

基于数字遥感图像的艾比湖绿洲近 30 年动态变化研究

王伯超^{1,2}, 塔西甫拉提·特依拜^{1,2}, 张飞^{1,2}, 何祺胜^{1,2}, 丁建丽^{1,2,3}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学

绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学 理论经济学博士后流动站, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 艾比湖绿洲位于新疆北部古尔班通古特沙漠西缘, 天山北坡绿洲带(新疆最重要的经济带)上游, 是新疆重要的农业区和棉花基地。采用 1972 年 MSS, 1990 和 2001 年 TM 和 ETM 遥感影像为数据源, 对其进行目视判读, 以人机交互方式进行分类得出其分类图和土地利用转移矩阵, 并分析了艾比湖绿洲近 30 a 绿洲动态变化情况。结果表明, 1972—2001 年的近 30 a 期间, 艾比湖绿洲在外观特征和分布上均有显著变化, 面积也有明显扩张。尤其是 1990—2001 年的 11 a 间, 绿洲变化更为显著。同时, 艾比湖绿洲面积扩大的同时面临着原有的自然生态平衡被打破, 荒漠化和绿洲化的冲突加剧等一系列生态环境问题。

关键词: 遥感; 艾比湖绿洲; LUCC; 动态变化

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)02—0107—05

中图分类号: P208, S157

A Study on Change of the Ebinur Lake Oasis in Recent Thirty Years Based on Digital RS Images

WANG Bo-chao^{1,2}, Tashpolat·Tiyip^{1,2}, ZHANG Fei^{1,2}, HE Qi-sheng^{1,2}, DING Jian-li^{1,2,3}

(1. College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;

2. Key Laboratory of the Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;

3. Post Doctoral Laboratory of Theoretical Economics, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

Abstract: The Ebinur Lake Oasis is located in the north of Xinjiang Wei Autonomous Region, the west of Gurbantonggut desert. It is one of the most important agricultural regions and cotton bases in Xinjiang. Based on visual interpretation of MSS, TM and ETM digital images in 1972, 1990 and 2001, a classification map and a landuse conversion matrix are obtained by human-machine interaction classification, and dynamic change of the oasis in recent 30 years is studied. The result shows that both appearance characters and distribution area of the oasis have changed greatly, and the oasis area has been enlarged. Especially during the 11 years from 1990 to 2001, the oasis changed much more obviously than previous time. With the expansion of oasis, it has been also confronted with some ecological and environmental problems at the same time, i. e., the balance of primary nature is destroyed, and the confliction between desertification and oasis is protruded more obviously.

Keywords: remote sensing; the Ebinur Lake Oasis; LUCC; dynamic change

绿洲是在干旱气候条件下形成的以荒漠为基质, 河流、水渠以及道路为基本的廊道, 绿洲和湖泊为主要斑块的具有较高第一性生产力的非地带性景观类型^[1]。作为干旱、半干旱地区的一种独特的生态单元, 绿洲是维系干旱地区人类生存、活动与发展的基本场所。其形成、演变过程受自然和人为因素的影响。自然因素变化影响范围广泛, 时间较为缓慢, 人类活动影响虽然是局部地区, 但其作用更迅速、更深刻。人类通过改善灌溉系统、熟化土壤、栽培作物, 营造林木, 使绿洲扩大。同时为了满足人口增长以及经济发展的需求, 人们不合理利用自然资源, 造成土地

盐渍化、沙漠化, 引起绿洲退化。因此, 监测绿洲的动态变化以及合理、协调、持续地发展绿洲对当今全球, 特别是干旱地区具有重大理论与现实意义^[2-3]。

遥感作为一种新兴技术手段, 以其大范围的同步观测、短周期、低成本、信息量大、能反映动态变化, 受地面条件限制少, 手段丰富、收益大等优点, 愈来愈广泛的应用于地学研究中。在大范围的土地覆盖变化研究中, 卫星遥感图像得到了广泛应用。将数字遥感图像技术用于绿洲变化研究更具有很大优势。

本文主要以多时相遥感数字图像为数据源, 参考社会经济统计资料, 借助遥感图像处理分析软件 EN-

收稿日期: 2006-09-14

资助项目: 国家自然科学基金项目(40261006); 新疆自治区高校科研计划项目(XJ EDU2004I06, XJ EDU2005I07); 教育厅创新研究群体基金项目(XJ EDU2004G04)

作者简介: 王伯超(1980—), 男(汉族), 新疆乌鲁木齐市人, 硕士生, 主要从事遥感技术的理论和应用研究。E-mail: wboy_super@sina.com。

VI4.0,以艾比湖绿洲为研究对象,定量分析评价艾比湖绿洲 1972—2001 年动态变化情况。

1 研究区概况

艾比湖绿洲位于北疆绿洲区西部的博尔塔拉河谷地和艾比湖盆地,北依阿拉套山和巴尔鲁克山,南至别珍套山和科古琴山,是一个近东西走向的狭长谷地与椭圆形盆地的复合体,其东部(即艾比湖洼地)是准噶尔西部山地与天山山地的分界。

研究区包括艾比湖沿岸的博乐、精河 2 个绿洲,地处艾比湖流域的中部偏西,总面积约 6 512.63 km² (包括艾比湖),夏季降水稀少,冬季异常干燥寒冷,年平均气温 6.6 ~ 7.8,多年平均降水量 116.0 ~ 169.2 mm,生态环境十分脆弱。研究区行政上包括博尔塔拉蒙古自治州的精河县和博乐市部分辖区以及新疆生产建设兵团农五师八十一、八十九、九十、八十四、八十五团场全部以及部分地区。该地区东北部为艾比湖水域,其北部和西南部主要为山地,东部和东南部为干涸湖盆。农业区主要分布在中部的洪积扇下缘和湖滨平原,主要种植棉花、玉米、小麦等作物。在其冲积扇和半固定沙丘上植被覆盖度较低,主要生长野生的骆驼刺、梭梭、芦苇、珍珠柴等耐旱耐盐碱植物^[4-8]。

艾比湖位于天山北部古尔班通古特沙漠西缘,湖形呈椭圆状,是准噶尔盆地西南缘的最低汇水中心。地处中国著名大风口新疆阿拉山口主风口前沿,是新疆准噶尔盆地中最大的湖泊。艾比湖是新疆北部的重要湿地。曾经有 1 300 km² 多的湖面,被伊朗《拉姆萨公约》确定为国际重要湿地。由于开垦土地、兴建水库等各种原因,于 20 世纪 70 年代后迅速萎缩到不足 500 km²,荒漠化严重,成为中国四大沙尘暴策源地之一。

2000 年,新疆在该地成立湿地自然保护区,经过几年的整治,湖区流域生态环境得以有效改善,湖面面积有所扩大,2005 年已接近 1 200 km²,相当于 20 世纪 50 年代初的湖面面积。

2 研究方法

2.1 数据选择

本文采用的图像数据为 1972 年 9 月 21 日成像的 MSS 影像(空间分辨率为 60 m)、1990 年 10 月 5 日成像的 TM 影像以及 2001 年 9 月 25 日成像的 ETM 影像(空间分辨率均为 30 m),已经经过几何和辐射校正、坐标转换等技术处理。统计资料(气象、水文、人口、社会经济等)、以及其它有关矢量图图像、文字等资料。本次研究选取艾比湖绿洲区域进行研究,首先通过目视解译,去除绿洲外围的部分山地及戈壁区,最终所选区域图像位于北纬 44°28′—45°04′,东经 82°00′—83°14′之间。

2.2 遥感影像分类

根据 2006 年野外实地考察的经验,根据样点训练区采用最大似然分类法对上述 3 个时期的遥感影像进行监督分类,实际操作在软件 ENVI 4.0 下进行,最终分类精度均在 99% 以上(见表 1),符合研究所要求的精度。

由于我们所做的分析是以不同时期的 MSS、TM 和 ETM 遥感影像为基础,而且是以绿洲动态变化研究为主,在这种大的范围之内很难对土地利用类型做出较为详细的划分,因此按照研究的需要将土地利用/土地覆盖类型分为水体、绿洲、未利用地。其中未利用地包括:居民点及工矿用地、交通用地、沟壑、盐碱地、裸土地、荒滩、荒坡、滩涂、荒漠、戈壁、冰川、石山、砂砾地及其它未利用土地。

表 1 各时期影像分类混淆矩阵与分类精度统计表

影像类别	1972 年			1990 年			2001 年		
	水体	绿洲	未利用地	水体	绿洲	未利用地	水体	绿洲	未利用地
水体	99.57	0.00	0.00	98.56	0.00	0.87	100.00	0.00	0.00
绿洲	0.00	97.55	0.00	0.16	99.83	0.06	0.00	98.73	0.00
未利用地	0.43	2.45	100.00	1.28	0.17	99.07	0.00	1.27	100.00
Kappa 系数	0.988 6			0.990 5			0.993 4		
总体精度/ %	99.405 9			99.550 0			99.645 1		

3 结果与分析

3.1 LUCC 变化信息提取与绿洲面积变化分析

根据样点训练区进行监督分类,得到 3 个时期的分类图像如图 1 所示。

依据 3 个时期的分类结果,我们做出了各个时期 3 种土地利用类型的像元数及其它所占比例的统计表(详见表 2)。

从表 2 可以看出,3 期遥感影像中水体所占比例依次为 8.825%、8.198% 和 8.219%。由于研究区水

体面积中艾比湖面积在数量上占绝对优势,其它水域面积积极小,相对于艾比湖面积可以忽略不计,而且这

些水体大都属于艾比湖流域的河流或小湖泊,所以表 2 中水体面积可看作是研究区中艾比湖的面积。

表 2 各时期影像分类后像元数及其所占比例统计表

影像类别	1972 年		1990 年		2001 年	
	像元数	所占比例/ %	像元数	所占比例/ %	像元数	所占比例/ %
水体	176 889	8.825	656 842	8.198	658 960	8.219
绿洲	256 418	12.792	1 058 078	13.206	1 561 981	19.481
未利用地	1 571 197	78.383	6 297 317	78.596	5 797 075	72.301
合计	2 004 504	100.000	8 012 237	100.000	8 018 016	100.000

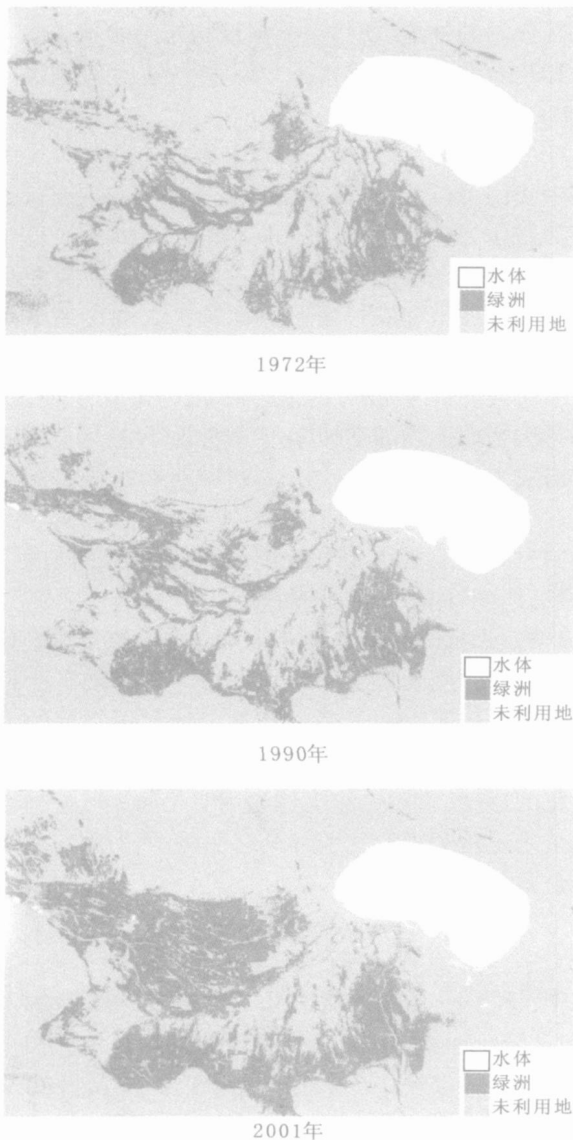


图 1 各时期遥感影像分类图

从表 2 可知,水体总体上呈现出缩减趋势,但 2001 年与 1990 年相比又有小规模扩张。产生这种现象的原因主要是由于艾比湖面积在近 50 多年来经历了迅速缩小、基本稳定、逐步增大 3 个阶段:

1950—1977 年期间,湖水面积由 1 070 km² 迅速缩小到 522 km²,平均每年缩小 20.3 km²。20 世纪 80 年代前期稳定在 500 km²,进入 90 年代水面逐步增大,其中,进入 21 世纪的增长速度最快,从 2000 年 530 km² 上升到 2003 年的 835 km²[19]。

绿洲的面积有明显的加速扩大趋势。从 1972 年的 12.792% 扩大到 1990 年的 13.206%。18 a 间绿洲面积所占扩大了 0.414%,年均扩大 0.023%。而从 1990—2001 年的 11 a 中,绿洲所占比例从 13.206% 增加至 19.481%,增长了 6.275%,年均增长幅度达 0.570%。在绿洲面积加速扩大的同时,未利用地的面积则呈现出加速减少的趋势。

3.1.1 LUCC 转移矩阵分析 按照以上方法得到 3 个时期的分类图像后,在 ENVI4.0 软件下,将 3 个时期的图像按顺序进行叠加,最后统计出水体、绿洲和未利用地之间相互转化的总面积和方向,从而计算出 3 个时期各类土地覆盖类型之间相互转化的面积,依据面积转移矩阵,结合分类图像便可以非常形象地看出 3 个时期土地覆盖类型的空间变化。表 3—5 分别表示 1972—1990 年,1990—2001 年和 1972—2001 年面积转移矩阵。

表 3 艾比湖绿洲 1972—1990 年土地覆盖面积转移矩阵

类别	水体	绿洲	未利用地	总面积 (1990 年)
水体/ km ²	517.796	0.114	56.802	574.712
比率/ %	90.097	0.020	9.884	—
绿洲/ km ²	4.243	513.287	315.572	833.102
比率/ %	0.509	61.612	37.879	—
未利用地/ km ²	11.830	346.990	4 745.999	5 104.819
比率/ %	0.232	6.797	92.971	—

注:上表中行表示的是 k 时期 i 种土地覆盖类型转化为 k+1 时期 j 种土地覆盖类型的面积;列表示的是 k+1 时期转化为 j 种土地覆盖类型的面积;比率表示的是 k 时期 i 种土地覆盖类型转化为 k+1 时期 j 种土地覆盖类型的面积占 k+1 时期对应土地覆盖类型的总面积的百分比。以下同。

表 4 艾比湖绿洲 1990—2001 年土地覆盖面积转移矩阵

类别	水体	绿洲	未利用地	总面积 (2001 年)
水体/ km ²	513.893	1.991	17.636	533.520
比率/ %	96.321	0.373	3.306	—
绿洲/ km ²	0.193	695.621	163.610	859.424
比率/ %	0.022	80.940	19.037	—
未利用地/ km ²	21.152	570.996	4522.848	5114.996
比率/ %	0.414	11.163	88.423	—

表 5 艾比湖绿洲 1972—2001 年土地覆盖面积转移矩阵

类别	水体	绿洲	未利用地	总面积 (2001 年)
水体/ km ²	517.891	0.107	56.715	574.712
比率/ %	90.113	0.019	9.868	—
绿洲/ km ²	0.712	568.133	294.257	833.102
比率/ %	0.082	65.825	34.093	—
未利用地/ km ²	16.632	700.299	4387.888	5104.819
比率/ %	0.326	13.718	85.956	—

依据表 3—5,可以分析 3 个时期各种土地利用类型之间的相互转化数量、过程和趋势,并且分析这种变化的原因。

(1) 从表 3 中可以看出,从 1972—1990 年的 18 a 中,水体、绿洲和未利用地之间的转化均比较明显,其中绿洲面积转移概率达近 40%,其中约有 37.9% 的绿洲转化为未利用地。同时,约 10% 的水体转化为未利用地,6.8% 的未利用地转化为绿洲。从各类型的面积转移比例可以看出,绿洲面积的增加量主要是由未利用地转化而来,而未利用地的增加量也大都来自绿洲。但这并不存在矛盾,转化为绿洲的未利用地主要是由于大规模的水土开发、开荒数量的增加导致农田面积骤增以及大面积的人工造林所致。研究区绿洲面积由 1972 年的 860.39 km² 增长至 1990 年的 1268.61 km²,面积增长达 408.22 km²。大量自然条件相对较好的沟壑、盐碱地、裸土地、荒滩、荒坡、荒漠、戈壁等经过人工开垦、改善灌溉系统和熟化土壤等方式转化为农田、林地、草场等。而未利用地的增加和水体的减少则主要是由于城市规模的扩展、交通事业的发展占用了一定规模的绿洲以及在此期间艾比湖湖面的缩小导致湖周围干涸湖盆以及盐碱地的产生。

(2) 从 1990—2001 年这 11 a 期间,各类土地覆盖类型之间的转化继续保持前一时期的趋势,但是这种趋势已经不如上一时期显著。绿洲转移概率接近 20%,水体转移概率明显下降,而未利用地转化为绿

洲的概率高达 11.2%,11 a 期间的转移概率超过了上一个时期 18 a 的转移概率。主要是由于在此时间段内,艾比湖绿洲区人口的增长,生产力水平的提高和开荒力度的加大导致耕地面积迅速扩大。而在绿洲面积扩大的同时城市规模的扩大和交通事业的发展又占用了部分绿洲,在一定程度上抵消了扩大部分的绿洲面积,但绿洲面积仍有大幅扩展。水体面积在此期间转移概率明显降低,主要原因是艾比湖绿洲此时间段内处于相对稳定期,由于进入 20 世纪 90 年代,人口和耕地增长减缓以及艾比湖综合治理方针的实施和北疆地区降水量的明显增加在一定程度上保证艾比湖的补给,博州主要河流稳定补给地表水 $6.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右和地下水 $1.00 \times 10^8 \text{ m}^3$,使湖面保持在 500 km² 左右^[9]。

(3) 由表 5 的 1972—2001 年 29 a 间的大尺度间隔中我们可以看出:绿洲转移概率为 34% 左右,绝大多数转化为未利用地,极少部分转化为水体。这主要是由于艾比湖绿洲在此期间人口增长和社会经济的发展导致城市和农村居民点面积扩大和交通事业的发展以及由于生态环境的恶化导致局部绿洲退化为荒漠所致。有 9.80% 的水体转化为未利用地,这主要是因为在此期间艾比湖湖面萎缩,大量干涸湖底裸露后成为盐碱地或荒漠。未利用地转移概率相对较低,其中转化为绿洲的部分所占比重最大,为 13.72%,主要是由于艾比湖绿洲地区大规模的水土开发,产生许多人工绿洲所致。

3.1.2 土地利用动态度分析 土地资源数量变化可以用土地利用动态度来表示。土地利用动态度是指研究区内一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化^[10]。土地利用动态度可定量描述区域土地利用变化的速度,它对比较土地利用变化的区域差异和预测未来土地利用变化趋势具有积极的作用^[11]。其计算公式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中: K ——研究时段内某一土地利用类型动态度;
 U_a, U_b ——分别为研究期初及研究期末某一种土地利用类型的数量; T ——研究时段长,本文为 29 a。当 T 的时段设定为年时, K 的值就是该研究区某种土地利用类型年变化率。

从表 6 可以明显的看出,1972—2001 年近 30 a 期间,绿洲的面积变化最为剧烈,其增加值为正且绝对值最大,同时未利用地的增加值为副,其绝对值也较大。而水体的增加值为副,且绝对值较小。这主要是因为 70 年代以来大规模的垦荒,导致人工绿洲面

积大幅增加。水体面积的缩小则主要是因为艾比湖的萎缩。

表 6 1972—2001 年分类面积增幅

项目	水体	绿洲	未利用地
1972 年	53 703.176	83 310.259	510 481.705
2001 年	53 524.078	126 871.962	470 867.309
增加量/ hm^2	- 179.097	43 561.703	- 39 614.396
动态度 $K/\%$	- 0.011	1.184	- 0.290

3.2 绿洲外观特征和分布的变化

从图 1 可以看出,这 3 个典型年代的绿洲具有不同的特点。20 世纪 70 年代初,绿洲主要分布在艾比湖沿岸地势低洼平坦处、天然河道附近和山下平原地带,且受天然河道的控制作用明显,绿洲循天然河道连续分布,愈向下游,这种控制作用愈明显。傍河、湖而生的天然植被,大多分布在地下水位较高的河漫滩、低阶地、湖滨及低洼地,依靠洪水漫溢或地下水维持生命,沿河形成宽窄不一的由乔木、灌木、草组成的绿色植被带。因湖区绿洲受水源和地形影响作用较大,其内部显得支离破碎。宏观上绿洲轮廓基本形成,但非农作物植被所占比例不大,多数绿洲为天然植被,边缘一般为林地或灌木林环绕,天然河道两旁多有草地分布。20 世纪 90 年代初,绿洲的面积在外围和内部均有所扩张,扩张基本受控于人工渠道。外围绿洲的扩张主要表现为渠道旁的荒地大量开垦。同时,绿洲内部大量的沿河道分布和自然条件较好的荒地也被大规模开垦,农作物植被所占比例增大。到 2001 年,大片的绿洲分布完全受控于人工渠道,绿洲面积进一步扩大,内部明显呈整齐的棋盘状结构,很多原先没有植被覆盖的地方已变成绿洲。绿洲外围轮廓清晰明显,内部呈现出大面积绿洲连续分布的情形,人工绿洲所占比例进一步扩大,林草覆盖度有很大程度降低。

3.3 绿洲变化驱动机制分析

艾比湖绿洲的变化首先是受人为因素的影响。近几十年人口的急剧增长,对水土资源的开发规模和强度迅速增长,使原有的自然生态平衡被打破,绿洲生态系统受到严重的干扰,荒漠化和绿洲化的冲突明显加剧,生态环境日益恶化,严重制约着流域国民经济和社会发展,直接威胁着当地各族人民的生活、生存和身体健康^[12]。艾比湖绿洲以农牧业为主。以 1997 年与 1949 年相比,耕地面积由 $1.35 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增至 $1.12 \times 10^5 \text{ hm}^2$,扩大 7.88 倍。粮食作物播种面积 1949—1992 年间由 $1.12 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增至 $4.97 \times 10^4 \text{ hm}^2$,扩大 3.44 倍^[13]。人口的大幅增长和绿洲

农业生产规模的扩大导致大量垦荒,人工绿洲面积不断扩大。同时,大批人工渠道和机井的建设,保证了更多土地得到有效灌溉,不仅使绿洲面积得到有效扩张而且使绿洲的分布和外观特征也发生了变化。但由于人类活动,如垦荒、截流导致了湖面萎缩、地下水位降低,艾比湖沿岸部分绿洲植被严重衰败。由于部分地区天然植被面积减少,盖度降低,在绿洲农业生产规模和面积扩大的同时,土地退化和荒漠化面积也急剧增加,成为绿洲生态系统中突出的特点和矛盾。

其次是受自然因素的影响。由于艾比湖在近几十年来的持续萎缩,导致大量干涸湖底裸露成为盐渍地。再有其西北是著名的风区阿拉山口,土地沙化现象较为严重,植被遭到破坏或覆盖度低的绿洲区域也很容易形成荒漠。进入 20 世纪 90 年代后期,由于北疆地区降水量的增加,艾比湖面积得到了扩张,这又在一定程度上遏制了沙漠化的进程,河岸部分地区还形成了新的小片绿洲。

4 结论

(1) 1972—2001 年间,艾比湖绿洲面积呈显著增加趋势。尤其是 1990—2001 年期间,绿洲扩展速度更快。在外部扩展的同时,绿洲内部许多原先支离破碎的部分变为整齐的块状结构,很多原先没有植被覆盖的地方变成绿洲。

(2) 艾比湖绿洲面积扩大的同时面临一些生态环境问题:艾比湖湖面萎缩导致湖滨地区新的盐渍化、荒漠化土地的形成;乱砍滥伐导致水土流失、风沙肆虐,原有的自然生态平衡被打破,荒漠化和绿洲化的冲突加剧。

(3) 艾比湖绿洲的变化是艾比湖流域环境发生变迁的反映,研究绿洲的变化对研究区域环境变化具有重要意义。

[参 考 文 献]

- [1] 王兮之,葛剑平. 40 多年来塔南策勒绿洲动态变化研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 369—375.
- [2] 塔西甫拉提·特依拜,熊黑刚,丁建丽,等. 干旱区环境演变遥感研究[M]. 新疆:新疆大学出版社, 2001. 109—112.
- [3] 傅小锋. 干旱区绿洲发展与环境协调研究[J]. 中国沙漠, 2000, 20(2): 197—200.
- [4] 苏颖君,张振海,包安明. 艾比湖生态环境恶化及防治对策[J]. 干旱区地理, 2002, 25(2): 143—148.
- [5] 阎顺. 艾比湖及周边地区环境演变与对策[J]. 干旱区资源与环境, 1996, 10(1): 30—37.

(下转第 118 页)

(3) 在对沙漠化的过程进行累加效应分析时,在影响沙漠化的自然因素中,低的年均温和高的年均风速均有助于沙漠化的发展,且二者对沙漠化的累加作用效果均很明显;在影响沙漠化的人为因素中,人口数量对沙漠化的累加效应明显高于牲畜量,且牲畜量和人口数量与沙漠化程度呈现负相关关系,这与以前的研究成果不同^[21]。原因在于以前的研究是基于同一时间的空间尺度的沙漠化过程,人口数量的增加有利于沙漠化的发展,但本文的研究是基于同一空间的时间尺度上的沙漠化演变过程,1987—2003年间,研究区沙漠化出现逆转趋势,但人口数量的不断增加是中国长期以来一个基本国情。

[参 考 文 献]

- [1] 朱震达,刘恕.中国北方沙漠化过程与分区治理[M].北京:中国林业出版社,1981.30—46.
- [2] 王继和,马全林,杨自辉,等.干旱区沙漠化土地逆转植被的时空格局及其机制研究[J].中国沙漠,2004,24(6):729—733.
- [3] 王建,丁永建,刘时银,等.近40年来托木尔峰南部地区气候及水文环境变化特征[J].干旱区资源与环境,2006,20(2):118—123.
- [4] 杨新民.黄土高原灌木林地水分环境特性研究[J].干旱区研究,2001,18(1):8—13.
- [5] 吴薇.近50a来科尔沁地区沙漠化土地的动态监测结果与分析[J].中国沙漠,2003,23(6):646—651.
- [6] 高小红,王一谋,王建华,等.陕北长城沿线地区1986—2000年沙漠化动态变化分析[J].中国沙漠,2005,25(1):63—67.
- [7] 李森,杨萍,王跃,等.阿里高原土地沙漠化发展演变与驱动因素分析[J].中国沙漠,2005,25(6):838—844.
- [8] 徐海量,陈亚宁,李卫红.塔里木河下游环境因子与沙漠化关系多元回归分析[J].干旱区研究,2003,20(1):39—43.
- [9] 吴薇.近50年来毛乌素沙地的沙漠化过程研究[J].中国沙漠,2001,21(2):164—169.
- [10] 银山,包玉海,萨日娜.基于遥感、GIS的内蒙古沙漠和沙质荒漠化研究[J].干旱区资源与环境,2004,18(9):58—62.
- [11] 高小红,王一谋,王建华,等.陕北长城沿线地区1986—2000年沙漠化动态变化分析[J].中国沙漠,2005,25(1):63—67.
- [12] 常学礼,高玉葆.区域沙漠化研究中的沙漠化数量表征[J].中国沙漠,2003,23(2):106—110.
- [13] 赵健,魏成阶,黄丽芳,等.土地利用动态变化的研究方法及其在海南岛的应用[J].地理研究,2001,20(6):723—730.
- [14] 景滨杰.试论回归分析预测法在经济预测中的应用[J].经济理论问题,2005:17—23.
- [15] Hirsch A. Regulatory context for cumulative impact research[J]. Environmental Management, 1988, 15(5):715—724.
- [16] Risser P G. General concepts for measuring cumulative impacts on wetland ecosystem[J]. Environmental Management, 1988, 15(5):585—589.
- [17] Gosselinke L G. Gray P S, Lyndon C L. et al. Landscape conservation in a forested wetland[J]. Bioscience, 1990, 40:588—599.
- [18] 金卫斌,刘章勇.围湖垦殖对湖泊调蓄功能的累加效应分析[J].长江流域资源与环境,2003,12(1):74—77.
- [19] 金卫斌,胡秉民.湖北四湖流域景观结构变化对汛期湖泊水位影响的模拟分析[J].生态学报,2003,23(4):642—648.
- [20] 常学礼,赵学勇,韩珍喜,等.科尔沁沙地自然与人为因素对沙漠化影响的累加效应分析[J].中国沙漠,2005,25(4):466—471.
- [21] 徐小玲,延军平.陕北沙丘人为因素与沙漠化的定量关系研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(5):38—41.
- (上接第111页)
- [6] 李遐龄.艾比湖生态环境综合治理和经济可持续发展的研究[J].干旱区资源与环境,1997,11(2):27—36.
- [7] 杨云良,阎顺,等.艾比湖流域生态环境演变与人类活动关系初探[J].生态学杂志,1996,15(6):43—49.
- [8] 罗名灿.浅谈艾比湖的变迁及景观生态保护[J].新疆农业大学学报,1996,19(3):71—73.
- [9] 高翔,黄宗亮.艾比湖湖面萎缩与流域生态环境恶化之间的关系[J].新疆师范大学学报,2006,25(1):83—86.
- [10] 王思远,刘纪远,张增祥,等.近10年中国土地利用格局及其演变[J].地理学报,2002,57(5):523—530.
- [11] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999,18(1):81—87.
- [12] 张瑞芳,李虎,金海龙,等.新疆艾比湖地区绿洲化与荒漠化的冲突与协调[J].干旱区资源与环境,2006,20(2):44—49.
- [13] 申元村,润久文,伍光和,等.中国绿洲[M].开封:河南大学出版社,2001.297—300.