

滇池水生植被演替及其与水环境变化关系^{*}

余国营^{**} 刘永定 丘昌强 徐小清

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要 通过滇池水生植被和水体污染状况的全面调查(1995-1997年), 揭示了水生植被的演替动态与环境质量变化的关系. 结果表明, 滇池现有水生植物 22 种, 以凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)、喜旱莲子草(*Alternanthera Philoxeroides*)、龙须眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)和聚草(*Myriophyllum spicatum*)等为优势种, 其水生植被可划分为 9 个群丛. 与历史资料比较表明, 40 年来, 滇池的水生植被面积从 20 世纪 50-60 年代的 90% 下降到 1996 年的 1.8%, 生物量由过去的 1363.1 g m^{-2} (鲜重) 下降到 136.7 g m^{-2} . 群落结构迅速简化和退化, 原来的优势物种如海菜花、轮藻等已绝迹, 菹草、马来眼子菜、苦草等已到濒临消失的边缘, 耐污种如凤眼莲、喜旱莲子草和龙须眼子菜等大发展.

关键词 滇池 富营养化 水生植被 演替

分类号 Q948.8 X171

滇池是著名的高原湖泊, 是昆明市赖以生存和发展的水源地. 历史上山清水秀, 沿岸风景名胜众多, 素有“高原明珠”的美誉. 20 世纪 50 年代草海清澈见底, 湖底全部覆盖水草, 是鱼类的产卵栖息地, 外海沉水植物覆盖度为 80%, 全湖有丰富的螺、蚌, 渔产丰富, 水质达地面水 II 级. 70 年代以来, 随着昆明城市化、工业化的发展, 滇池水质迅速恶化. 如今, 草海鱼虾已基本绝迹, 沉水植物几乎全部消亡, 水质为异常富营养化超 V 类水质, 污染生态系统代替了原有的自然水生生态系统, 严重地影响水资源的开发利用.

大型水生植物(水生维管束植物)是淡水生态系统中主要的初级生产者, 对维持湖泊生态系统的结构和功能具有重要作用. 本研究通过系统调查滇池水生维管束植物的种类、分布、生物量及群落空间格局和演替, 并与历史资料对比, 揭示富营养化浅水湖泊植被演化规律及其与环境质量变化的关系, 从而为富营养化浅水湖泊的植被恢复及其整治提供科学依据.

1 研究方法

考虑到滇池水生植被分布面积和生物量已大为减少, 并向岸边萎缩和分布的不均匀性, 本次采样主要采用环型采样法, 分岸边、离岸 100m、500m 划环进行, 且采样时主要考虑河口和海湾处^[1-6], 包括滇池(1)大观河口、(2)断桥、(3)王家堆渠口、(4)船房河口、(5)西园、(6)海埂船闸、(7)观音山、(8)白渔口、(9)海口、(10)东大海口、(11)柴河口、(12)梁王河口、(13)捞鱼河、(14)马料河口、(15)宝象河口、(16)盘龙江口和(17)外海北、(18)外海中、(19)外海南为主要调查点(图 1), 共 51 个采样点, 调查的主要内容为维管束植物种类、分布面积、生物量以及水质

^{*} 中国科学院和云南省重大合作项目“滇池的蓝藻、凤眼莲资源化及水生生物净化技术工业性试验”资助项目.

收稿日期: 1999-02-01; 收到修改稿日期: 1999-06-23. 余国营, 男, 1964 年生, 研究员.

^{**} 现在工作单位: 中国科学院长春地理研究所.

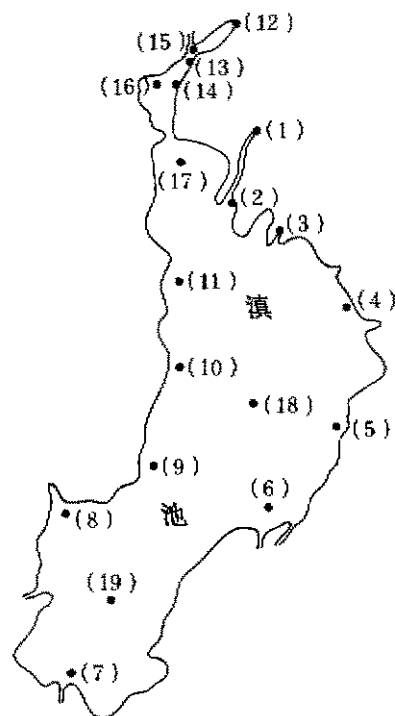


图1 滇池示意图及采样点分布
Fig. 1 Sketch map of sampling sites, Dianchi Lake

水质理化指标.

2 结果与讨论

2.1 水生植物种类组成

经过 1995—1997 两年多的调查,在滇池共采集到水生维管束植物 22 种,分别隶属于 12 科 18 属(表 1).其中挺水植物 7 种,占植物种类总数的 33.3%,如喜旱莲子草、菰、芦苇等;飘浮植物 4 种,占 18.5%,如凤眼莲、满江红;沉水植物 11 种,占 58.6%;无浮叶根生植物.除眼子菜属有 5 个种外,其余各属均只有一个种.

凤眼莲、喜旱莲子草、龙须眼子菜是目前滇池植被的优势种,其次是聚草、苦草、满江红等.其它种类如马来眼子菜、穿叶眼子菜、微齿眼子菜、菹草、金鱼藻等只有在外海呈零星分布.水芹和辣蓼在草海仅分布在凤眼莲形成的浮岛上.高原湖泊原来独具的海菜花、轮藻以及马来眼子菜等对污染敏感的类型此次调查均未发现.

2.2 水生植物群落的分布

滇池现存水生植被的分布面积积极小,约占全湖面积的 1.8%,而且其分布在草海和外海也极不均衡,草海中水生植被分布面积较大,在 60% 以上;外海内水生植被较少,主要分布在沿岸带,覆盖面积占不到外海面积的 1%.

滇池的挺水植物群落所占面积较小,约占水生植被总面积的 2%,分布较广的是喜旱莲子草群落,在草海和外海分布较均匀,多生长于岸边或扎根于凤眼莲形成的浮岛上,呈飘浮状.芦苇和菰多分布在湖湾处,面积不大.

滇池的飘浮植物群落所占面积较大,约占全湖水生植被面积的 70%,尤其是草海,凤眼莲形成单优群落,覆盖了大半个草海,也带来了一系列不良影响.外海也有大面积分布,主要集中在海埂、海口、白鱼口、观音山等河口和湖湾处.满江红群落也有一定的覆盖面积.

滇池的根生浮叶植物群落极少,目前发现的仅有菱的零星分布,尚未形成群落的规模.

滇池沉水植物群落严重退化.现分布最广的沉水植物是红线草、聚草和苦草.红线草已形成单优群落,草海和外海均有分布,聚草和苦草群落仅在外海观察到,且分布面积较小.

按照植物种类生物量、频率和覆盖度均占优势的原则,初步将滇池水生植被划分为 9 个群丛,即凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)群丛、龙须眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)群丛、聚草+苦草(*M. Spicatum* + *V. spiralis*)群丛、龙须眼子菜+聚草+茨藻(*P. pectinatus* + *M. spicatum* + *Najas marina*)群丛、龙须眼子菜+金鱼藻(*P. pectinatus* + *Ceratophyllum demersum*)群丛、旱生莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)群丛、满江红+浮萍+槐叶萍(*Azolla imbricata* + *Lemna minor* + *Salvinia natans*)群丛、菰(*Zizania caduciflora*)群丛和芦苇(*Phragmites communis*)群丛.

表 1 滇池水生植物名录

Tab. 1 List of aquatic vascular plants in Dianchi Lake

I. 蕨类植物 Pterodophyte	9. 莕草 <i>Potamogeton crispus</i> L.
槐叶萍科 Salviniaceae	10. 马来眼子菜 <i>P. malaianus</i> Miq.
1. 满江红 <i>Azolla imbricata</i> (Roxb.) Nakai	11. 穿叶眼子菜 <i>P. perfoliatus</i> L.
2. 槐叶萍 <i>Salvinia natans</i> (L.) All	12. 锯齿眼子菜 <i>P. maackianus</i> L.
II. 双子叶植物 Dicotyledoae	13. 龙须眼子菜 <i>P. pectinatus</i> L.
蓼科 Polygonaceae	茨藻科 Najadeceae
3. 辣蓼 <i>Polygonum hydropiper</i> L.	14. 大茨藻 <i>Najas marina</i> L.
苋科 Amaranthaceae	水鳖科 Hydrocharitaceae
4. 旱生莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> Griseb.	15. 黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i> Royle
金鱼藻科 Ceratophyllaceae	16. 苦草 <i>Vallisneria spiralis</i> L.
5. 金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i> L.	禾本科 Graminae
菱科 Hydrocaryaceae	17. 芦苇 <i>Phragmites communis</i> Trin.
6. 野菱 <i>Trapa natans</i> L.	18. 菰 <i>Zizania caduciflora</i> (Tucz.) H.-M.
小二仙草科 Haloragaceae	19. 双穗雀稗 <i>Paspalum paspaloides</i> (Michx.) Setibn.
7. 聚草 <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	20. 稗 <i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv.
伞形科	浮萍科 Lemnaceae
8. 水芹 <i>Oenanthe javanica</i> L.	21. 浮萍 <i>Lemna minor</i> L.
III. 单子叶植物 Monocotyledoneae	雨久花科 Pontedriaceae
眼子菜科 Potamogetonaceae	22. 凤眼莲 <i>Eichhornia crassies</i> (Mart.) Solms.

滇池现存水生植被的群落结构简化,多为单优群落,伴生种类极少.湖东岸由于湖岸平缓,受工农业生产等人为干扰较大,水生植物分布很少,沉水植被在外海的分布多集中在西岸的湖湾处,如观音山、白渔山、海口、昆阳等处.不同生活型的植物都仅分布在沿岸带浅水处,见不到自岸边至湖心由挺水植物、飘浮植物、浮叶植物和沉水植物递次分布的层次或生活型带.

2.3 水生植物生物量

由于滇池水生植物群落分布面积较小,且分布极不均匀,绝大多数水生植物均集中在沿岸带,因此,采用群丛法来计算生物量.以 1996 年计,滇池水生植被的分布面积约为 5.33 km²,占全湖总面积的 1.8%,总生物量为 41019.65 t,其中挺水植物、飘浮植物和沉水植物所占的百分比分别为 0.59%、92.8% 和 6.61%,飘浮植物在生物量上占绝对优势,且主要集中在草海;在外海,飘浮植物和沉水植物占优势,二者在生物量上相近(表 2).

2.4 滇池水生植被演替动态

将这些调查结果与滇池历史资料(从 50 年代到 80 年代)^[7-8]进行对比(表 3、表 4),不难看到在半个世纪中,滇池水生植被及分布发生了巨大变化,其主要变化特征可归纳如下:

(1) 植被面积大大缩小.滇池近百年来已处于“老年型”湖泊状况,但 20 世纪 70 年代以前,湖水清澈见底,湖底水草丰富,覆盖度达 100%,外海平均透明度 2m 以上,水草种类多样,覆盖度约 90%.但 70 年代中期以后,随着人为活动的加剧,湖水日益富营养化,湖泊水质迅速发生变化,导致部分物种消失,群落结构简化,分布深度逐步变浅.到了 90 年代,水生植被面积占全湖面积的 1.8%.

表 2 滇池主要水生植物群丛的分布面积和生物量(鲜重)

Tab.2 Area and biomass of the main aquatic plant communities in Dianchi Lake(wet weight)

群丛类型	面积/10 ⁴ m ²	生物量/g m ⁻²	生物量/t	占植被总面积/%	占总生物量/%	
挺水植物	芦苇	0.12	1500	1.8	0	0
	菱草	0.15	2600	3.9	0	0.01
	喜旱莲子草	11.13	2143	238.18	2.09	0.58
	小计	11.4	2139.32	243.88	2.14	0.59
漂浮植物	凤眼莲	380.64	10000	38064	71.53	92.79
	满江红+浮萍+槐叶萍	0.45	1,100	4.95	0.01	0.01
	小计	381.09	9989.49	38068.95	71.63	92.8
沉水植物	聚草+苦草	19.45	1,657	322.29	3.66	0.79
	红线草	97.36	1,950	1,898.5	18.3	4.64
	红线草+金鱼藻	11.24	2,044	229.75	2.11	0.55
	红线草+聚草+茨藻	12.14	2,109	256.03	2.28	0.63
	小计	140.19	1 930.65	2706.82	26.33	6.61
总计	532.68	7700.57	41019.65	100	100	

表 3 滇池草海水生植物群落主要组成和演替动态¹⁾

Tab.3 Species composition and succession of aquatic plants communities in Caohai, Dianchi Lake

群落类型	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s
挺水植物群落					
芦苇(<i>P. communis</i>)群落	Y(1.1)	Y(1.2)	Y(0.2)	Y	Y
菱草(<i>Z. caduciflora</i>)群落	Y(1.1)	Y(1.1)	Y(0.3)	Y	Y
水葱(<i>S. tabernaemontani</i>)群落	Y(1.7)	Y(1.2)	Y(0.1)		
菖蒲(<i>A. calamus</i>)群落	Y(1.1)	Y(0.1)	Y(0.01)		
雀稗(<i>E. crusgallia</i>)群落	Y(1.1)	Y(0.6)	Y(0.01)		
漂浮植物群落					
浮萍(<i>L. minor</i>)群落	Y(1.1)	Y(0.4)	Y(0.004)	Y(0.001)	
满江红(<i>A. imbricata</i>)群落			Y(0.2)	Y(0.001)	Y(0.01)
凤眼莲(<i>E. crassipes</i>)群落			Y(1.2)	Y(18.6)	Y(57.6)
浮叶植物群落					
荇(<i>N. peltatum</i>)群落	Y(4.3)	Y(1)	Y(0.02)		
沉水植物群落					
海菜花(<i>O. acuminata</i>)群落	Y(40.4)	Y(46.9)			
苦草(<i>V. spiralis</i>)群落	Y(14.2)	Y(19.4)	Y(6.9)		
轮藻(<i>C. vulgaris</i>)群落	Y(17.1)	Y(16.2)			
金鱼藻(<i>C. demersum</i>)群落	Y(2.8)	Y(2.5)	Y(0.02)		
聚草(<i>M. spicatum</i>)群落	Y(9.1)	Y(14.1)	Y(2.1)	Y(1.4)	Y(14.1)
马来眼子菜(<i>P. malainus</i>)群落		Y(7.1)	Y(3.4)		
微齿眼子菜(<i>P. maackianus</i>)群落	Y(3.4)	Y(4.8)	Y(3.5)		
龙须眼子菜(<i>P. pectinatus</i>)群落			Y(10.4)	Y(10.1)	Y(15.3)
菹草(<i>P. crispus</i>)群落	Y(1.1)	Y(2.5)	Y(1.39)	Y(0.01)	
群落总数	14	15	16	6	4

1) Y表示存在, 括号内的数值为该群落占水生植被总分布面积的百分数。

表 4 滇池外海水生植物群落主要组成和演替动态¹⁾

Tab. 4 Species composition and variation of aquatic plants communities in Waihai, Dianchi Lake

群落类型	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s
挺水植物群落					
芦苇(<i>P. communis</i>)群落	Y(1.1)	Y(1.2)			
茭草(<i>Z. caduciflora</i>)群落	Y(1.1)	Y(1.1)			
水葱(<i>S. tabernaemontani</i>)群落	Y(1.7)	Y(1.2)			
菖蒲(<i>A. calamus</i>)群落	Y(1.1)	Y(0.1)			
雀稗(<i>E. crusgallia</i>)群落	Y(1.1)	Y(0.6)			
漂浮植物群落					
浮萍(<i>L. minor</i>)群落	Y(1.1)	Y(0.4)			
满江红(<i>A. imbricata</i>)群落			Y(0.02)	Y(0.001)	Y(0.1)
凤眼莲(<i>E. crassipes</i>)群落			Y(1.2)	Y(18.6)	Y(94.6)
浮叶植物群落					
荇(<i>N. peltatum</i>)群落	Y(4.3)	Y(1)			
沉水植物群落					
海菜花(<i>O. acuminata</i>)群落	Y(40.4)	Y(46.9)			
苦草(<i>V. spiralis</i>)群落	Y(14.2)	Y(19.4)	Y(6.9)		
轮藻(<i>C. vulgaris</i>)群落	Y(17.1)	Y(16.2)			
金鱼藻(<i>C. demersum</i>)群落	Y(2.8)	Y(2.5)			
聚草(<i>M. spicatum</i>)群落	Y(9.1)	Y(14.1)	Y(2)	Y(1.4)	
马来眼子菜(<i>P. malainus</i>)群落		Y(7.1)	Y(4.1)		
微齿眼子菜(<i>P. maackianus</i>)群落	Y(3.4)	Y(4.8)	Y(3.5)		
龙须眼子菜(<i>P. pectinatus</i>)群落			Y(10.4)	Y(10.1)	Y(5.3)
菹草(<i>P. cripus</i>)群落	Y(1.1)	Y(2.5)	Y(1.39)	Y(0.01)	
群落总数	14	15	9	4	3

1) Y表示存在,括号内的数值为该群落占水生植被总覆盖度的百分数。

(2) 群丛多样性降低. 据记载, 20世纪50年代滇池的水生植物群丛类型多样, 有轮藻(*Chara vulgaris*)群落, 海菜花(*Ottelia acuminata*)群落、苦草群落、聚草群落、马来眼子菜群落、菖蒲群落、水葱群落、雀稗群落、芦苇群落、以及菹草-聚草-黑藻-金鱼藻-狸藻群落、双穗雀稗-荇菜-水鳖群落、菖蒲-两栖蓼群落、水草-沼针蔺群落、茭草群落、满江红-浮萍-槐叶萍等主要群落类型. 70年代后, 云南海菜花群落消失, 随之轮藻群落消失, 菖蒲群落、水葱群落因围垦与湖岸修砌也相继消失; 苦草群落、马来眼子菜群落、菹草+聚草群落也逐步消失; 而耐污的龙须眼子菜群落有所发展, 凤眼莲群落逐渐成为优势种. 到了90年代, 滇池草海中的沉水植物只剩下局部分布的龙须眼子菜群落; 飘浮植物凤眼莲已成为绝对优势群落, 生物量极大, 喜旱莲子草、辣蓼、水芹和满江红、浮萍等零星地分布于凤眼莲群落内. 外海中水生植物群落消失的速度缓于草海, 目前尚存在聚草、苦草、各种眼子菜等组成的种类较为复杂的群落类型.

(3) 物种多样性下降. 20世纪50年代时, 滇池水生植物多达100余种, 其中沉水植物有42种. 但到70年代末, 水生植物为46种, 分布面积由原来的90%下降到12.6%, 云南海菜花、轮藻等高原湖泊优势种消失. 1995-1997年的调查只发现22种水生植物, 其中沉水植物

12 种, 迅速减少分布仅零星地存在于某些湖湾的沿岸处, 规模极小。

(4) 浮游植物异常增殖, 蓝藻水华大面积发生. 1988 年以前, 滇池草海的叶绿素含量为 12.24 mg m^{-3} , 细胞数量达为 $1643 \text{ 万个} \cdot \text{L}^{-1}$; 滇池外海的叶绿素含量为 6.16 mg m^{-3} , 细胞数量为 $834 \text{ 万个} \cdot \text{L}^{-1}$. 10 年之后滇池草海的叶绿素含量和细胞数量分别增加了 11.34 和 12.83 倍, 滇池外海的叶绿素含量和细胞数量增加更多, 分别增加了 17.9 和 35.53 倍。

(5) 耐污能力强的植物得到大发展. 在水生植物物种逐步衰退, 分布面积日益缩小的同时, 某些耐污能力强的物种得到了相应的大发展. 如风眼莲、旱生莲子草、龙须眼子菜等原来均不占优势的物种均形成单优势群落, 其生物量、分布面积及频度均占绝对优势. 且发展势头迅猛, 如不及时控制将有布满全湖的可能。

2.5 水生植被演替与水体污染相关分析

比较滇池水生植被的演替过程和该过程中滇池水体水质变化(表 5), 可知滇池水生植被的变化在很大程度上决定于几十年来滇池水质的变化, 二者有很显著的相关性。

表 5 50 年来滇池水体水质变化趋势

Tab. 5 Variation of the water quality in Dianchi Lake during the past 50 years

水质指标	区 域	1960 年以前	1970 - 1978 年	1978 - 1988 年	1988 - 1997 年
溶解氧/ mg L^{-1}	草海	7.8	5.6 - 0.22	4.4 - 1.88	1.9 - 1.64
	外海	7.8	7.6	7.4	4.8 - 0.71
透明度/ m	草海	2 - 4	0.6 - 0.23	0.4 - 0.12	0.2 - 0.14
	外海	2 - 4	2 - 0.35	1.6 - 0.21	1.4 - 0.68
TN/ mg L^{-1}	草海	0.46	0.78	2.06 - 0.58	7.14 - 2.44
	外海	0.46	0.34 - 0.06	0.87 - 0.51	1.2 - 0.62
TP/ mg L^{-1}	草海	0.13	0.3 - 0.11	0.37 - 0.05	0.58 - 0.14
	外海	0.13	0.13 - 0.05	0.14 - 0.07	0.18 - 0.16
Pb/ mg L^{-1}	草海		0	0.06	0.16 - 0.03
	外海		0	0	0
Cd/ mg L^{-1}	草海		0	0.08 - 0.04	0.02 - 0.01
	外海		0	0	0
As/ mg L^{-1}	草海		0.02 - 0.01	0.08 - 0.02	0.04 - 0.02
	外海		0	0	0
Chla/ mg m^{-3}	草海			12.24 - 3.66	138.9 - 82.3
	外海			6.16 - 0.83	110.4 - 31.3
细胞数量/ $\text{万个} \cdot \text{L}^{-1}$	草海			1643 - 256	21082 - 3233
	外海			834 - 148	29633 - 4348

1) 1988 年以前资料由昆明市环境监测站提供。

目前滇池接纳的城市污水为 $33 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, 工业废水 $22 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, 大量有害污染物与营养盐排入滇池, 致使滇池水质变化, 水体富营养化严重. 以 1995 年调查结果, 年入湖污水量^[10] $1.79 \times 10^8 \text{ m}^3$, 入湖污染物 26036t, 总氮和总磷分别为 7217t 和 894t, 其中 69% 的氮和 55% 的磷来源于城市污水和工业废水. 从而使部分湖区水体达到超富营养化水平, 悬浮颗粒增多, 浮游植物异常增殖, 水华大面积发生, 湖水透明度大大降低, 溶解氧缺乏, 沉水植物的栖息

地丧失,逐步向岸边退缩。

滇池沉水植物退化、水华发生和凤眼莲疯长是滇池严重富营养化的结果^[9]。原因有四:

(1) 滇池接纳大量的工业有机废水和城市生活污水,大量耗氧有机物的进入,消耗了水体中的溶解氧,造成了水中缺氧状态,限制了植物呼吸作用的正常进行,严重地迫使沉水植物窒息生物死亡,草海的沉水植物于 20 世纪 70 年代消亡殆尽足以说明这种关系。

(2) 由于城市污水和工业废水含有大量的悬浮颗粒,使湖水浑浊,透明度降低,四十年来湖水的透明度由 2-4m 降到 0.2-0.1m,使沉水植物进行光合作用所需的光照条件在深水中得不到满足,普遍向浅水中退缩,外海沉水植被的演替恰恰印证了这一点。同时,水中的悬浮物易附着在沉水植物的叶片上,产生的遮蔽作用对水生植被隐退的影响也很大, Sand-Jensen^[4]也对此有所论证。

(3) 富营养化水体浮游植物生产力提高,养分循环加快,湖泊沉积物稳定性下降,不利于沉水植物扎根,厌氧菌及化能合成菌的代谢产物(有机酸和碳化物等)对水草根系有毒害作用,同时也影响沉水植物的种子萌芽。

(4) 有毒污染物的滇池水生植被演替的直接影响也不可低估。滇池接纳的污水种类多,成分复杂,据调查主要的污染物除 N, P 有机物外,还包括 F, Cd, As, Pb, Cu, Zn 等无机毒物,它们严重干扰植物必需组分的合成和生理代谢过程,从而影响植物正常的生长发育过程^[4, 11-12]。

参 考 文 献

- 1 陈洪达. 水生维管束植物, 见: 刘健康主编. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990. 94-103
- 2 陈洪达. 11 种沉水植物的生产力. 海洋与湖沼, 1988, 19(6): 525-531
- 3 陈洪达. 武汉东湖水生维管束植物的结构和动态. 海洋与湖沼, 1980, 11(3): 62-67
- 4 林德辉, 李存信, 李禾等. 洗衣粉水溶液对水生植物生长和叶绿素含量的影响. 见: 曲仲湘编. 滇池污染和水生生物. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 110-114
- 5 姚作五. 武汉东湖水生维管束植物与富营养化. 重庆环境科学, 1990, 12(4): 26-30
- 6 周凌云. 武汉东湖水生维管束植物区系的初步调查. 武汉大学学报, 1962, 2: 122-132
- 7 曲仲湘, 李 恒. 滇池植物群落和污染. 见: 曲仲湘编. 滇池污染和水生生物. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 7-15
- 8 黎尚豪. 云南高原湖泊调查. 海洋与湖沼, 1963, 5(2): 87-114
- 9 陈洪达. 杭州西湖水生植被恢复的途径与水质净化问题. 水生生物学集刊, 1984, 8(2): 237-244
- 10 孙赛初, 王焕校, 李启任. 水生维管束植物受 Cd 污染后的生理变化及受害机制初探. 植物生理学报, 1985, 11(2): 113-121
- 11 杨红玉, 王焕校. 绿藻的镉结合蛋白及其耐镉性初探. 植物生理学报, 1985, 11(4): 357-365
- 12 Phillipps G L, et al. A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters. *Aquat Bot*, 1978, 4: 103-126
- 13 Sand-Jensen K, Borum B. Epiphyte shading and its effect on photosynthesis and diel metabolism of *lobelia dortmuna* L. during the spring bloom in a danish Lake. *Aquat Bot*, 1984, 20: 109-119

Macrophyte Succession in Dianchi Lake and Relations with the Environment

YU Guoying LIU Yongding QIU Changqiang XU Xiaoqing

(*Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R. China*)

Abstract

The investigation of the aquatic vegetation in Dianchi Lake has been carried out from 1995 - 1997. This paper described the species composition, community structure, distribution, biomass and succession dynamics of aquatic vegetation in the Lake, and analyzed the interaction between the change of the aquatic vegetation and the environmental quality. Comparing with over 100 species found in the 1950s in Dianchi Lake, there are only 22 species of aquatic vascular plants collected from this lake, among which *Eichhornia crassipes*, *Alternanthera philoxeroides*, *Potamogeton malainus* and *Myriophyllum spicatum* are the dominant species of aquatic vegetation. The aquatic vegetation of Dianchi Lake from 1995 to 1997 could be divided into 9 associations. Due to the eutrophication and the water pollution, the area of the aquatic vegetation decreased from 90% to 1.8% and the biomass decreased from 1363.1 g m^{-2} to 136.73 g m^{-2} during the last 50 years. The community structure has simplified and deteriorated drastically, the biodiversity changed periodically along with the succession of the major species. The Dianchi Lake has completed the transition from submerged-plant-dominant-type, and Caohai has been in the third alternative stable state which the floating plant is dominant.

Key Words Dianchi Lake, eutrophication, water pollution, aquatic vegetation, succession