

洪湖湖区土地利用/土地覆盖时空格局研究^{*}

赵淑清^{**} 方精云 唐志尧 朴世龙 (北京大学城市与环境学系和生态学研究教育中心, 北京 100871)

【摘要】 利用 1987、1993 和 1998 年的遥感影像资料, 研究了江汉平原洪湖湖区土地利用/土地覆盖的时空变化。土地覆盖类型分为水体、湖滩植被、洪泛地、农田、裸地和居民地 6 类。运用 GIS(Arc/Info) 软件, 将不同时期的土地利用/土地覆盖格局进行了清晰的空间表达; 通过叠加 3 个不同时段影像分类图, 计算出各种土地利用/土地覆盖类型转变成其他类型的比例。在 1987~1993 年期间, 水体和洪泛地的面积分别增加了 15.54% 和 9.62%, 而 1993~1998 年期间这两种类型的变化较小, 分别为 0.58% 和 3.19%; 农田面积从 1987 年的 577.62 km² 减少到 1998 年的 188.58 km², 减少约 2/3; 在研究期间, 裸地面积没有明显变化; 湖滩植被的面积在 1987~1993 年期间降低 18.60%, 而在 1993~1998 年期间增加 8.47%。土地利用/土地覆盖状况的变化与湖区退田还湖及降雨状况的年际变化有关。

关键词 地理信息系统 洪湖湖区 土地覆盖变化 斑块特征 遥感 时空格局

文章编号 1001-9332(2001)05-0721-05 中图分类号 Q149 文献标识码 A

Spatio-temporal patterns of land use and land cover changes in Honghu Lake Region, Hubei Province China. ZHAO Shuqing, FANG Jingyun, TANG Zhiyao, and PIAO Shilong (Department of Urban and Environmental Science, and Center for Ecological Research and Education, Peking University, Beijing 100871). -Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(5): 721~725.

Land-use and land-cover change can play a pivotal role in studies on environmental changes. The objective of this research was to identify changes in land cover in Honghu Lake Region, Hubei Province, China. These changes were characterized by using Landsat TM satellite imagery for periods 1987, 1993, and 1998 to understand the dynamic of land cover over time. The land coverage was grouped into six types: water body, lake beach vegetation, flood plain, crop land, open land, and settlement. By applying Geographical Information System (GIS), spatial patterns of land cover in different stages were explored. By overlaying three classification maps, the percentage of each type of land cover converted into other categories was computed. The area of water body and flood plain increased by 15.54% and 9.62% respectively from 1987 to 1993, compared with a slight increase between 1993 and 1998 by 0.58% and 3.19% respectively. Crop land area consistently decreased from 577.62 km² in 1987 to 188.58 km² in 1998, whilst no clear difference was shown in the area of open land during this period. The area of beach vegetation decreased by 18.60% for the period 1987~1993 and then increased by 8.47% for the period 1993~1998. These changes observed during this study period may be related to success of restoring natural lake area from forgiving cultivation, as well as impact of inter-annual variation in rainfall characteristics.

Key words GIS, Honghu Lake Region, Land cover change, Patch characteristics, Remote sensing, Spatio-temporal pattern.

1 引言

人类驱动的土地利用和土地覆盖状况的变化是对陆地生态系统影响最大的一种全球变化^[11,25], 在环境变化中起着关键作用^[12,15]。土地覆盖是指土壤和植被系统的结构(如森林、冻原、耕地), 而土地利用类型是指人类社会利用某一种土地覆盖类型的方式(如森林用于木材生产或保护; 耕地可以利用或是弃耕)^[12]。近年来, 许多景观生态学者通过研究景观变化的时空格局来综合了解土地利用的变化^[1,18], 虽然这些变化是自然地理和社会经济因子综合作用的结果^[6], 人类活动是引起区域环境演变的一个重要驱动因子^[29]。在众多的发展中国家, 由于生产力低下, 农业生产的增加仍然无法满足日益增长的人口对于农产品的需求, 而又

几乎没有其他增加收入的方式来减轻他们对于土地的依赖^[24]。因此, 人口压力对于土地承载的负面影响是非常严重的。

我国劳动人民对于湖滩地的开垦利用, 有着悠久的历史^[9,21,27]。长江中游地区, 湖泊众多, 河网交织, 人们完全有可能沿着湖滨地筑坦建圩, 将湖泊的高阜之处挽堤为垸, 湖滩地围垦的根本原因在于人口的增长和随之而产生的对土地的要求^[13]。从长期以来长江中、下游地区通过围垦的方式逐步形成的农业区和商品粮基地这一历史事实也可以看出, 湖滩地围垦对促

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目(G2000046801)和世界自然基金会(WWF)资助项目(CN0079-09)。

^{**} 通讯联系人。

2001-01-15 收稿, 2001-04-01 接受。

进社会发展是有贡献的. 但与自然界的其他事物一样, 湖滩地的围垦也有其两重性, 大规模的围垦使湖泊面积和数量急剧地减少, 加速了湖泊的消亡过程, 降低了湖泊的天然调蓄作用^[3, 19].

素有千湖之称的湖北省, 解放初期有湖泊 1066 个, 据湖北省水利勘测院的统计, 到 1980 年为止, 剩余湖泊 326 个^[29]. 江汉平原是湖北省湖泊集中分布地, 湖泊围垦使其成为国家商品粮、棉和副食品基地. 江汉平原地区的湖泊以洪湖最为著名, 面积亦最大. 洪湖在近代发展过程中日渐缩小, 20 世纪 50 年代、60 年代和 70 年代, 在洪湖周围进行了 3 次较大规模的围湖垦荒活动, 使湖面面积迅速缩小. 由于有湖堤隔阻, 即使在洪水期, 湖水也不能抵达内荆河天然堤, 围垦的结果虽使湖泊面积大大减小, 但也减少了入湖泥沙量. 特别是 1955 年, 在洪湖县的新滩口建闸以后, 使洪湖由一个吞吐型湖泊变为一个半封闭型湖泊^[28].

20 世纪 80 年代中期, 随着改革开放的不断深入, 洪湖湖区的工业和对外贸易有了发展, 当地人们增加自己收入的途径多起来, 这样就减轻了对土地的依赖性, 从而缓解了人口增长对于土地的压力. 同时, 政府和当地的人们也越来越认识到自然保护的重要性. 所以, 从 80 年代末开始人类活动对于土地覆盖的负面影响有所缓减. 本研究除要了解和描述研究区域的景观动态, 更具体的目标有: 1) 了解和确认最近 12 年 (1987~1998) 来研究区土地覆盖类型的时空动态, 2) 将这些变化同社会经济发展和农业政策联系起来.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然条件

洪湖湖区系长江和汉水支流东荆河之间的大型浅水洼地壅塞湖区, 横跨洪湖、监利两个市县, 位于 29°33′~30°17′N, 112°34′~114°08′E, 湖区面积为 2463km² (图 1). 洪湖湖区的基本气候特征为北亚热带湿润季风气候. 由于受季风的影响, 洪湖地区具有光能充足, 降水充沛, 热量丰富, 雨热同季的特点. 本地区年辐射总量为 440~460kJ·cm⁻², 其中 4~11 月总辐射量占全年的 72% 左右; 年均降水量为 1000~1300mm 之间, 且 4~10 月总降水量占全年总降水量的 77%. 由于本地区具泛滥平原的地理特征, 地势低洼, 加之 20 世纪 60 年代中期以后的过度围垦和湖泊沼泽化, 调蓄能力大大降低, 一旦降水量较大, 易造成江河水位上涨, 若流域内雨水不能及时排出, 会造成整个地区严重的洪涝灾害. 洪湖是一个以调蓄为主, 兼具灌溉、渔业、航运、饮水等多种功能的湖泊, 在长江中下游浅水湖泊中具代表意义^[4]. 洪湖湖区是江汉平原重要的商品粮基地.

2.2 研究方法

运用 IDRISI 遥感软件对研究区域的土地覆盖类型进行分

类, 所利用遥感影像的时间分别为 1987 年 9 月 26 日、1993 年 10 月 12 日和 1998 年 10 月 26 日, 合成方式为 3、5、4 三波段假彩色合成. 在遥感解译工作开展之前, 对研究区进行过实地考察. 解译过程中以 1993 年的影像为基准对 1989 年、1998 年的影像进行了位置校准. 最后将洪湖湖区的土地覆盖类型分为 6 类: 水体、湖滩植被、洪泛地、农田、开阔地和居民地 (表 1 和图 2).



图 1 研究区位置示意图
Fig. 1 Location of the study area.

表 1 研究区土地覆盖类型描述
Table 1 Description for land cover categories in the study area

土地覆盖类型 Land cover categories	简单说明 General description
水体 Water body	江、湖、航道以及用于养殖的池塘 Area that includes river, lake, channel and ponds for aquaculture.
湖滩植被 Beach vegetation	主要是湿生植被, 有时零星混生一些天然或人工片林 Wetland vegetation, in some cases mixed with natural and artificial forests and shrubs.
洪泛地 Flood plain	雨季持水量较大, 覆盖有不同大小的石粒和沙粒 Area carrying a large volume of water during rainy season, but covered by sand, gravel and stones at different sizes
农田 Crop land	包括水田、旱地及莲藕种植场 Area allotted to dry fields, paddy fields, and lotus cultivation.
开阔地 Open area	裸地以及房前屋后的空地 Area including barren lands and remaining open area near homesteads.
居民地 Settlement	城区及厂矿 Downtowns and factories.

空间分析是通过 GIS 软件 (IDRISI 和 Arc/ Info) 描述各个时段土地覆盖的景观格局, 了解土地覆盖随时间的变化及其变化率. 对土地覆盖的两个转移变化层 (1987~1993)、1993~1998), 和 3 个基础层 (1987, 1993, 1998) 进行了分析. 其中居民地属于混合象元, 容易误分, 所以对这类土地覆盖类型没有做详细的时空分析.

斑块特征是非常重要的景观结构指数^[5]. 这些不同时段的景观结构指数以及其他景观指数 (如平均斑块大小、斑块密度和平均形状指数) 通过 GIS Arc/ Info3. 5^[16, 25] 软件运算获得. 同时, 某一类土地覆盖类型占所有土地利用类型的百分比也是一个非常重要的指标.

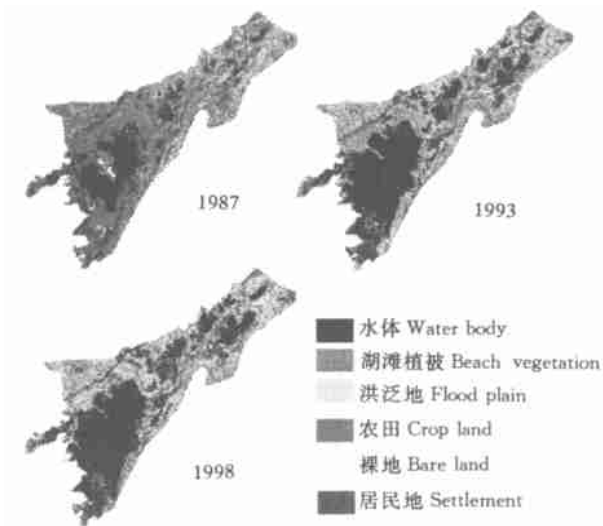


图2 研究区 1987、1993 和 1998 年土地覆盖类型分类图
Fig. 2 Land cover types of the study area in 1987, 1993 and 1998.

平均斑块大小(*MPS*)在景观尺度上可视为生境破碎化指数, 因为一种斑块类型, 如果其平均斑块大小比其他斑块类型更小显然可视为其破碎化程度更高^[10].

$$MPS = \sum_{j=1}^n a_{ij} / n_i (1/10000)$$

这里 a_{ij} 是指第 i 类土地覆盖类型第 j 个斑块的面积(hm^2).

斑块密度(*PD*)与斑块数量的基本作用是相似的, 但其还表明单位面积上斑块的数量. 当所有景观类型的总面积保持不变时, 斑斑密度可视为异质性指数, 因为一种景观类型的斑块密度大显然意味着具有较高的空间异质性.

$$PD = n_i / A$$

这里 n_i 是指第 i 类景观类型的斑块数量, A 是指所有景观类型的斑块总面积(km^2).

平均形状指数(*MSI*)与斑块密度类似, 在景观尺度上也与空间异质相关, 但其主要是斑块形状指数的度量, 反映斑块的平均形状, 即景观类型中所有斑块的平均周长-面积比. 当斑块为圆形或正方形时, 这个指数达到其最小值 1. 随着斑块形状不规则, 这个指数越来越大.

$$MSI = \sum_{j=1}^n (p_{ij} / 2 \sqrt{a_{ij}}) / n_i$$

这里 n_i 是指第 i 类景观类型的斑块数量, p_{ij} 是斑块 ij 的周长(km), a_{ij} 是斑块 ij 的面积(km^2).

不同面积大小斑块的频度分布图同样也是生境破碎化的一个指标. 为了更清晰直观地表明每种土地覆盖类型斑块大小的分布, 可把斑块面积按其所包含的象元数分为 12 级: 1 个象元, 2, 3~4, 5~8, 9~16, 17~32, 33~64, 65~128, 129~256, 257~512, 513~1024 以及 1024 个象元以上. 然后根据 TM 的空间分辨率($30\text{m} \times 30\text{m}$) 将这些斑块面积等级换算为以 hm^2 为单位.

3 结果与讨论

3.1 土地覆盖类型的时空格局

斑块最显著的特征是其面积或大小. 每一斑块的

全部能量(如生物量、营养流等)与斑块面积是成比例的. 斑块大小同样也影响斑块内部与边缘大小的比例^[22]. 1993~1998 年期间水体是占主体的土地覆盖类型, 而且在此期间水体所占面积比例变动也很小, 但是水体的斑块数量在增加, 水体的平均斑块面积在减小, 说明水体这种土地覆盖类型在 1998 年其破碎化程度比 1993 年更高些(图 3). 而 1987 年水体的面积仅为 1993 年的 54%, 1987 年水体面积如此之小可能是源于那年气候的极端干旱. 这样的气候条件使得适于浅水环境的湖滩植被迅速生长, 也使当地农民更可能围湖造田, 从而将原本为水体的地区变为农业用地. 湖滩植被在此期间减少了 18.60% 而在 1993~1998 年却增加了 8.47%, 斑块数量和平均斑块大小随着时间而变动(图 3). 洪泛平原是继水体之后第 2 占优势的土地覆盖类型(图 3). 其面积比例从 1987 年的 17.54% 一直增加到 1998 年的 30.35%, 从 1987~1993 年斑块数量急剧下降, 而平均斑块面积略有增加. 1987 年在面积占有率相对较少的洪泛平原具有如此高的斑块数量可能也是源于那年的干旱. 农田面积比例从 1987 年的 23.45% 一直降低到 1998 年的 7.66%, 这可能意味着农业生产活动的减速弱, 但是农田的斑块数量和平均斑块面积随时间而变动(图 3). 从 1993~1998 年农田面积

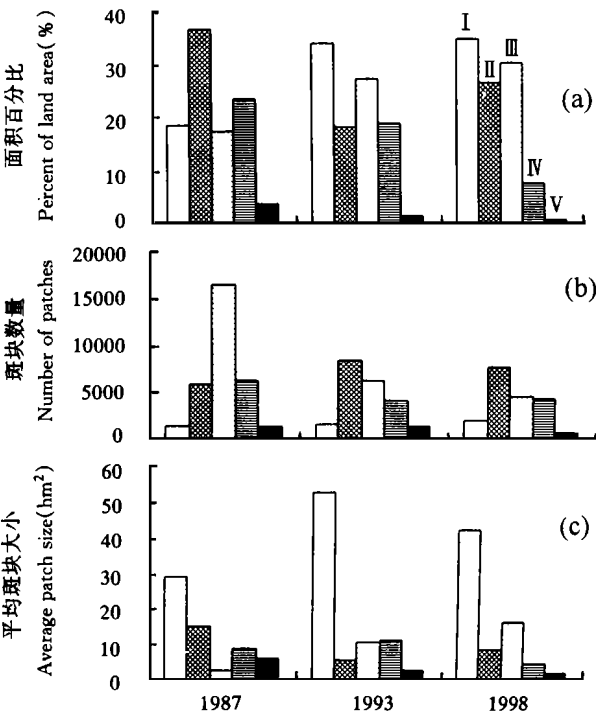


图3 1987~1998 年各土地覆盖类型面积百分比(a)、斑块数量(b)及平均斑块大小(c)

Fig. 3 Area percentage(a), patch number(b), and average patch size(c) for the land use types during the period of 1987~1998.

I. 水体 Water body, II. 湖滩植被 Beach vegetation, III. 洪泛地 Flood plain, IV. 农田 Crop land.

的急剧下降应该这是由于这期间退田还湖的卓有成效,但是 1998 长江特大洪灾使原本是农田的地区被洪水淹没可能也是一个不容忽视的原因. 开阔地占有率从 1987 年的 3.64%变为 1998 年的 0.61%(图 3). 在此期间无论是斑块数量还是平均斑块面积都没有明显变化.

3.2 土地利用类型的转移概率

转移矩阵(表2)同样表明了研究期间的主要动态. 无论在 1987~1993 年期间还是 1993~1998 年期间保留概率最高的是水体, 最低的是开阔地. 在1987

表 2 研究区两个时段(1987~1993)、(1993~1998)土地覆盖转移概率
Table 2 Land cover transition proportion(%) in the study area over time

土地覆盖类型 Land cover	水体 Water body	湖滩植被 Beach vegetation	洪泛平原 Flood plain	农田 Crop land	开阔地 Open area
1987					
水体 Water body	82.84	11.03	3.15	2.98	0.00
湖滩植被 Beach vegetation	29.58	25.60	30.74	13.37	0.71
洪泛平原 Flood plain	7.58	15.53	41.59	31.98	3.32
农田 Crop land	23.30	15.12	30.93	27.74	2.91
开阔地 Open area	30.97	9.73	21.24	34.51	3.55
1993					
水体 Water body	74.38	17.90	5.71	1.90	0.11
湖滩植被 Beach vegetation	27.75	38.92	27.75	4.86	0.72
洪泛平原 Flood plain	10.30	31.38	49.10	8.14	1.08
农田 Crop land	7.77	24.18	48.36	19.00	0.69
开阔地 Open area	1.92	21.15	57.69	17.31	1.93

表 3 不同时段主要土地覆盖类型的景观指数状况
Table 3 Landscape indices for main land use type over time

	面积 Area(km ²)	斑块密度 Patch density	平均形状指数 Mean shape index
水体 Water body			
1987	457.48	0.64	2.68
1993	840.35	0.65	2.58
1998	854.06	0.83	2.68
湖滩植被 Beach vegetation			
1987	903.47	2.43	1.78
1993	445.27	3.39	1.96
1998	653.64	3.12	2.15
洪泛平原 Flood plain			
1987	432.13	6.68	2.00
1993	668.97	2.59	1.81
1998	747.26	1.85	1.66
农田 Crop land			
1987	577.62	2.55	2.48
1993	463.62	1.69	2.36
1998	188.58	1.79	2.80
开阔地 Open area			
1987	89.78	0.61	3.58
1993	41.38	0.58	3.16
1998	14.81	0.33	2.97

~1993 年期间转移概率最高的是从开阔地变为农田,而在 1993~1998 年期间转移率最高的是从开阔地到洪泛平原, 转移百分比分别为 34.51%和 57.69%.

3.3 其他景观指数的时空动态

斑块密度是指某一类型所有斑块的平均密度^[23]. 许多研究表明, 斑块形状也是一个非常重要的生态变量^[8]. 野生生物的生境条件与斑块形状密切相关^[14]. 通过斑块内部面积和外部面积的比例可以评价斑块形状的重要性^[7]. 从表3可见, 在研究期间斑块密度和平均形状指数是随时间波动的, 而洪泛平原和开阔地两种土地覆盖类型的斑块密度和平均形状指数是下降的

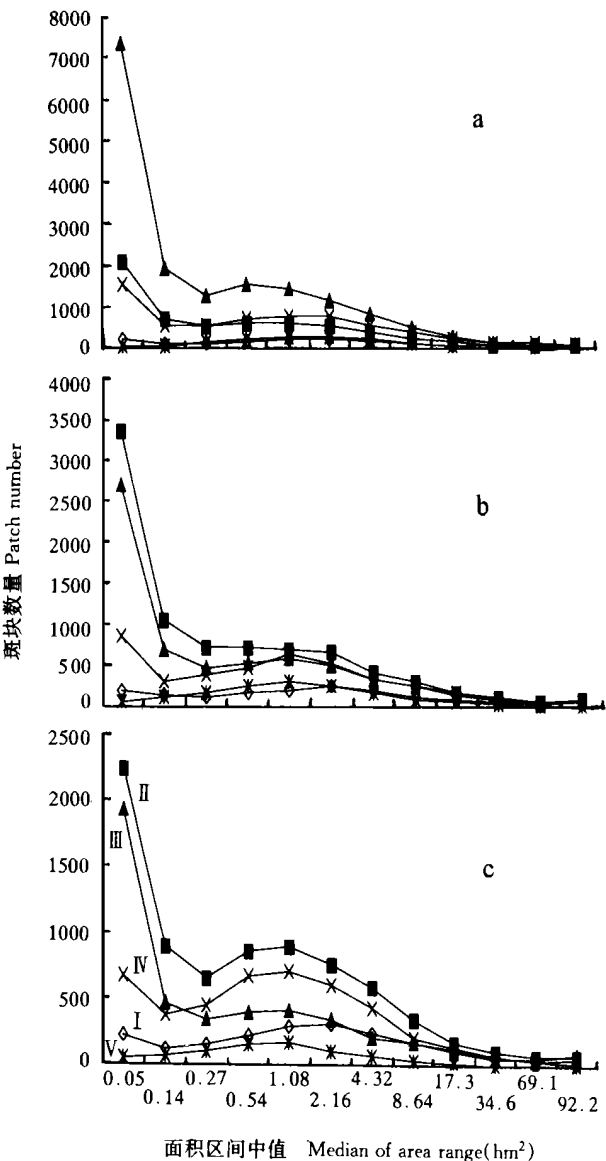


图 4 不同时段 1987(a)、1993(b)和 1998(c)土地覆盖类型频度分布
Fig. 4 Frequency distribution of main land cover types for period of 1987 (a), 1993(b) and 1998(c).
I. 水体 Water body, II. 湖滩植被 Beach vegetation, III. 洪泛地 Flood plain, IV. 农田 Crop land, V. 裸地 Bare land.

(表 3), 这意味着这两种土地覆盖类型的空间异质性从 1987 ~ 1998 年在下降, 斑块形状越来越规则. 在研究期间, 水体和开阔地的斑块密度最低, 农田次之.

3.4 不同时段土地覆盖类型斑块大小频度分布

除了作为生境异质性的指标外, 斑块面积的频度分布是土地覆盖类型及其变化的综合反映. 1987、1993 和 1998 年 3 个时段的土地覆盖频度分布曲线与其他景观指数所反映的趋势基本一致, 但是频度分布图将这种变化在时空上表达更为清晰(图 4).

4 结 语

研究结果表明, 土地覆盖的时空变化并不是随机的. 许多研究表明, 这些变化是自然地理和社会经济等因子综合作用的结果^[17, 20]. 事实上, 人类活动在土地覆盖的变化过程中是个非常重要的因子^[29]. 蔡述明等^[2, 3]曾经研究过江汉平原四湖地区湖泊发展历史及湿地转变为农田和水产养殖对湖泊自然功能的影响, 报道了洪湖湖区土地覆盖变化的比例和格局, 认为由于围湖造田而引起洪湖蓄水能力的下降直接导致近年来地区洪灾的频繁, 也增加了大江航道的压力. 从 1987 ~ 1998 年农田和开阔地的面积在减少, 相应的水体和洪泛平原的面积在增加, 这样的趋势是有益于湿地恢复的. 但是我们的研究只是基于 3 个时段的遥感影像, 不能断言这期间所有土地覆盖的变化方向都是一致的, 然而, 3 期遥感分类图的综合分析确实表明在 1987 ~ 1993 期间很多农田转变为洪泛平原, 1993 ~ 1998 年大量农田转变为水体. 这可能是近 10 多年来退田还湖、湿地恢复的成效, 年际间的降水状况差异也是一个重要因素.

参考文献

- 1 Baban SMJ, Luke C. 2000. Mapping agricultural land use using retrospective ground referenced data, satellite sensor imagery and GIS. *Int J Remote Sens*, **21**(8): 1757 ~ 1762
- 2 Cai S-M(蔡述明) et al. 1993. The wetland resource of the Sihua area and its exploitation. *J Resou Environ Yangtze Valley* (长江流域资源与环境), **12**: 137 ~ 141(in Chinese)
- 3 Cai S-M(蔡述明) et al. 1992. Flooding waterlogging and the formation of swamps in the middle reach of the Yangtze River and possible countermeasures. Beijing: Geohazards and Mitigation Science Press. 37 ~ 42(in Chinese)
- 4 Chen Y-Y(陈宜瑜), Xu Y-G(许蕴珩) eds. 1995. Hydrobiology and resources exploitation in Honghu Lake. Beijing: Science Press. 3 ~ 12 (in Chinese)
- 5 Forman TTR, Gordon M. 1986. Landscape Ecology. New York: John Wiley and Sons.
- 6 Forman TTR. 1995. Land Mosaic: the Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge New York: Cambridge University Press.

- 7 Gordon B. 1991. Seasonal and annual carbon fluxes in a boreal forest landscape. *J Geophys Res*, **96**(D9): 17329 ~ 17338
- 8 Grime M. 1980. Best shape for nature reserves. *Nature*, **186**: 630 ~ 632
- 9 Heilig GK. 1997. Anthropogenic factors in land-use change in China. *Popul Devel Rev*, **23**(1): 139 ~ 168
- 10 Hietala-Koivu R. 1999. Agricultural landscape change: a case study in Yläne southwest Finland. *Landscape and Urban Planning*, **46**: 103 ~ 108
- 11 Imbemon J. 1999. Pattern and development of land use changes in the Kenyan highlands since the 1950s. *Agric Ecos Environ*, **76**(1): 67 ~ 73
- 12 International Geosphere-Biosphere Programme. 1995. Land-use and land-cover change. Science/ research plan. IGBP, Stockholm. 131 pp.
- 13 Liu JK. 1984. Lakes of the middle and lower basins of the Changjiang (China). In: Taub FB ed. Lakes and Reservoirs. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. 331 ~ 355
- 14 Marcot BG, Meretsky VJ. 1983. Shaping stands to enhance habitat diversity. *J For*, **81**: 527 ~ 528
- 15 Meyer WB, Turner BL eds. 1994. Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective. Cambridge: Cambridge University Press.
- 16 O' Neill RV, Krummel JR, Grdner RH, Sugihara GH. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecol*, **1**: 153 ~ 162
- 17 Pan DY, Doman G, de Blois S, Bouchard A. 1999. Temporal (1958 ~ 1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecol*, **14**: 35 ~ 52
- 18 Ramankutty N, Foley JA. 1999. Estimating historical changes in land cover: North American croplands from 1850 to 1992. *Global Ecol Biogeogr*, **8**: 381 ~ 396
- 19 Randall JFB, Cai SM, Chen SJ, Mitsch WJ. 1998. Ecological engineering strategies to reduce flooding damage to wetland crops in central China. *Ecol Eng*, **11**: 231 ~ 259
- 20 Reid RS, Kruska RL, Muthui N et al. 2000. Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: the case of southwestern Ethiopia. *Landscape Ecol*, **15**(4): 339 ~ 355
- 21 Shi C-X(施成熙). 1989. A General Outline of Chinese Lake. Beijing: Science Press. 214 ~ 231(in Chinese)
- 22 Shirish AR, Roy PS. 1997. Satellite remote sensing for ecological analysis of forested landscape. *Plant Ecol*, **131**: 129 ~ 141
- 23 Slatkin M. 1974. Competition and regional coexistence. *Ecology*, **55**: 128 ~ 134
- 24 Tekle K, Hedlund L. 2000. Land cover changes between 1958 and 1986 in Kaki District, Southern Wello, Ethiopia. *Mount Res Devel*, **20**(1): 42 ~ 51
- 25 Turner MG. 1990. Landscape changes in nine rural counties in Georgia. *Photogram Eng Remote Sensing*, **56**(3): 379 ~ 386
- 26 Wang H-D(王洪道). 1987. Water resources of lakes in China. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- 27 Youtai Y. 1987. Agricultural history over seven thousand years. In: Wittwer S, Youtai Y, Han S eds. Feeding a billion: Frontiers of Chinese Agriculture. Michigan: Western Michigan State University Press.
- 28 Yu L-Z(俞立中), Xu Y(许羽), Cai S-M(蔡述明) et al. 1993. A GIS-based study on the recent environmental change in Honghu Lake (in Chinese). *J Lake Sci* (湖泊科学), **15**: 350 ~ 357
- 29 Zonneveld IS. 1995. Land Ecology. Amsterdam: SPB Academic Publishing.

作者简介 赵淑清, 女, 1972 年生, 在读博士生, 主要从事湿地和生态遥感方面的研究工作, 已发表论文 5 篇. E-mail: sqzhao@urban.pku.edu.cn