

## 东太湖湖泊面积及网围养殖动态变化的遥感监测\*

杨英宝<sup>1,2</sup>, 江南<sup>1</sup>, 殷立琼<sup>1,2</sup>, 胡斌<sup>1,2</sup>

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

(2: 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 东太湖高密度网围养殖已是东太湖水资源过度开发的重要问题, 彻底查清东太湖网围养殖规模, 是采取一切治理措施的前提, 遥感技术可真实反映湖区网围养殖情况, 能避免人为的虚报、错报现象。本文利用六景 TM 图像和三期高精度航片, 分析了东太湖 20 世纪 80 年代以来湖泊面积、网围养殖的时空变化情况并提出控制网围养殖盲目发展的对策。1984 年以来, 东太湖湖泊面积持续减小, 20 年内共减少了 249.23 hm<sup>2</sup>; 其中 1994 - 2000 年是湖泊消失的快速时期, 消失的湖泊主要用于围垦养殖。1990 年以来, 网围养殖规模逐渐增大, 目前几乎布满整个东太湖; 1995 年以来的增长速度更为迅速, 2003 年的网围面积 10647.02 hm<sup>2</sup>, 比 1995 年增加了 9401.29hm<sup>2</sup>, 该时期内网围规模增加的年速率是 1990 - 1995 年的 4 倍。

**关键词:** 湖泊面积; 网围养殖; 东太湖; 遥感

## RS-based Dynamic Monitoring of Lake Area and Enclosure Culture in East Taihu Lake

YANG Yingbao<sup>1,2</sup>, JIANG Nan<sup>1</sup>, YIN Liqiong<sup>1,2</sup> & HU Bin<sup>1,2</sup>

(1: Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, P. R. China)

(2: Graduate School of The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China)

**Abstract:** High-intensity enclosure culture in East Taihu Lake is a big problem for water resource exploitation. The quantity of enclosure culture in East Taihu must be checked truly before some measures are taken. Remote Sensing technology can investigate the true scope of it. This paper studied the change of lake area and enclosure culture in East Taihu Lake by using Landsat TM of 1984, 1988, 1994, 1997, 2000, 2002 and aerial photograph with high-spatial resolution of 1990, 1995, 2003. The results indicated that the lake area has been decreasing since 1980s. The area decreased 2049.23hm<sup>2</sup> between 1984 to 2003 because of reclamation. The decreasing was more quickly between 1994 and 2000. The scope of enclosure culture has become larger since 1990 and the enclosure culture has bestrewed the whole East Taihu Lake today. The area of enclosure culture in 2003 was 10647.02hm<sup>2</sup> and has increased 9401.29 hm<sup>2</sup> since 1995. The rate of increase between 2003 and 1995 was fourfold than that between 1990 to 1995. Higher density of enclosure culture has become a big problem of water resource exploitation in East Taihu Lake. The water quality of East Taihu became worse and the process of swamp became very fast. Some countermeasures were presented in this paper. The area of enclosure culture should be limited and its structure must be improved. We should call for developing ecotypic enclosure culture and strengthen environmental inspect and management by using RS and GIS technology.

**Keywords:** Enclosure culture; lake Area; East Taihu Lake; remote sensing

东太湖属太湖浅水草型湖湾, 是太湖的出水通道, 现有面积 130km<sup>2</sup>, 平均水深不到 1m, 具有蓄积、排洪、供水等重要功能, 已成为上海及浙东地区主要水源地。近年来由于社会经济的迅猛发展, 水资源利用程度越来越高, 湖泊面积逐渐减小, 网围养殖规模逐渐增大, 超密度网围养殖成为目前东太湖水资源过度开发利用的主要方面。网围具有阻滞水流等物理障碍效应, 以及养殖污染的叠加效应<sup>[1]</sup>, 长时间、超密度网围养殖可能导致湖泊富营养化、水质恶化以及沼泽化<sup>[2]</sup>。为了利于湖泊生态的保护和恢复, 必须限制网围养殖的面积, 科学规划网围养殖的空间布局。但依靠人工测量的湖泊面积变化、网围养殖规模等数据不客观, 也

\* 中国科学院知识创新项目 (KZCX3 - SW - 331) 资助。2004 - 9 - 17 收稿; 2004 - 10 - 22 收修改稿。杨英宝, 女, 1976 年生, 在读博士。E-mail: yingbaoyang@sohu.com.

不准确. 遥感技术以其不受时空限制, 能客观、准确地监测湖泊水资源利用和动态变化, 为湖泊水资源的规划与管理提供了有效途径. 本文利用 20 世纪 70 年代的地形图、1984、1988、1994、1997、2000、2002 年的 Landsat TM 图像提取湖泊边界信息, 分析了自 1984 年以来东太湖面积萎缩情况; 利用 1990、1995、2003 年的高分辨率航片对东太湖网围养殖的时空变化进行了分析, 初步提出了控制东太湖网围养殖盲目发展的措施.

## 1 信息获取与处理

### 1.1 数据源

本文采用的数据: 1990 年 1: 30000 航片电子扫描数据, 扫描精度  $21\mu$ , 像素分辨率  $0.63\text{ m}$ ; 1995 年 1: 25000 航片电子扫描数据, 扫描精度  $21\mu$ , 像素分辨率  $0.53\text{ m}$ ; 2003 年 1: 10000 航片电子扫描数据, 扫描精度  $21\mu$ , 像素分辨率  $0.21\text{ m}$ ; 1: 10000 地形图以及 1984、1988、1994、1997、2000、2002 年分辨率为  $30\text{ m}$  的 TM 图像. 数据处理的软件包括 Arcview3.2、Arc/Info8.3、Erdas8.6 和 Excel2000.

表 1 解译结果精度分析

Tab. 1 The precision analysis of digitized results

测试对象	GPS 测量	图上量算	误差 (%)
网围宽度 (m)	120.89	124.86	3.28
网围长度 (m)	164.44	162.31	-1.27
网围面积 ( $\text{m}^2$ )	30791	30369	-1.37

### 1.2 数据预处理

首先进行图像预处理, 包括航卫片的精纠正、色彩拉伸、平滑处理与镶嵌; 然后是人机交互解译; 最后进行野外调查, 修正解译结果. 野外调查过程中, 使用 GPS 对东太湖几个网围的实际长度和面积作了测量, 并与解译图上的长度和面积进行对比分析, 调查结果表明, 遥感图像上网围的解译基本正确 (表 1).

## 2 工作流程与研究方法

在 Erdas8.6 软件支持下对地形图、六景 TM 图像、三期航片进行数字化; 然后修改、编辑数字化后的遥感解译数据, 得到 20 世纪 70 年代、1984、1988、1994、1997、2000、2002 年七个时期东太湖湖泊边界图 (图 1) 以及 1990、1995、2003 年三期网围养殖空间分布图 (图 2-4), 建立空间数据库. 利用 Arc/Info 的空间分析功能, 对不同时期的湖泊边界数据和网围养殖数据分别进行空间叠加, 获得相应的空间信息, 分析东太湖湖泊面积减小的速度、原因以及网围养殖发展的时空变化. 具体流程如图 5.

## 3 结果与分析

### 3.1 东太湖湖泊面积的时空变化

在自然演变过程中, 湖泊的泥沙淤积与沙滩增长是其客观规律. 利用滩地资源、合理建圩不仅增加了种植和养殖面积, 扩大了农副业生产, 而且也为中心城镇的发展提供了建设用地. 但盲目地筑堤建圩不仅加速了湖泊的消亡, 也对水利等环境条件产生不利影响<sup>[3]</sup>. 根据历史资料<sup>[4]</sup>: 1916 年东太湖面积为  $265\text{ km}^2$ , 1950 年前后为  $188\text{ km}^2$ , 20 世纪 70 年代初减少到  $171.25\text{ km}^2$ , 到 1984 年东太湖面积则仅有  $131.53\text{ km}^2$ . 70 多年来东太湖面积共减少  $133.47\text{ km}^2$ , 其中 60 年代至 70 年代是东太湖面积减少的快速时期.

自 20 世纪 80 年代中期以来, 东太湖湖泊面积变化的具体情况未见报道, 因此本文利用六个不同时期的卫星遥感图像, 对 1984 年以来东太湖面积的变化情况进行分期调查, 了解湖泊面积萎缩的数量和具体原因. 所用卫星图像的时间分别是 1984 年 8 月 4 日、1988 年 11 月 3 日、1994 年 6 月 29 日、1997 年 5 月 4 日、2000 年 5 月 4 日、2002 年 7 月 13 日. 太湖多年平均水位  $3.00 - 3.12\text{ m}$ , 而以上 6 次卫星过境时的太湖平均水位分别是  $3.44\text{ m}$ 、 $3.07\text{ m}$ 、 $3.32\text{ m}$ 、 $2.85\text{ m}$ 、 $2.88\text{ m}$ 、 $3.50\text{ m}$ , 基本处于其多年平均水位左右, 用此六期遥感图像能较准确地提取东太湖湖泊边界信息, 真实反映湖泊面积的变化情况.

1984 - 2002 年东太湖的湖泊面积共减少  $249.23\text{ hm}^2$ , 每年减少  $13.85\text{ hm}^2$ , 其中 1984 - 1988 年东太湖

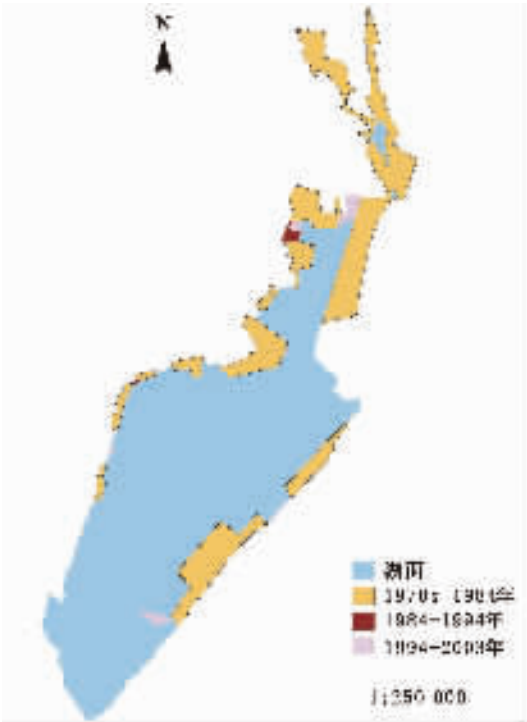


图1 东太湖湖面变化  
Fig. 1 Variation of lake area

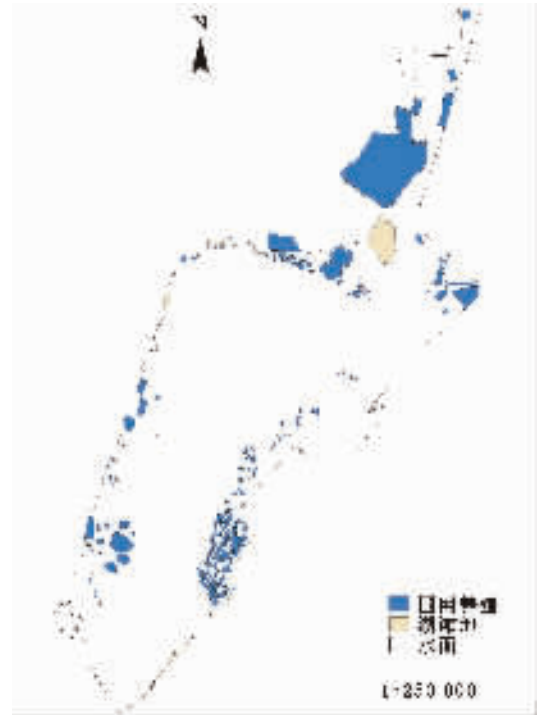


图2 1990年东太湖网围养殖空间分布  
Fig. 2 The spatial distribution of the enclosure culture in East Taihu Lake in East Taihu Lake in 1990

水面减少了 43.78  $\text{hm}^2$ , 1988 - 1994 年减少 4.31  $\text{hm}^2$ , 1994 - 1997 仅三年间就减少了 102.85  $\text{hm}^2$ , 1997 - 2000 年减少了 94.02  $\text{hm}^2$ , 2000 - 2002 年减少了 4.27  $\text{hm}^2$ , 其年均减速分别为: 8.75  $\text{hm}^2/\text{a}$ 、0.62  $\text{hm}^2/\text{a}$ 、25.71  $\text{hm}^2/\text{a}$ 、23.51  $\text{hm}^2/\text{a}$ 、1.42  $\text{hm}^2/\text{a}$ 。在 1984 - 2002 年期间, 1994 - 1997 年是东太湖湖泊水面减速的最快时期, 1997 - 2000 年年减速其次。萎缩的湖泊主要用于围垦养殖。

从空间分布来看, 1984 年以前, 围湖利用主要发生在东太湖东边的吴江市, 1984 年以后, 东太湖湖泊面积的减少主要发生在湖西的苏州横泾镇、渡村镇和东山镇, 吴江市围湖利用的规模和速度小于东太湖西边的苏州市。1984 - 2002 年苏州围湖利用总面积为 180.66  $\text{hm}^2$ , 横泾镇、东山镇、渡村镇分别利用了 165.51  $\text{hm}^2$ 、10.84  $\text{hm}^2$ 、4.31  $\text{hm}^2$ , 其中横泾镇围湖利用的面积占整个苏州的 91.6%。吴江市在此期间围湖利用的面积只有 68.56  $\text{hm}^2$ , 其中庙港镇 55.69  $\text{hm}^2$ , 菀坪镇 12.88  $\text{hm}^2$ 。

### 3.2 东太湖网围养殖的时空变化

东太湖是我国渔业资源开发利用强度最大的湖泊, 网围养殖起始于 1984 年<sup>[5]</sup>。20 世纪 90 年代以后, 受经济利益的驱动, 网围养殖的规模迅速增长。2000 年东太湖网围养殖产量和产值分别达到 5250.3t 和 18619.88 万元, 占整个太湖总产量和总产值的 14.8% 和 57.2%<sup>[4]</sup>。1990 年东太湖网围养殖面积就已经达到 1245.73  $\text{hm}^2$ , 占东太湖总水面的 9.50%; 1995 年是 2498.38  $\text{hm}^2$ , 占总水面的 19.06%, 加上鱼簕的面积 54.41  $\text{hm}^2$ , 占总面积的 19.48%, 比 1990 年增加了 10 个百分点, 年增长速度为 261.4  $\text{hm}^2$ ; 2003 年网围养殖面积 10647.02  $\text{hm}^2$ , 占东太湖总水面的比例竟高达 79.25%, 加上围垦养殖的 294.56  $\text{hm}^2$ , 总面积为 10941.58  $\text{hm}^2$ , 年增长速度为 1010.53  $\text{hm}^2$ 。1995 年以后东湖的网围养殖面积迅速扩大, 1995 - 2003 年网围面积增加的年速率是 1990 - 1995 年期间的 4 倍(图 6)。国务院 1996 年在关于太湖治理规划中明确规定太湖养殖面积不能超过 1667  $\text{hm}^2$ , 而现在仅东太湖的网围养殖面积就达 10647  $\text{hm}^2$ , 大大超出了原有的规定。据研究, 东太湖网围养殖最大允许面积为 25  $\text{km}^2$ <sup>[6]</sup>, 但目前的养殖面积几乎是规定的 4 倍, 属于超密度网围



图3 1995年东太湖网围养殖空间分布  
Fig.3 The Spatial distribution of the enclosure culture in East Taihu Lake in 1995



图4 2003年东太湖网围养殖空间分布  
Fig.4 The Spatial distribution of the enclosure culture in East Taihu Lake in 2003

养殖。

近十几年来,网围养殖的空间分布也发生了很大变化.1990年东太湖网围养殖规模较小,集中分布于东太湖的北部、东南角的太浦河口附近和西南角的茭白港附近.从行政分区看,主要分布于横泾镇、东山镇和庙港镇,网围面积分别为760.34 hm<sup>2</sup>、160.56 hm<sup>2</sup>和152.04 hm<sup>2</sup>;1995年,网围养殖已遍及整个沿岸带,并开始向湖心发展,湖心分布的主要是鱼簰养鱼,其中发展速度较快的区域是菀坪镇、东山镇和庙港镇,5年内分别增长了539.63 hm<sup>2</sup>、460.32 hm<sup>2</sup>、100.76 hm<sup>2</sup>;2003年,网围养殖已布满整个东太湖,并呈现向西太湖扩展的趋势(图4).2002年还是挺水植物芦苇和茭草所覆盖的东茭咀,目前已经都被网围养殖.

### 3.3 网围养殖的对策探讨

随着太湖经济的持续发展,东太湖的渔业功能将不断下降,而作为水源、水利、旅游、生态的综合功能将不断受到重视,保护东太湖的水质环境是发挥其综合功能的第一需要<sup>[8]</sup>.东太湖的水质逐渐恶化,水体营养状态由中-富营养型向中-富-富营养型过渡,并接近富营养状态,淤积层厚度逐步上升,沼泽化趋势明显<sup>[4]</sup>.根据2003航片以及野外考察,东太湖严重沼泽化(挺水水生植物分布)面积为2.1526 km<sup>2</sup>,分布在东太湖湖岸两侧和航道的两侧,轻度沼泽化(浮叶水生植物分布)面积0.3348 km<sup>2</sup>,和90年代相比,东太湖沼泽化范围呈现扩大趋势.

(1)确定东太湖网围养殖规模极值,优化网围养殖结构,积极发展生态渔业.低密度网围养殖是兼顾东太湖渔业资源开发和环境保护的有效方式,但当前的高密度网围养殖将给东太湖的水质、沉积物、水生动植物、沼泽化等产生诸多负面影响<sup>[5]</sup>,确定东太湖合理的网围养殖规模是关键.杨清心等从湖泊生态系统营养平衡的角度提出东太湖网围养鱼最大规模模式<sup>[7]</sup>.

$$EPL + FPL - BR - SR - OFR + a = 0$$

式中,*EPL*为外源源污染,*FPL*为渔业污染,*BR*为生物收获输出,*SR*为沉积输出,*OFR*为泄水输出,*a*为其他输入或输出.不同时期东太湖湖泊的水质、外来污染数量、湖体水生植被状况以及养殖方式、养殖结构和

布局的不同,模型中 *EPL*、*FPL*、*BR*、*SR*、*OFR* 及其 *a* 等参数不同,应有不同的养殖规模. 根据东太湖目前的水质、水生植被、外来污染源等现实情况,确定东太湖网围养殖规模的极值,严格把养殖规模控制在极值之内. 据研究<sup>[1]</sup>,与东太湖小面积高密度网围养鱼相比,网围养蟹具有较高的经济和环境生态效应,适当提高养蟹的比例、优化养殖品种、改善养殖结构,使水产品之间形成一个有机的生态食物链. 围养的氮、磷污染很大一部分以残饵、粪便等悬浮物形态进入水体,因此围养应该多用湖内资源,不投或少投外源性饵料和药物,降低渔业污染,让螃蟹在纯天然的环境中自然生长,优生劣汰,真正实现生态养殖.

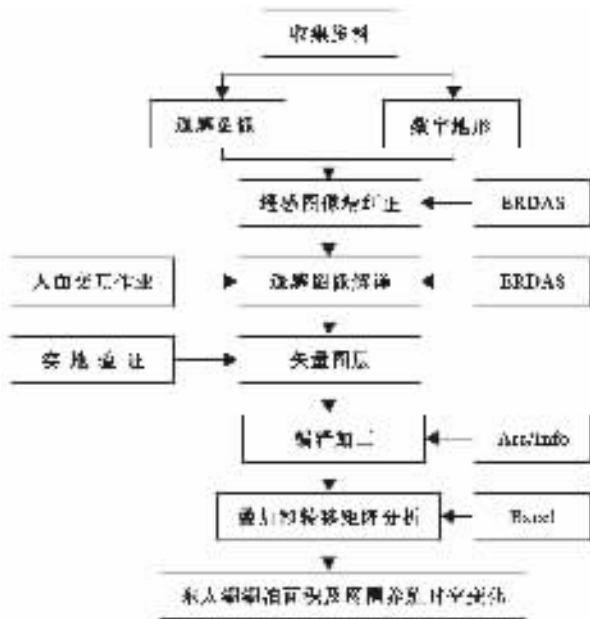


图5 工作流程图

Fig. 5 The flow chart of the study

(2) 利用遥感与 GIS 技术,建立网围养殖管理信息系统,加强养殖区环境的监测与管理. 据有关管理部门统计,东太湖的网围养殖面积只有 7969.52hm<sup>2</sup>,比实际少 2677.5hm<sup>2</sup>,这是人为的虚报、错报造成的. 遥感技术可以获取湖区变化的最新数据,持续、大面积、真实地反映湖区网围养殖情况,应定期地利用高分辨率的航片调查网围养殖的实际情况,及时准确了解其规模和布局. 地理信息系统(GIS)能够存储空间信息和属性信息,其分析模块具有强有力的地学分析功能<sup>[9]</sup>,因此可以利用 GIS 技术建立网围养殖管理信息系统,结合遥感图像,管理和执法部门可实时地查询网围养殖数量、空间布局以及每块网围经营者的身份,从而为行政执法提供可靠的数据基础和执法依据.

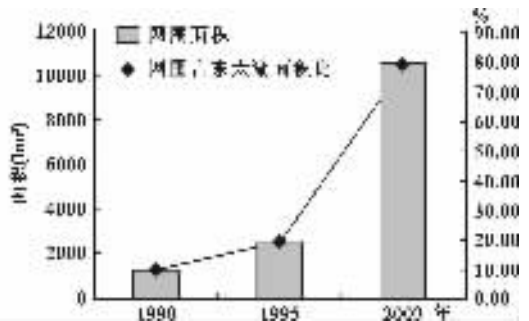


图6 东太湖网围养殖的数量变化

Fig. 6 Numerical variation of the enclosure culture in East Taihu Lake

#### 4 结论

(1) 自 1984 年以来,东太湖湖泊面积持续减小,20 年内共减少 249.23hm<sup>2</sup>,其中 1994 - 2000 年是湖泊消失的快速时期,消失的湖泊主要用于围垦养殖,但湖泊

面积减少的速度与 20 世纪 60 - 70 年代相比减慢. 20 世纪 80 年代以后围湖垦殖空间分布发生变化, 该时期以前湖泊围垦主要发生在湖西的吴江市, 80 年代以后转向湖东的苏州市.

(2) 网围养殖规模逐渐增大, 1990 年东太湖网围养殖面积 1245.73hm<sup>2</sup>, 集中分布于东太湖的北部、东南角的太浦河口附近和西南角的茭白港附近, 2003 年网围养殖面积 10647.02hm<sup>2</sup>, 是 1990 年养殖面积的 8.5 倍, 占据了东太湖水面的 79.25%, 几乎分割并包围了整个湖面, 并呈现向西太湖扩展的趋势, 属于超密度的网围养殖, 必须采取合理的措施控制东太湖网围养殖的盲目发展. 确立东太湖的主导功能、划分功能区, 如养鱼区、养蟹区、旅游风光区、湿地生态保护区等; 建立东太湖网围养殖规模的科学模式, 确定网围养殖的最大规模, 改善养殖结构、提高养殖技术、真正实现生态养殖; 利用现在的 RS 与 GIS 技术, 加强网围养殖的监测与管理, 使东太湖的水资源利用走向可持续发展之路.

#### 4 参考文献

- [1] 吴庆龙, 陈开宁, 胡耀辉等. 东太湖河蟹网围养殖的环境效应. 农业环境保护, 2001, 20(6): 432 - 434, 442.
- [2] 吴林坤. 大水面网围精养对水环境的影响及其对策. 水产养殖, 1999, 1: 20 - 22.
- [3] 中国科学院南京地理湖泊研究所. 太湖流域自然资源地图集. 北京: 科学出版社, 1991.
- [4] 杨再福, 施炜刚, 陈立侨等. 东太湖生态环境的演变与对策. 中国环境科学, 2003, 23(1): 64 - 68.
- [5] 吴庆龙, 胡耀辉, 李文朝等. 东太湖沼泽化发展趋势及驱动因素分析. 环境科学学报, 2000, 20(3): 274 - 279.
- [6] 吴庆龙, 李文朝, 胡耀辉. 东太湖沼泽化防治对策研究. 上海环境科学, 2000, 19(8): 355 - 357.
- [7] 杨清心, 李文朝. 高密度网围养鱼对水生植被的影响及生态对策探讨. 应用生态学报, 1996, 7(1): 83 - 88.
- [8] 谷孝鸿, 王晓蓉. 东太湖渔业发展对水环境的影响及其对策研究. 上海环境科学, 2003, 22(10): 702 - 704, 711.
- [9] 于雪英, 江南. 基于 RS 与 GIS 技术的湖面变化信息提取与分析. 湖泊科学, 2003, 15(1): 81 - 84.

## 大型浅水湖泊富营养化国际研讨会在南京举行

2005 年 4 月 24 日至 26 日, 大型浅水湖泊富营养化国际研讨会在南京顺利召开. 包括国际理论与应用湖沼学会执行副主席 Brian Moss 教授、《Ecological Modelling》主编 S. E. Jørgensen 教授、《Ecological Engineering》主编 Williams Mitsch 教授等来自美、德、奥、丹、荷等 20 余国的代表约 200 人出席了会议. 大会共收到论文 136 篇. 大会邀请了三位教授作了大会主题发言, 分别是刘正文教授(太湖生态环境状况)、Brian Moss 教授(湖泊生态修复的发展现状)和 Williams Mitsch 教授(湿地与浅水湖泊的模拟与管理). 会议按五个主题进行专题交流, 大会报告有: (1) 湖泊物理过程及其生态环境效应: David Hamilton (物理要素对蓝藻水华形成的调节作用); Martin Dokulil 教授(全球气候变化对湖泊影响研究进展); 秦伯强教授(太湖水动力对湖泊生态环境影响). (2) 沉积物及其营养盐的生物地球化学循环: Wayne Gardner 教授(太湖营养盐循环及其微生态环境特征的对比研究); Thomas James 博士(佛罗里达州大型浅水湖泊不同时间尺度上磷的营养动力学). (3) 生态系统对湖泊富营养化的响应: Christian Steinberg 教授(浅水湖泊的富营养化及其蓝藻水华爆发: 人为还是自然过程?); Sven Erik Jørgensen 教授(湖泊生态模拟的方法). (4) 湖泊富营养化的控制与生态修复: Erik Jeppesen 教授(不同气候区湖泊生态系统恢复: 营养盐控制与食物链调控); 李文朝教授(中国的湖泊生态恢复). (5) 资源开发、环境保护与可持续性管理: Alois Herzig 教授(奥地利浅水湖泊 Neusiedler 湖的可持续管理); 杨林章教授(太湖农田氮、磷流失及对太湖地区水环境影响的报告). 会议还安排与会代表参观了位于太湖之滨的中国科学院太湖生态系统研究站及由中国科学院南京地理与湖泊研究所牵头实施的“863”项目太湖梅梁湾水源地水质改善生态工程的试验基地. 会议为中外科学家提供互相交流与学习的机会, 特别是对于我国湖泊富营养化的机理的研究及其富营养化的控制与生态修复等工作, 将起到推动与促进作用.

(秦伯强)