响,我们先后于 1981 年和 1982 年的 7 月,采用黑白瓶测氧法,对黑藻的生产力进行了测定。黑藻是采自西湖风景区内的坑塘,试验瓶容积为 290 毫升,每瓶放黑藻顶枝 0.5 克(鲜重)。试验结果表明(表 2, 3),在多云转阴天或多云间晴的光照条件下,在水深 80 厘米和 100 厘米处,即在透明度的 2 倍水深处,黑藻虽能进行光合作用,有一定的毛产量,但净产量则为负值。看来,在透明度 1.5 倍以上的水深处,沉水植物的生长受到抑制。

(3) 挖泥使湖水加深,在透明度低的情况下,给沉水植物的生长和分布带来极为不利的影响。

为了增加西湖的水深,曾多次采取挖泥措施,1954—1958 年间,共挖去淤泥 720

表 1 杭州西湖水下的光强度

Tab. 1 Light intensity at different depths in the Xihu Lake

试 验 站 Experiment station		I		II		III	
日 期 Date		1981.7.25		1981.7.27		1981.7.27	
测定时间 Time		16:00	17:00	8:40	10:00	14:55	16:00
水面光强度 Light intensity in air (lx)		7,992	3,663	19,998	38,330	13,332	7,992
水下光强度为水面光强度的百分比(%) Light intensity in water (as % intensity in air)	水 深 Depth (cm)						
	0	100	100	100	100	100	100
	40			11.7	10.4	7.5	12.5
	50	6.6	4.5	8.3	7.0	6.7	9.9
	75	1.2	1.2				
	80			2.3	2.1	1.2	1.2
	100	0.5	0.3	1.5	1.2	0.5	0.5
	120			0.6	0.7	0.1	0.1
	130	0	0				
	140	0	0	0.2	0.5	0.1	0

表 2 杭州西湖的水深对沉水植物(黑藻)和浮游植物生产力的影响

1981 年 7 月 29 日于西里湖(II 站), 水温 32°C, 透明度 40 厘米, 水面光强度 20, 000—38, 330lx

Tab. 2 Effect of water depth on the productivity of submerged macrophytes and productivity of phytoplankton in the Xihu Lake

水 深 Depth (cm)	光强度 Light intensity (lx)	黑藻生产力 Productivity of <i>Hydrilla</i> (mgO ₂ /0.5g fresh wt./2h.)		浮游植物生产力 Productivity of phytoplankton (mgO ₂ /0.29 litre/2h.)	
		毛 产 量 Gross	净 产 量 Net	毛 产 量 Gross	净 产 量 Net
40	2331—3996	0.52	0.06	0.86	0.76
80	462—792	0.31	-0.14	0.28	0.18
120	116—248	0.21	-0.25	0.07	-0.03

表 3 水深对黑藻生产力的影响

1982 年 7 月 2 日于外西湖(IV 站), 多云天气, 水温 24—25°C, 透明度 50 厘米

Tab. 3 Effect of water depth on the productivity of *Hydrilla verticillata*

水 深 Depth (cm)	黑藻生产力 Productivity of <i>Hydrilla</i> (mgO ₂ /0.5 fresh wt./day)	
	毛 产 量 Gross	净 产 量 Net
50	2.41	0.82
100	1.11	-0.61

万立方米。由于挖泥, 也把水生植物和底栖动物挖掉了^[2], 1978 年后, 又挖泥 12 万立方米, 使全湖水深增加约 1 米。目前, 西湖水深为 1.5 米左右, 这样使得透射入湖底的光线变得微弱, 沉水植物无法生存。根据我们对 3 个试验站水下光强度的测定, 在水深 0.5 米处, 其光强度为水面光强度的 4.5—9.9%; 在水深 1.2 米处, 其光强度不到水面光强度的 1%; 在水深 1.4 米的湖底, 在阴天条件下, 其光强度为零, 就是在水面光强度为 38,330lx 条件下, 水底光强度也仅有水面光强度的 0.52%, 不能满足水生植物正常生长的需要。所以挖泥增加了水深, 在湖水透明度很低的情况下, 会给沉水植物的生长和分布带来不利影响。

恢复西湖水生植被的可能性和途径

1. 恢复西湖水生植被的可能性

根据资料分析^[33], 西湖水中有毒物质的含量低, 氮、磷含量高。1981 年测定, 总氮的年平均值为 3.04 毫克/升, 最高达 5.7 毫克/升, 总磷的年平均值为 0.14 毫克/升, 它对于水生植物的生长是不起毒害作用的。湖水透明度虽然低, 但对漂浮植物的生长不起抑制作用, 在西湖沿湖许多污水沟内就大量生长着水花生等漂浮植物。湖中的草鱼和团头鲂是人工投放的, 只要严禁放养和加强捕捞, 3 年内基本上可以达

到控制它们的数量,减轻其危害程度的目的。湖盆平坦,水深在 1.5 米左右,年内水位变幅小,一般为 30—50 厘米,只要在特定的时间内采取降低水位的措施,水生植被的恢复是可能的。当透明度提高到 80 厘米以上时,目前西湖的水位也适宜于各类植物的生长。

2. 水生植被恢复的途径和措施

(1) 降低水位,促进水生植被的恢复。只有降低水位才能使一定强度的太阳光线透射到湖底,保证沉水植物的生长。随着植株的增长,水位可相应地提高。水位降低的程度和维持时间,则应根据湖水透明度的变化和引种的水生植物的种类而定。

(2) 限制放养草鱼、团头鲂等草食性鱼类。首先要设法把留存在湖中的草鱼和团头鲂尽可能地捕捉起来,以保证植物幼苗的生长。待植被恢复后(一般为 3 年),把过密的植物除去,再考虑投放草鱼或团头鲂,但放养密度要合理,其原则是鱼类的摄食强度不要超过植物的再生产能力。关于草食性鱼类的合理放养密度,可参照作者 1963 年提出的公式:
$$X = \frac{B \cdot P}{K \cdot W \cdot S}$$
 计算^[4]。

(3) 人工种植以补充自然植被的不足。在降低水位和严禁放养草食性鱼类的条件下,西湖水生植被将会得到自然的恢复。但自然恢复的水生植被,其群落组成往往不理想^[5],恢复时间也较长;因此,应该人工种植比较理想的植物种类,并让其得到发展,成为优势群落。

(4) 集中处理污水。对污水流入比较集中的局部区域,在不影响风景和旅游的前提下,可人工种植适当的高产水生经济植物,形成生物净化区,以加速污水的净化,减轻西湖水体的污染负荷。收获的植

物体用作饲料和肥料,可获额外经济收益。

水生植被恢复后对水质净化作用的分析和预报

西湖水生植被恢复后,将对西湖水质的净化起到积极的作用。

1. 去除湖水和湖泥中的氮、磷和有毒物质

利用水生植物去除污染水体中的氮、磷和有毒物质,在国外已有许多报道^[6],在国内也进行了一些试验,效果都比较好。我所化学分析组对武汉东湖主要沉水植物所作的分析,氮的含量占干物质的 2.2—4.3%,平均值约为 3%。磷的含量约占干物质的 0.3%。根据西湖的具体情况,可考虑使 1/2 到 2/3 的面积生长水生植物,包括用于净化水质的沉水植物,以及供观赏用的挺水植物和浮叶植物,这样可以去除相当多的氮、磷和有毒物质。若在污水流入比较集中的湖湾或塘堰内种植高产的芦苇 (*Phragmites communis*)、蒲草 (*Typha latifolia*)、凤眼莲、水花生等经济植物,则可以收到更明显的净化效果。上述 4 种水生植物,其生产力高,在吸收氮、磷和积累重金属元素方面都具有很大的能力^[7,8]。

2. 抑制浮游植物的繁殖

水生植物与浮游植物之间在竞争阳光、氮磷物质和水体空间方面是很激烈的。根据野外观察和武汉东湖的一个子湖——汤林湖(面积 8,000 多亩,相当于杭州西湖总面积)的实例,当水生植物得到恢复,它就能大大地降低浮游植物生产量(图 4)。从图 4 可以看到,在水生植物遭到最严重破坏的 1975 年和 1977 年,浮游植物大量发展,其生产量很高,达 3—4 克氧/平方

米/天,但在水生植被得到恢复的 1978 年,浮游植物生产量就出现了极明显的下降,仅为 1975 年的 1/4 或 1977 年的 1/3,降到 1963 年的低水平。对武汉东湖所作的调查,随着水生植被的恢复,底栖动物的种类和数量也会随之而增加。底栖动物在抑制藻类,摄食有机碎屑,净化水质方面也起着一定的作用。

1978 年西湖浮游植物平均生物量为 37.4 毫克/升¹⁾。1981 年 7 月 27 日,我们对西里湖(II 站)的浮游植物生产力进行了测定,其毛产量为 2.97 毫克氧/升/2 小时。由于浮游植物的大量发展,对沉水植物也

翻,增加了水中的悬浮颗粒,降低了透明度。当沉水植物得到恢复后,植物的地下部分可使松散的淤泥得到一定程度的固定,加上沉水植物的枝叶的覆盖,大大地减弱了风浪、水流、鱼类和机动船对淤泥的翻动,有利于透明度的提高。

当西湖水生植被得到恢复后,除了上面所起的积极作用外,还有助于湖面风景的美化,开辟湖上游泳场,养殖名贵鱼类,提高湖泊综合利用的价值。

总结与讨论

(1) 西湖除人工种植的 200 多亩莲和数亩水花生外,全湖均无天然水生植被的分布。造成水生植被缺乏的原因是多方面的,主要是放养草食性鱼类、湖水富营养化和由于挖泥引起水深的增加。

(2) 水生植被的破坏,在一定程度上加速了水体富营养化的发展。在进一步截断污染源的前提下,解决西湖水质净化的途径,重要的是提高湖泊中水生生物对湖水的净化能力,尤其是发挥水生植物在净化水质上的巨大潜力,因此要尽快地恢复西湖的水生植被。

(3) 根据西湖的水质、底质、水位控制和渔业管理等情况,只要采取必要的措施,恢复西湖水生植被的可能性是存在的。恢复西湖水生植被的措施,重要的是定期降低水位,限制放养草鱼和团头鲂,植被的自然恢复和人工种植相结合,在生活污水流入比较集中的水域,可人工种植高产的水生植物形成生物净化区。

(4) 水生植被恢复后,预计对西湖水质的净化会起到积极的作用,它能有效地去除氮、磷和有毒物质,抑制浮游植物的发

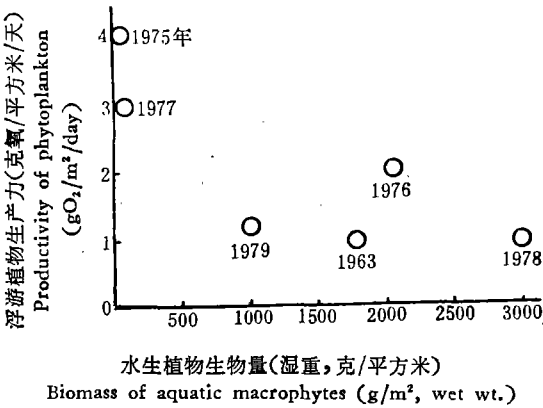


图 4 武汉东湖汤林湖区的浮游植物生产力与水生植物生物量的关系

Fig. 4 Relationship between productivity of phytoplankton and biomass of aquatic macrophytes in the Donghu Lake of Wuhan

起到抑制作用。因此,在西湖如果使沉水植物得到恢复,它就有可能在竞争阳光、营养和空间方面占优势,转而抑制浮游植物的发展。

3. 减轻湖底淤泥的上翻

据黎尚豪教授提供的材料,西湖的底泥原来是“香灰泥”,为藻类(金藻和蓝藻)的沉积,很厚。虽在五十年代挖去 1 米深,但乌黑的淤泥仍很厚,而且特别松散,很容易受风浪、水流、鱼类和机动船的搅动而上

1) 张敦寿, 1981. 西湖治理方案介绍。

展,减轻湖底沉积物的上翻程度,提高湖水透明度。

(5) 利用水生植被净化湖泊水质的研究,在国内尚无成功的先例,为了取得经验,应尽快地开展恢复西湖水生植被净化水质的试验,可先从一个湖区(如北里湖或小南湖)做起。植被恢复后,要根据保持水体生态系统平衡的原则,进行湖泊水生草场的管理。不仅要发挥水生植物对水质净化的作用,也要重视某些水生动物在水质保护上所起的作用。这里着重讨论渔业生产与水质保护问题。当前西湖水质恶化的重要标志是水中氮、磷物质过多,浮游植物大量繁殖。从保护水质环境出发,减少氮、磷的积累,控制浮游植物的发展是最重要的,但与发展以鲢、鳙鱼类为主的渔业生产又是矛盾的。为此,应该在保护水质环境的前提下来考虑发展西湖的渔业。作者认为放养鱼类的种群组成,应以吃浮游植物、有机碎屑和杂食性的鱼类为主,搭配其他鱼类。为了减少氮、磷和抑制浮游植物,以恢复和发展水生植物,必须严格控制草食性鱼类的放养。为减少浮游植物和有机碎屑,要尽可能多地放养以它们为食的鱼类,如鲫、鲢、鳙(罗非鱼的放养也值得试验)等。同时要保护以浮游植物和有机碎屑为食的大型浮游动物和底栖动物(如螺类和蚌类),以减少浮游植物和有机碎屑的数量。为保护这些大型浮游动物和底栖动

物,应控制以它们为食的鱼类的发展,如鳊、青鱼;甚至鲤鱼的放养量也要适当控制。

(6) 上述恢复西湖水生植被的途径和植被恢复后对水质净化作用的分析,以及兼顾水质保护与渔业生产的合理鱼类种群组成的一些基本原则,可以作为治理南京玄武湖、北京昆明湖、武汉东湖和昆明滇池时的参考。由于各湖泊的水深、水位控制程度、透明度、水下光强度、底质和水体的利用要求有所不同。因此,在采取具体措施时,应根据各湖泊的实际情况而定。

参 考 文 献

- [1] 程志瑜, 1979. 杭州西湖治理的今昔. 环境污染与防治, (1): 29—31.
- [2] 吴景初, 1980. 从水生生物平衡谈西湖治理. 环境污染与防治, (2): 37—38.
- [3] 杭州大学地理系环保组, 1980. 杭州西湖水体污染初步调查. 环境污染与防治, (1): 12—14.
- [4] 陈洪达、何楚华, 1963. 武昌东湖水生维管束植物的生物量及其在渔业上的合理利用问题. 水生生物学集刊, 5(3): 410—420.
- [5] 陈洪达, 1981. 武汉东湖水生维管束植物群落的结构和动态. 海洋与湖沼, 3(11): 275—284.
- [6] 何绍箕, 1979. 杭州西湖的浮游藻类及其防治. 环境污染与防治, (4): 21—22.
- [7] Boyd, C. E., 1970. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted water. *Econ. Bot.*, 24:95--103.
- [8] Little, E. C. S., 1979. FAO Fish. Tech. Pap., (187): 176p. Handbook of utilization of aquatic plants. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.