

168-174

Q178.513

武汉东湖水生植被的恢复试验研究

邱东茹 吴振斌 刘保元

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

严国安

周远捷

(武汉大学环境科学系, 武汉 430072) (中国科学院武汉植物研究所, 武汉 430076)

提要 本文报道了在武汉东湖所作的水生植被恢复的研究结果, 分别在东湖水果湖、汤林湖和后湖等三个湖建立水生植被恢复示范区。挺水植物莲 *Nelumbo nucifera* 和芦苇 *Phragmites communis*、浮叶植物菱 *Trapa* sp. 和 r -选择型的沉水植物苦草 *Vallisneria* sp.、聚草 *Myriophyllum spicatum*、菹草 *Potamogeton crispus* 和大茨藻 *Najas marina* 等在三个植被恢复示范区均可以恢复, 而黄丝草 *Potamogeton maackianus*、伊乐藻 *Elodea canadensis*、黑藻 *Hydrilla verticillata* 等在后湖示范区可以恢复, 在水果湖恢复未能成功。黑藻在汤林湖示范区也未能恢复。在水生植被演替动态研究和中试规模的恢复试验的基础上, 提出了以东湖为代表的富营养浅水湖泊水生植被恢复对策。

关键词 生态恢复, 水生植被, 富营养化浅水湖泊 湖泊, 恢复试验

水生大型植物不但是湖泊主要的初级生产者之一, 对湖泊生态系统的结构和功能也有重要的作用。富营养化水体水生植被的衰退是世界范围内的普遍现象, 水生植被恢复技术是当今世界上水环境研究的重大课题和难题。退化生态系统的生态恢复(ecological restoration)是生态学研究的前沿和优先领域, 是生态学参与生态系统管理和解决实际问题能力的重要体现。“八五”期间作者在长江中游一个典型的富营养化浅水湖泊——武汉东湖进行了水生植被恢复重建的研究工作, 水生植被的恢复已作为富营养化浅湖一种重要的生态调控措施和内污染负荷的控制手段。

1 材料与方方法

1.1 东湖水生植被演替动态

按照陈洪达等^[1]所设断面和采样点, 略作调整, 对东湖水生植被作了连续3年(1991—1993年)的调查, 项目有水生植物生物量、分布面积和群落类型等, 所得结果与东湖历史资料^[2-5]进行比较。

1.2 东湖水生植被恢复试验

1992年在东湖水果湖(代表超富营养水体)、汤林湖和后湖(代表中-富营养化水体)等3

• 国家“八五”攻关项目(85-908-01-02-01)。

收稿日期: 1995-12-04; 收到修改稿日期: 1996-02-05。

作者简介: 邱东茹, 男, 1968年生, 助理研究员, 1992年毕业于华中师范大学生物系, 获硕士学位, 现主要从事水生植物与草藻相生相克研究。

个湖区建立水生植物恢复示范区(图1)。水果湖示范区由用钢管骨架和防水彩布构成的4个与外界水体相隔绝的围隔组成,面积各约800m²,其中之一留作对照;汤林湖建成两个围隔和一个用尼龙网围成的围栏,面积各约750m²;后湖示范区是用双层尼龙网围出的面积3000m²的小湖汉。在上述3个示范区分别进行水生植物恢复试验,按《水和废水监测分析方法》^[6]对示范区的水质进行监测。

2 结果与讨论

2.1 东湖水生植被演替特点

东湖现存的水生植被优势种为大茨藻 *Najas marma*、聚草 *Myriophyllum spicatum*、苦草 *Vallisneria* sp. 和菱 *Trapa* sp. 等,前三种沉水植物都是 *r*-选择型的种类,以这些植物占优势的水生植被波动性大,年际变化显著,而且利用价值低,菱群落的发展也很快,以菱为主的浮叶植物的生物量已占40%以上。挺水植物不发达,只在港汊局部有莲群落分布,香蒲 *Typha angustifolia* 群落在水陆交错带有泥沙沉积处较多,芦苇 *Phragmites communis* 和菰 *Zizania caduciflora* 群落在东湖较少,这与东湖广泛修筑护坡,减少了湖滨沉积作用,沿岸带底质较硬,不利于挺水植物生长有关^[7]。

50年代东湖进入中-富营养化阶段,水生植物丰富,植被覆盖度达80%以上,以一种多年生的沉水植物黄丝草 *Potamogeton maackianus* 占绝对优势,就沉水水生植物而言,这是一种 *K*-选择型的植物,如具有多年生、极少形成种子、以营养繁殖为主,竞争能力强等特点。此时东湖渔业以天然捕捞为主,湖滨人口和工农业生产影响的压力较低,并通过青山港与长江相通,存在与长江之间水体交换和生物区系的交流。由于人为富营养化进程加速,加之不合理的渔业措施,如大量放养草食性鱼类,东湖水生植被严重衰退,黄丝草也已完全从东湖湖区消失,水生植物分布面积、生物量和种类数大为降低(表1),不同湖区所采集到的水生植物种类见表2。水果湖、庙湖等湖区已无沉水植物分布,东湖绝大多数湖区已从草型转变为藻型。

2.2 东湖水生植物恢复试验结果和恢复对策

水生植被恢复技术方案是根据东湖水生植被现状调查与演替动态规律,以及在三个湖区

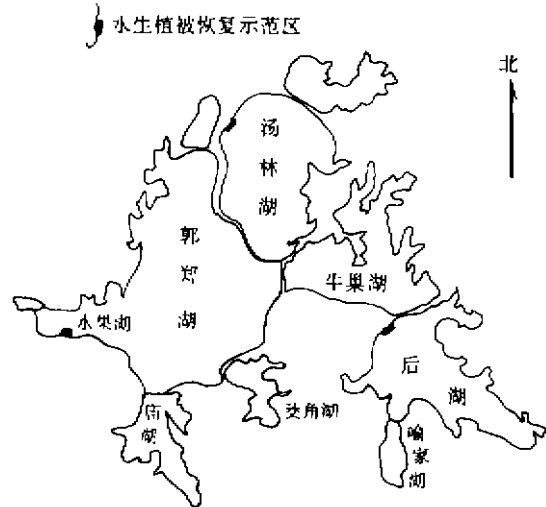


图1 武汉东湖水生植被恢复示范区位置示意图
Fig. 1 The location of the demonstration enclosures for the macrophyte restoration in Donghu Lake, Wuhan

表1 武汉东湖水生植被30年间的变化
Tab. 1 The change of aquatic vegetation in Donghu Lake in the past 30 years

年份	1962—1963	1991—1993
植物种数	83	58
占全湖面积百分比(%)	85	3
生物量(t,湿重)	30,440	3,790
分布最大深度(m)	4.5	3.1

表 2 东湖不同湖区水生植物种类的比较(1991—1992 年)¹⁾
Tab. 2 The occurrence of aquatic plants in different sublakes of Donghu Lake

植物种类	郭邦湖	汤林湖	牛鼻湖	后湖	菱角湖
1. 苹 <i>Marsilea quadrifolia</i> L.		+	+	+	+
2. 清江红 <i>Azolla imbricata</i> (Roxb.) Nakai		+	+	+	
3. 槐叶萍 <i>Salvinia natans</i> (L.) All.		+	+	+	
4. 芡实 <i>Euryale ferox</i> Salisb.		+	+	+	
5. 莲 <i>Nelumbo nucifera</i> Gaerth.		+	+	+	+
6. 金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i> L.	+	+	+	+	
7. 野菱 <i>Trapa natans</i> L.	+	+	+	+	+
8. 细果野菱 <i>T. maximowiczii</i> Rorsch.		+	+	+	+
9. 冠菱 <i>T. latwinawu</i> V. Vassil		+	+	+	+
10. 聚草 <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	+	+	+	+	+
11. 金银莲花 <i>Nymphoides indica</i> (L.) Kuntze	+	+	+	+	+
12. 荇菜 <i>N. peltata</i> (Gmel.) O. Kuntze		+	+	+	+
13. 茶菱 <i>Trapa sinensis</i> Oliv.				+	
14. 黄花狸藻 <i>Utricularia aurea</i> Lour.				+	
15. 香蒲 <i>Typha angustifolia</i> L.	+	+	+	+	+
16. 菹草 <i>Potamogeton crispus</i> L.	+	+	+	+	+
17. 竹叶眼子菜 <i>P. maluanus</i> Miq.		+	+	+	
18. 龙须眼子菜 <i>P. pectinatus</i> L.			+		
19. 眼子菜 <i>P. distictus</i> A. Benn.				+	
20. 大茨藻 <i>Najas marina</i> L.	+	+	+	+	+
21. 草茨藻 <i>N. graminea</i> Lel.			+	+	
22. 小茨藻 <i>N. minor</i> All.		+	+	+	
23. 澳古茨藻 <i>N. oucaensis</i> Miki				+	
24. 矮慈菇 <i>S. pygmaea</i> Miq.				+	
25. 野慈菇 <i>S. sagittifolia</i> L.				+	+
26. 水鳖 <i>Hydrocharis asiaticus</i> Miq.	+	+	+	+	
27. 黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i> Royle		+	+	+	
28. 苦草 <i>Vallisneria spiralis</i> L.		+	+	+	+
29. 密齿苦草 <i>V. denseserrulata</i> Makino	+	+	+	+	+
30. 水车前 <i>Ottelia alismoides</i> Pers.				+	
31. 芦苇 <i>Phragmites communis</i> Trin.	+	+	+	+	+
32. 菵 <i>Zizania caduciflora</i> (Tucz.) H.-M.	+	+	+	+	+
33. 荆三棱 <i>Scirpus yagra</i> Ohwi.		+		+	
34. 水葱 <i>S. Lacustris</i> L. var. <i>tabernaemontani</i> Trauv.				+	
35. 水毛茛 <i>S. triangularis</i> Roxb.				+	
36. 牛毛毡 <i>Eleocharis acicularis</i> (L.) R. Br				+	
37. 野荸荠 <i>E. plantagineiformis</i> Tang et Wang				+	
38. 菖蒲 <i>Acorus calamus</i> L.				+	
39. 浮萍 <i>Lemna minor</i> L.	+	+	+	+	+
40. 紫背浮萍 <i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid.	+	+	+	+	+
41. 微萍 <i>Wolffia arrhiza</i> Wium.	+	+	+	+	+
42. 水竹叶 <i>Aneilema keisak</i> Hassk.				+	
43. 鸭舌草 <i>Monochoria korsakowii</i> Regel et Maack.				+	

1) + 表示出现。

的示范区的水生植物恢复试验的结果而提出的。由于水体营养和水质状况不同,水生植物的生活型和耐污性质不同,水生植物在三个湖区恢复的情况有很大的差异。结果如表 3 所示。把经人工移栽、播种后,在示范区中能自行繁殖和维持种群作为恢复成功。

表 3 三个不同湖区水生植被恢复示范区的试验结果¹⁾
Tab. 3 The recovery of various aquatic plants in the demonstration enclosures situated at three subregion in Donghu Lake, Wuhan

植 物 名 称	生活型	水果湖	汤林湖	后 湖
黄丝草 <i>Potamogeton maackianus</i>	沉水	+-	-	++
伊乐藻 <i>Elodea canadensis</i>	沉水	+-	-	++
大茨藻 <i>Najas marina</i>	沉水	++	++	++
聚草 <i>Myriophyllum spicatum</i>	沉水	++	++	+-
苦草 <i>Vallisneria sp.</i>	沉水	++	++	++
金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	沉水	++	++	+-
黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	沉水	+-	+-	+-
菹草 <i>Potamogeton crispus</i>	沉水	++	+-	++
水鳖 <i>Hydrocharis asiatica</i>	漂浮	++	++	++
紫背浮萍 <i>Spirodela polyrrhiza</i>	漂浮	+-	++	++
槐叶萍 <i>Sagittaria natans</i>	漂浮	-	+-	-
清江红 <i>Azolla imbricata</i>	漂浮	-	+-	++
苹 <i>Marsilea quadrifida</i>	浮叶根生	-	+-	-
菱 <i>Trapa spp.</i>	浮叶根生	++	++	++
莲 <i>Nelumbo nucifera</i>	挺水	++	++	++
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	挺水	++	++	++
香蒲 <i>Typha angustifolia</i>	挺水	-	-	++

1) ++表示自然发生的或栽培后能够成活的植物;+-表示不能维持种群;-表示未试验。

挺水植物、漂浮植物和浮叶根生植物受水体富营养化的抑制作用较小,甚至水体营养水平的提高对这些植物特别是前者有促进作用,例如富营养化水体凤眼莲疯长。挺水植物生产率高,对湖泊初级生产力的贡献大,其过度增长将加速湖泊沼泽化进程。这三种生活型的植物不难恢复,这在试验中得到证实。湖边以挺水植物为主的水陆交错带对面源污染物去除和沉淀有一定意义。正如前面所指出的,可能由于东湖沿岸带底质较硬,人工恢复的芦苇向湖中的扩展有限。沉水植物的生产力与浮游植物相近,在长江中下游的浅水湖泊中分布面积大。沉水植物也可为鱼类和其它水生生物提供产卵和生存环境;沉水植物丰富时,水质清澈、藻类密度低,生物多样性高,水生植被恢复的重点和难点都在于沉水植物的恢复。汤林湖除黑藻外,其它表中所述的沉水植物都是自然恢复的。K-选择型的黄丝草和伊乐藻在后湖示范区能够人工恢复,其它沉水植物也能自然恢复。冬、春季黄丝草和伊乐藻在水果湖围隔中生长良好,但不能越冬。

磷、氮等营养物和其它污染物的大量输入和积累是引起浮游植物的过度增长和湖泊生态系统结构和功能改变的主要原因,大多数湖泊中浮游植物受磷元素限制。工程治理措施如截污分流、底泥疏浚和引清冲污等技术的目的是截断污染源、并减轻水体内污染负荷。建立污水处理厂对污水加以处理,去除可减少其中的有机物和营养元素,特别是磷元素。以上提及的这些

工程措施是减少浮游植物的过度增长和促进水生植被恢复的有力措施,但富营养浅水湖泊在截污以后,由于面源污染极难控制,内源污染不断释放,加之鱼类对营养循环的加速,水体营养水平和浮游植物生物量难以削减,或者仅出现暂时性的降低。

经济发展与合作组织(OCED)所确定的富营养化浅湖恢复的目标之一是将湖水磷含量削减到 20—100 $\mu\text{g/L}$ 。Moss 等^[8-14]通过在地处北温带的英格兰东部的富营养浅湖群 Norfolk Broads 中所作的研究,提出了浅水湖泊具有水生大型植物和浮游植物占优势的两种稳定状态的假说(我国一般称之为草型和藻型),一旦处于某种状态,就具有一系列的反馈机制,维持这种状态的稳定。并提出富营养化湖泊水生植被恢复的前提是夏季湖水中磷含量应削减到 100 $\mu\text{g/L}$ 以下。因为在这种磷含量水平下,富营养化浅水湖泊的两种稳定状态都有可能占优势,但仅通过营养物水平的削减不能导致湖泊水生植被的自然恢复,采取人工的生物操纵措施可促使以浮游植物占优势的群落向以大型植物占优势的群落演替,即促进水生植被的恢复。从东湖三个示范区所在湖区水体营养水平(表 4)和植物恢复情况的比较(表 3)可以看出,湖水磷含量削减到 100 $\mu\text{g/L}$ 左右也将有利于东湖沉水植物的恢复。后湖水质状况最好,试验的所有水生植物均能恢复。苦草、聚草、菹草和大茨藻等 *r*-选择型的沉水植物在水果湖示范区中虽然能够恢复,但其分布深度有限,在夏季尤为明显。汤林湖示范区引种的黑藻未能恢复成功,除了其本身对光照的需求较高和来自其它沉水植物的竞争外,草食性鱼类的摄食也是重要原因,因为草食性鱼类对黑藻的摄食选择性较高。

表 4 三个示范区外湖水水质(1991 年 9 月)及氮磷营养水平(1994 年 8 月)

Tab. 4 The water quality (Sep., 1991), nitrogen, phosphorus and dissolved oxygen concentration (Aug., 1994) of lake water outside the demonstration enclosures

地 点	SD (cm)	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	DO (mg/L)	电导率 ($\mu\text{s/cm}$)	pH	电位 (mV)	chl _a ($\mu\text{g/L}$)	TN (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	N/P
水果湖	38	25.48	7.61	8.5	372	9.2	73.5	74.4	3.575	1.598	0.0540	0.0340	0.514	6.96
汤林湖	56	17.47	3.85	8.1	324	8.3	246.2	32.4	0.845	0.0513	0.0129	0.1121	0.114	8.04
后 湖	72	10.19	1.16	8.2	208	8.4	69.4	14.7	1.262	0.0720	0.0310	0.0290	0.065	19.41

对于富营养浅水湖泊而言,如果湖泊集水区内的土地利用方式不改变,如恢复陆生植被、改变农田耕作方式等,那么仅农业面源污染就可使得水体营养负荷不可能削减到允许水生植被自然恢复的水平。既然不可能大量削减湖泊营养物质,使湖泊恢复到天然的寡营养和中营养水平,那么维持富营养条件下水质清澈、生物多样性高的水生植物占优势的状态,是一种经济、合理的管理对策。

30 多年来,武汉东湖建闸(控制水位和造成江湖阻隔)、修堤、大规模的水产养殖、集区内土地利用的变化和湖滨人口的增加等一系列人为活动所产生的影响较国外同类湖泊更为强烈,湖泊理化性质发生剧变,生物群落出现了许多特殊现象,如浮游生物出现了明显的小型化趋势,80 年代中期蓝藻水华消失,直到目前为止,虽然水体营养水平仍在增加,但水华没有重新出现,丝状蓝藻所占比例也并不很高,这些都是与国外湖泊不同的特殊现象,还有待于进一步的研究^[15-16],这些给水生植被重建和湖泊的恢复造成了特殊的困难,特别是郭郑湖和庙湖等污染严重的湖区。

由于东湖的人为分割,而且各湖区所受污染程度不同,其富营养化程度不同.牛巢湖处于中营养水平,后湖、汤林湖和菱角湖处于中-富营养水平,如果停止放养和减少草食性鱼类,水生植被可以自然恢复,如聚草、苦草和大茨藻等沉水植物易于恢复.因为自然恢复的速度慢,水生植物群落结构单一,稳定性差,而且利用价值低,必须进行优化.在这些湖区重新引种黄丝草,可逐步增加水生植被的稳定性,也可以考虑引种伊乐藻,增加水草的资源价值.在污染严重的郭郑湖、水果湖和庙湖,恢复水生植被特别是沉水植物则比较困难.在水生植被重建的起始阶段,应以以上提及的 r -选择种类为主,而黄丝草和黑藻等恢复较为困难.一旦水生植被开始恢复和建立,可通过一系列正反馈机制,抑制藻类,水质将逐步好转,再引种黄丝草等 K -选择型种类,逐步向湖心扩展.其它对污染较为敏感的种类如竹叶眼子菜、黑藻和水车前等也能得以恢复.

水生大型植物是淡水生态系统中主要的初级生产者之一,合理开发利用浅水湖泊丰富的水生植物资源,不仅能产生经济效益,而且能实现生态系统的物质与能量输出,延缓湖泊沼泽化进程.从 50 年代起,我国学者即开展了水生维管束植物的利用研究,探讨草型湖泊中合理放养草食性鱼类(草鱼和鳊等)的问题.在利用湖泊的同时,往往对淡水生态系统的脆弱性估计不足,致使生态系统退化、水生植物衰退、水质恶化.象东湖渔场为便于渔业生产,大量放养草食性鱼类以控制水生植物,而置湖泊其它功能于不顾的作法应予制止.东湖水生植被恢复以后,水生植物的利用可采取放牧式圈养和圈养草鱼的方式,加以人工控制,防止水草资源的破坏.打捞水草作为饲料和绿肥也是利用方式之一.

在湖泊生态恢复过程中,必须将工程措施和生物措施结合起来,并应用生态学原则,恢复和维持湖泊生态系统的自身良性循环,并加以适当的人工调控和管理,实现生态、经济和社会复合体系统的最佳效益.

致谢 邓家齐、詹发萃、周易勇等参加部分工作,并承蒙夏宜璋研究员指导,特此致谢!

参 考 文 献

- 1 陈洪达,何楚华.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,1975,5(3):410-420
- 2 周凌云等.武昌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
- 3 陈洪达.武汉东湖大茨藻群落的研究.水生生物学集刊,1984,8(3):331-341
- 4 陈洪达.武汉东湖水生维管束植物群落的结构与动态.海洋与湖沼,1980,11(3):275-284
- 5 姚作五等.武汉东湖水生维管束植物与富营养化.重庆环境科技,1990,12(4):26-30
- 6 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析.北京:中国环境科学出版社,1989
- 7 邱东茹,吴振斌等.东湖水生植物生态学研究(1):水生植被现状和演替动态.水生生物学报,1995,19(增刊):103-114
- 8 Moss B. The Norfolk Broadland; Experiments in the restoration of a complex wetland. *Biol Rev*, 1985, 58: 521-561
- 9 Moss B. Engineering and biological approaches to the restoration from eutrophication of shallow lakes in which aquatic plant communities are important components. *Hydrobiologia*, 1990, 200/201: 367-377
- 10 Moss B, et al. Restoration of two lowland lakes by isolation from nutrient-rich water sources with and without removal of sediment. *Journal of Applied Ecology*, 1986, 23: 391-414
- 11 Balls H R, Moss B & Irvine K. The loss of submerged plants on eutrophication I; Experimental design, water chemistry, aquatic plant and phytoplankton biomass in experiments carried out in ponds in the Norfolk Broadland. *Freshwater Biology*, 1989, 22: 71-87

- 12 Irvine K Moss B and Balls H. The loss of submerged plants with eutrophication II: Relationships between fish and zooplankton in a set of experimental ponds, and conclusions. *Freshwater Biology*, 1989, 22: 89-107
- 13 Stansfield J, *et al* The loss of submerged plants with eutrophication III. Potential role of organochlorine pesticides: a palaeoecological study. *Freshwater Biology*, 1989, 22: 109-132
- 14 Timms R M & Moss B. Prevention of growth of potentially dense phytoplankton populations by zooplankton grazing in the presence of zooplanktivorous fish in a shallow wetland ecosystem. *Limnol Oceanogr*, 1984, 29: 472-486
- 15 刘建康主编. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1991
- 16 饶钦止, 章宗涉. 武汉东湖浮游植物的演变(1956-1975)和富营养化问题. 水生生物学集刊, 1980, 7(1): 1-11

ECOLOGICAL RESTORATION OF AQUATIC VEGETATION IN A EUTROPHIC SHALLOW LAKE, DONGHU LAKE, WUHAN

Qiu Dongru¹ Wu Zhenbin¹ Liu Baoyuan¹ Yan Guoan² Zhou Yuanjie³

(1: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

2: Department of Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072)

3: Wuhan Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430076)

Abstract

This paper reports the results of restoration experiments of aquatic vegetation carried out in the demonstration enclosures which are situated at three different subregions in a eutrophic shallow freshwater lake, Donghu Lake of Wuhan. It is found that the *r*-selected submerged plants, i. e., *Vallisneria* sp., *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus*, and *Najas marina* can recover spontaneously or through the artificial introduction in the enclosures. The strategies for the recovery of aquatic vegetation of Donghu Lake have been put forward on the basis of the study of the succession dynamics of aquatic plant community and the restoration test results. First of all, the ceasing of stock of herbivorous fish and reduction of standing stock of these fishes must be carried out at once, which may enhance the recovery of submerged vegetation in the sublakes such as Niuchaohu, Houhu and Tanglinhu. The *K*-selected ones, such as *Potamogeton maackianus* and *Elodea canadensis* should be introduced into the above-mentioned less-polluted sublakes for the optimization of species composition and community structure. In order to restore the submerged macrophytes in the eutrophic or hypereutrophic sublakes and bays such as Guozhenghu, the engineering measures must be taken to reduce and/or remove the internal and external nutrient loading combined with the biomanipulation. The *r*-selected submerged plants should be transplanted at first, and then the *K*-selected ones may be restored after the improvement of water quality.

Key Words Ecological restoration, aquatic vegetation, eutrophic shallow lake, Donghu Lake (Wuhan)