

保安湖沉水植物分布的 GIS 模拟

马 凯, 蔡庆华*, 谢志才, 黎道丰, 叶 麟

(中国科学院水生生物研究所 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要:以 GPS 为辅助,在保安湖主体湖和桥墩湖进行沉水植物调查。将野外调查数据构建 GIS 数据库,基于 GIS 软件平台,运用 Kringing 插值法对保安湖沉水植物分布进行模拟。模拟结果清楚地显示出调查时保安湖沉水植物及 4 优势种(金鱼藻 *Ceratophyllum demersum* L.、穗状狐尾藻 *Myriophyllum spicatum* L.、微齿眼子菜 *Potamogeton maackianus* A. Benn. 及苦草 *Vallisneria spiralis* L.) 分别在湖中的分布情况。统计后结果表明沉水植物覆盖面积占全湖面积的 92.9%, 总生物量(湿重)为 143682.4t。比较历史数据,发现湖中水生植被组成特征已由微齿眼子菜绝对优势转变为 4 种植物的共同优势。

关键词:保安湖;沉水植物;GIS; Kringing 插值

GIS simulation on the distribution of submerged macrophytes in Baoan Lake

MA Kai, CAI Qing-Hua, XIE Zhi-Cai, LI Dao-Feng, YE Lin (Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences; State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Wuhan 430072, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2271~2277.

Abstract: Baoan Lake is a shallow lake spreading along the middle reach of the Yangtze River. Submerged macrophytes were surveyed in the main part of the Baoan Lake and Qiaodun Lake (subregion of Baoan Lake) by setting up 103 sampling sites with assistant of a GPS setting on August 21~23, 2001. The investigation data were compiled and a GIS database of submerged plants of Baoan Lake was established. A vector boundary map of the Baoan Lake was digitized and georeferenced, then used to introduce sampling sites. Under the support of GIS software ArcView 3.2 and the relative extension modules (Spatial Analyst Extension 2.0 and Kringing Interpolator Extension 3.22 SA), the GIS database was employed to simulate distribution patterns of whole submerged vegetation as well for four dominant species (*Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Potamogeton maackianus* A. Benn. and *Vallisneria spiralis* L.). The simulation process was based on the principle of Kringing interpolation

基金项目:国家“973”资助项目(2002CB 412310);中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX1-SW-12-IV-21, KSCX2-SW-111);中国科学院水生生物研究所知识创新工程领域前沿资助项目(K220208);国家自然科学基金资助项目(30070153, 39670150)

收稿日期:2002-12-23; **修订日期:**2003-08-30

作者简介:马 凯(1977~),男,陕西西安人,硕士,主要从事 GIS 和淡水生态学方向的研究。Email: makai@ihb.ac.cn

* 通信作者 Author for correspondence, E-mail: qhcai@ihb.ac.cn

Foundation item: National Key Basic Research Project (No. 2002CB412310); Key Project of Knowledge Innovation Program of CAS (No. KZCX1-SW-12-IV-21, KSCX2-SW-111); Field Frontier Project of CAS Knowledge Innovation Program, Institute of Hydrobiology (No. K220208); and the National Natural Science Foundation of China (No. 30070153, 39670150).

Received date:2002-12-23; **Accepted date:**2003-08-30

Biography: MA Kai, Master. Primarily be engaged in the research of GIS and freshwater ecology. E-mail: makai@ihb.ac.cn

technique. The simulated results were stored as ArcView Grid format with a grid precision of 20m.

The result maps clearly display the distribution areas and biomass pattern of submerged vegetation in the lake. The statistic results show the vegetation, with a total weight (wet) of 143682.4t, accounts for an area of 31.67 km², which is 92.9 % of the whole lake bottom.

The dominant value of each species was computed. The results indicate *P. maackianus* A. Benn. while no longer the absolutely dominant species, remains an important member of the Baoan Lake plant community. However, expanding of *C. demersum* L., *M. spicatum* L. and *V. spiralis* L. in the lake has already caused a co-dominant distribution pattern formed by these four species. Taking human activity on the lake into account, vegetation succession in the lake could be considered as a process under the effect of artificial disturbance. Comparing with the experience in other vicinal lakes, it is suggested that aquatic plant community in Baoan Lake already shows a tendency to decline.

Key words: Baoan lake; submerged macrophytes; GIS; Kringing interpolation

文章编号:1000-0933(2003)11-2271-07 中图分类号:Q178.1 文献标识码:A

江汉平原湖泊群为典型的浅水湖泊群,湖盆浅平且淤积肥厚,水生植被发育较好,植物种类颇丰,其中尤以沉水植物为主^[1]。浅水湖泊中,沉水植物作为湖泊中主要的生物组分和栖息环境,一直是湖泊生态系统的重点研究对象之一^[2-3]。GIS技术的出现为水生植被的研究带来了契机^[4],不仅为诸如植被图绘制和生物量计算这样的问题提供了工具^[5,6],而且可以用于空间分析水生植物与环境因子相互关系^[7-10]。长江中下游湖泊中,水体透明度降低及人为利用造成的部分湖区无法前往等因素增加了沉水植物的调查难度。通过解析卫星影像建立沉水植物光谱特征与生物量之间的关系来模拟群落边界和生物量的方法确实有助于解决这一问题^[11,12],但成本高、技术难度大等问题也限制这种方法在国内的广泛运用。本研究提出的结合GPS和GIS技术对沉水植物分布格局进行模拟的方法,相比之下耗费较少,且可操作性强,易于推广。

1 研究地点概况和研究方法

1.1 研究地点的概况

保安湖(114°23'E, 30°15'N)位于湖北省大冶市西北部,为长江中游南岸的一个典型浅水湖泊。湖区水热条件较为丰富,气候温和,湖中淤积层厚,沉水植被丰茂^[13,14]。湖表面积为39.3km²,平均水深为1.5~2.5m^[14],由主体湖区、桥墩湖、扁担塘和肖四海等四个湖区组成。现今肖四海和扁担塘已建围堤,独立成湖。原本全湖水草丰茂,但由于近年来人类活动(如水产养殖等)强度不同,使各湖区沉水植物分布出现了较大差异。本研究选择在水流流通,且沉水植物保持较好的主体湖和桥墩湖进行。

1.2 研究方法

1.2.1 沉水植物的采集 2001年8月21~23日,在湖中设置103个采样点,对沉水植物进行了全面调查。样点设置遵循了GIS方法中的成层随机布点原则,兼顾样点分布的均匀性和随机性^[15]。每个样点都用Magellan 315型GPS接收机记录准确的经纬度坐标(图1)。采样期间,天空晴朗,气温维持在35℃左右,天气因素对整个采样工作基本无影响。

沉水植物的采集沿用了“多次重复随机小样方法”^[16]。在每一样点,用0.2×0.2m²自制铁钵在约500m²范围内随机采集6次,将每样方内的全部植物即时冲洗干净,按种分开,称其鲜重。

1.2.2 沉水植物GIS数据库的构建 利用Calcomp DrawingBoard III型数字化仪得到保安湖轮廓图(1:90 000),底图源于《湖北省湖泊变迁图》^①。参照1:1 000 000中国基础地理信息图水系图层完成地面校正(Georeference),赋予轮廓图地理信息。将野外采集数据输入计算机,构建保安湖沉水植物数据库。基于专业GIS软件ArcView 3.2 (ESRI, Environmental Systems Research Institute, USA)平台,将数字化

① 湖北省水利厅,湖北省水利勘测设计院。内部资料。1991年

的湖廓图作为基图,导入 GPS 记录的地理坐标进行样点定位,样点通过编号与保安湖沉水植物数据库相连。

1.2.3 沉水植物分布模拟 沉水植物分布格局的模拟同样基于 ArcView 3.2 版本,并辅以空间分析扩展模块 Spatial Analyst 2.0 (ESRI, USA) 及用于 Kriging 插值的扩展模块 Kriging Interpolator 3.22 SA(下载于 ESRI 官方主页 <http://www.esri.com>)。首先打开湖泊轮廓图和样点分布图,调出保安湖沉水植物数据库。以每样点沉水植物单位面积生物量为变量,利用 Kriging 插值法进行内插运算,模拟生成保安湖沉水植物分布格局图。同样方法分别模拟湖中主要优势沉水植物的分布格局图。模拟得到的沉水植物分布图为 ArcView 栅格图格式,栅格精度为 20m。运用统计软件对栅格数值进行统计,计算湖内各种水生植物的总生物量(湿重)及分布面积。

2 结果

2.1 保安湖沉水植物现状

目前,保安湖内挺水、浮叶植物带基本消亡殆尽。调查时,菱(*Trapa bispinosa* Roxb.)、荇菜(*Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze)仅在湖中发现几处,且规模很小。沉水植物带遍及全湖,除主体湖北部中间区域外,其余湖区水草生长均为旺盛。采样期间,湖中沉水植物优势种为金鱼藻(*C. demersum*)、穗状狐尾藻(*M. spicatum*)、微齿眼子菜(*P. maackianus*)及苦草(*V. spiralis*)。虽然黑藻(*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle)、竹叶眼子菜(*Potamogeton malaianus* Miq.)、茨藻(*Najas marina* L.)也有发现,但为零星分布,生物量较低。

2.3 保安湖沉水植物分布情况

对微齿眼子菜、穗状狐尾藻、金鱼藻和苦草 4 种优势沉水植物分别进行全湖分布格局模拟(图 2),并统计各自的分布区面积和生物量(表 1)。结果显示,穗状狐尾藻在全湖分布面积最广,80.7%的湖区均有分布。微齿眼子菜集中分布在桥墩湖区,在四种水草中分布面积最小,但生物量却为全湖最高,反映了其单个植株生物量高的特点。金鱼藻在主体湖中部及南部有大面积分布,分布面积仅次于穗状狐尾藻,生物量略低于微齿眼子菜。苦草的分布主要位于主体湖东部近岸湖区,虽分布面积较广,但生物量却仅为总生物量的 16.7%。苦草群落内植株间聚集度很低,因此单位面积内生物量也较低。

表 1 保安湖 4 种优势沉水植物生物量及分布面积

Table 1 The statistics of total biomass and distribution area for 4 dominant species in Baoan Lake

物种 Species	生物量 Biomass (Wet, t)	生物量百分比 Percentage in the total biomass (%)	分布面积 Distribution area(km ²)	面积占植被覆盖百分比 Percentage in the total vegetation area (%)	面积占全湖面积百分比 Percentage in the total lake area (%)
<i>C. demersum</i>	44424.2	30.92	21.30	67.3	62.5
<i>M. spicatum</i>	29663.6	20.65	27.52	86.9	80.7
<i>P. maackianus</i>	45573.2	31.72	13.36	42.2	39.2
<i>V. spiralis</i>	23950.7	16.67	19.00	60.0	55.7
总计 Total	143682.4	100	31.67	100	92.9

2.3 保安湖沉水植被数量特征分析

由于大部分湖区透明度较低,沉水植物密度和盖度特征难以获得。针对浅水草型湖泊中这一问题,陈洪达提出了优势度的评估方法^[16,17]。该方法选取生物量和频度为指标,分别代表湖中水生植物的生物量组

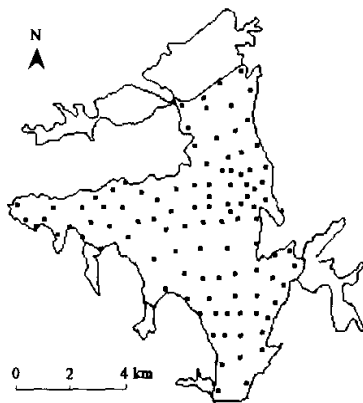


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites

成和分布范围情况,综合评估各种水生植物的优势程度。

从表 2 可以看出,微齿眼子菜、穗状狐尾藻、金鱼藻及苦草 4 种沉水植物的优势度之和达到 98.38%,说明这 4 种沉水植物为保安湖当时的主要优势种。此四种植物优势度相当,都介于 20%~30%之间。较以前调查结果,微齿眼子菜优势度急剧下降,已由湖中的绝对优势种演替为一般优势种,湖中沉水植被组成也由微齿眼子菜绝对优势转变为 4 种植物的共同优势。穗状狐尾藻替代微齿眼子菜成长为第一优势种,其分布已相当广泛。金鱼藻的分布也迅速扩张,相对生物量为四者最高。苦草的变化较特别,1992~1996 年,其在湖中成凋亡趋势,但此后无论生物量还是分布面积都大幅增加,至目前已成为湖中优势种之一。

3 讨论

沉水植物群落边界的确定方法多为断面法结合群落边缘选点,在地图进行标识,连线勾勒而成。若无 GPS 辅助,难以在地图上找到精确位置,况且群落边缘也不易判断准确。进一步计算水生植被生物量时,结果势必会受到影响。主观判断在上述方法中起到重要作用,即使同一批调查数据,不同分析人员的计算结果都可能有所不同。而借助 GIS 和地统计方法,则可以最大限度地减少人为因素造成的影响。Kriging 法就是地统计学经典的插值技术之一,该方法可以根据一组数据间的空间关系,对研究区域内未知数据作一种无偏内插、最小方差的估计^[18]。本研究之所以选择 Kriging 插值法,也是因其建立于区域化随机变量理论的基础上,较其他插值方法更加优越。而 GIS 的栅格模型设计思想是将地理空间看成一个连续的整体,在这个空间中处处有定义,也非常适合用于水生植被分布格局的表示^[14]。

表 2 保安湖沉水植被数量特征的年际变化

种名 Species	1992-08 ^[12]			1996-08 ^①			2001-08		
	相对频 度 RF	相对生 物量 RB	优势度 DV	相对频 度 RF	相对生 物量 RB	优势度 DV	相对频 度 RF	相对生 物量 RB	优势度 DV
<i>P. maackianus</i>	43.82	65.50	54.66	65.27	79.85	72.54	13.29	30.21	21.75
<i>M. spicatum</i>	12.36	10.27	11.31	13.68	4.87	9.28	36.71	20.37	28.54
<i>C. demersum</i>	12.36	10.87	11.61	16.84	14.66	15.76	24.05	31.80	27.93
<i>V. spiralis</i>	16.85	7.60	12.23	4.21	0.62	2.42	22.78	17.55	20.17
其它种 Other species	14.61	5.75	13.96				3.17	0.07	1.61

国内,潘文斌首先尝试 Kriging 插值法对保安湖的大型水生植物群落进行研究,得到分布格局图^①。但限于软件功能,结果只能图示不同单位生物量等级的分布带,而无法直接计算总生物量。GIS 提供的空间分析功能恰好可以弥补上述工作的不足。生物量的计算采用 GIS 的栅格统计,栅格面积为 400m²,小于每样点约 500m² 的采样范围。因此,栅格所代表生物量数值与实际调查数值非常相符,保证了模拟结果较好的真实性和准确性^[19]。

本研究通过 GIS 模拟并计算得到的 2001 年 8 月水生植物总生物量为 143682.4t,苏泽古等 1986 年 10 月的计算结果为 194561t^[14],1988 年 9 月为 82104.1t^[13],潘文斌利用 Winsurf 推算的 1992 年 6 月的生物量为 121890t^①。相比较,以上结果尚属同一数量级,若再考虑采样时间及人为采样误差等因素,可认为本研究的模拟结果是可信的。

研究表明保安湖沉水植物的群落结构已发生了显著的变化。历史资料显示,微齿眼子菜原先为湖中的绝对优势种,但近年来,其衰退趋势十分明显。密集的渔业活动可认为是造成近年微齿眼子菜衰退的主要原因。保安湖各种水生植物中,草鱼对微齿眼子菜的绝对摄食量最高^[13]。目前,草食性鱼类依然是湖中主要

① 潘文斌. 湖泊大型水生植物空间格局的分形与地统计研究. 中国科学院水生生物研究所博士论文, 2000 年

① 李伟. 洪湖水生植被及其演替研究. 中国科学院水生生物研究所博士论文, 1995 年

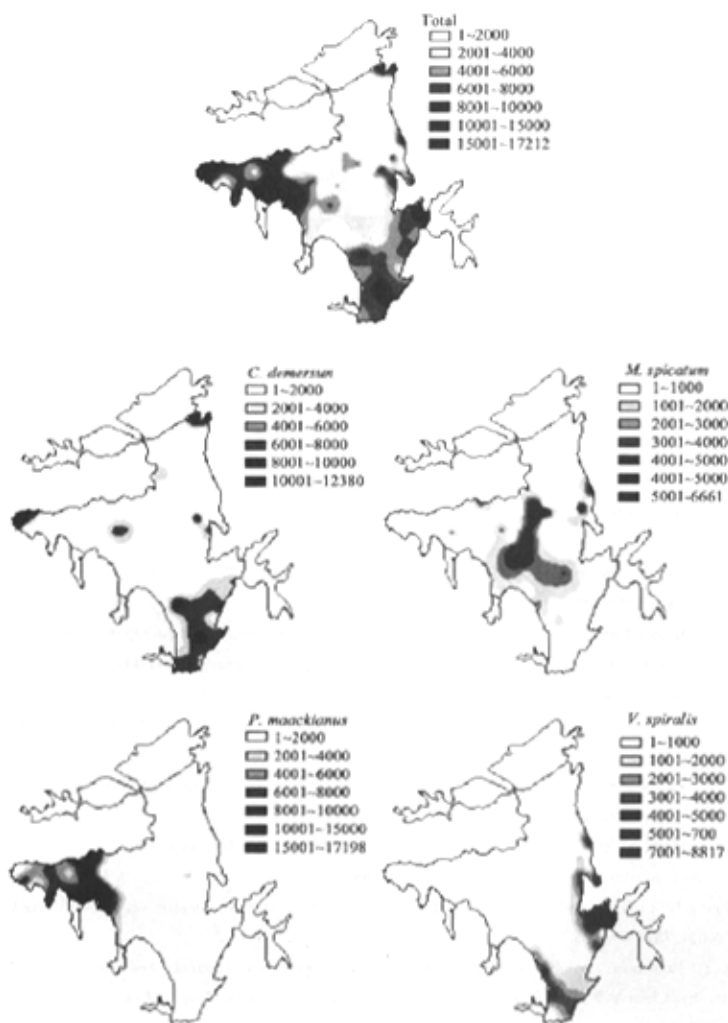


图2 保安湖沉水植物及优势种生物量分布情况(湿重, g/m^2 , 2001年8月)

Fig. 2 Biomass distribution patterns of submerged macrophytes and dominant species in Baogan Lake (Wet, g/m^2 , Aug., 2001)

的放养对象,微齿眼子菜面临着较高的摄食压力,导致群落边缘不断退缩。绞草养鱼是渔业活动的主要内容之一,微齿眼子菜群落聚集度高、单位生物量大等特点吸引渔民将其视为绞草的首选对象。而绞草工具——尖利的钉耙,足以毁灭微齿眼子菜赖以生长繁殖的匍匐茎。调查中获悉,主体湖中近两年来放养了大量螃蟹。蟹类多在湖底活动,其运动过程也起到天然绞草机的效果。与微齿眼子菜不同,渔业活动对穗状狐尾藻影响较小,而且绞草加速其植株断裂,破碎的茎随水漂流,可以迅速占据了由于绞草而造成的人为裸地^②。这也是穗状狐尾藻目前在保安湖中迅速扩张的主要原因。苦草为近些年崛起的优势种,集中分布在主体湖东部黄风口和南部保安口附近地区。黄风口沿岸为居民聚集地,生活污水直接进入保安湖,而保安口

河道也是湖区主要的污染源,污染物的排入使原先水环境变得不稳定。苦草为水生植物中的先锋种,虽竞争能力有限但具有较强的抗干扰能力^[20]。因此扰动发生时,可以先于其他水生植物占有受扰生境。金鱼藻对水环境的适应性也较强,在无微齿眼子菜分布地区也得到迅速生长。微齿眼子菜的衰退,穗状狐尾藻的扩张,苦草和金鱼藻的迅速增长表明湖中水生植被受到了较大的扰动压力。

扁担塘原与保安湖一体,由于渔业生产而与主体湖间筑起一道人工堤。20世纪80年代中期,扁担塘内水生植物群落与主体湖一样,微齿眼子菜为绝对优势群落,但到当年代末,演替为苦草—穗状狐尾藻群丛^[14]。此次野外调查发现扁担塘内沉水植被完全消失,偶有穗状狐尾藻的零星分布。保安湖的沉水植被目前也经历着相似过程,若再不采取适当措施加以保护,其退化趋势将不可逆转。

References:

- [1] Liu J K. Lakes of the middle and lower basins of the Chang Jiang. In: Taub F B ed. *Lakes and reservoirs*. Amsterdam; Elsevier Science Publishers, 1984. 331~355.
- [2] Carpenter S R, Lodge D M. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquatic Botany*, 1986, 26:341~370.
- [3] Li W, Zhong Y. *Theories and methods of the study of aquatic vegetation*. Wuhan; Central China Normal University Press, 1992. 237~277.
- [4] Caloz R, Collet C. GIS and remote sensing in aquatic botany; methodological aspects. *Aquatic Botany*, 1997, 58: 209~228.
- [5] Janauer G A. Macrophytes, hydrology, and aquatic ecotones; a GIS-supported ecological survey. *Aquatic Botany*, 1997, 58:379~391.
- [6] Lehmann A, Jaquet J M, Lachavanne J B. Contribution of GIS to submerged macrophyte biomass estimation and community structure modeling, Lake Geneva, Switzerland. *Aquatic Botany*, 1994, 44:99~117.
- [7] Lehmann A, Jaquet J M, Lachavanne J B. A GIS approach of aquatic plant spatial heterogeneity in relation to sediment and in relation to sediment and depth gradients, Lake Geneva, Switzerland. *Aquatic Botany*, 1997, 58: 347~361.
- [8] Lehmann A, Lachavanne J B. Changes in the water quality of lake Geneva indicated by submerged Macrophytes. *Freshwater Biology*, 1999, 42:457~466.
- [9] Schmieder K. Littoral Zone - GIS of Lake Constance; a useful tool in lake monitoring and autecological studies with submersed macrophytes. *Aquatic Botany*, 1997, 58:333~346.
- [10] Li W, Huang B, Li R R. Assessing the effect of fisheries development on aquatic vegetation using GIS. *Aquatic Botany*, 2002, 73:187~189.
- [11] Zhang X Y. Preliminary study on the relationship between spectral reflectance and the biomass of submerged vegetation. In: Chen Y Y ed. *Hydrobiology and resources exploitation in Honghu Lake*. Beijing; Sciences Press, 1995. 159~165.
- [12] Zhang X Y. Estimation on biomass of the submerged vegetation by using Landsat TM image in Honghu Lake. In: Chen Y Y ed. *Hydrobiology and resources exploitation in Honghu Lake*. Beijing; Sciences Press, 1995. 166~173.
- [13] Liang Y L, Liu H Q. *Resources, environment and fishery ecological management of macrophytic lakes (I)*. Beijing; Sciences Press, 1995.
- [14] Hu C L, Huang X F. *Collected papers on the fishery ecology and exploitation technology of the Baq'an Lake*. Beijing; Sciences Press, 1991.
- [15] Wu L, Liu Y, Zhang J, et al. *Geographical Information System: Principle, method and application*. Beijing; Sciences Press, 2001.
- [16] Cui X H, Chen J K, Li W. Survey methods on aquatic macrophyte vegetation in lakes in the middle and lower reaches of changjiang river. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1999, 17:357~361.
- [17] Chen H D. Structure and dynamics of macrophyte communities in Lake Donghu, China. *Oceanologia et*

Limnologia Sinica, 1980, 11(3): 275~283.

- [18] Zhou G F, Xu R M. Biogeostatistics. Beijing: Sciences Press, 1998.
- [19] Pan W B, Cai Q H. The function of macrophyte in the carbon circulation of Baoan Lake. *Acta Hydrobiological Sinica*, 2000, 24(5): 418~425.
- [20] Xiong B H, Li W. Ecological studies on *Vallisneria* L. in China. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2000, 18(6): 500~508.

参考文献:

- [3] 李伟, 钟扬. 水生植被研究的理论和方法. 武汉: 华中师范大学出版社, 1992. 237~277.
- [11] 张晓阳. 洪湖沉水植物光谱特征与生物量之间的关系初探. 见: 陈宜瑜主编. 洪湖水生生物及其资源开发. 北京: 科学出版社, 1995. 159~165.
- [12] 张晓阳. 应用 Landsat TM 影像估算洪湖沉水植物生物量. 见: 陈宜瑜主编. 洪湖水生生物及其资源开发. 北京: 科学出版社, 1995. 166~173.
- [13] 梁彦龄, 刘伏泉. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理(一). 北京: 科学出版社, 1995.
- [14] 胡传林, 黄祥飞. 保安湖渔业生态和渔业开发技术研究文集. 北京: 科学出版社, 1991.
- [15] 郭伦, 刘瑜, 张晶, 等. 地理信息系统—原理、方法和应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [16] 崔心红, 陈家宽, 李伟. 长江中下游地区水生植被调查方法. 武汉植物学研究, 1999, 17: 357~361.
- [17] 陈洪达. 武汉东湖水生维管束植物群落结构和动态. 海洋与湖泊, 1980, 11(3): 275~283.
- [18] 周国法, 徐汝梅. 生物地理统计学. 北京: 科学出版社, 1998.
- [19] 潘文斌, 蔡庆华. 保安湖大型水生植物在碳循环中的作用. 水生生物学报, 2000, 24(5): 418~425.
- [20] 熊秉红, 李伟. 中国苦草属生态学研究. 武汉植物学研究, 2000, 18(6): 500~508.