

受损沙地生态系统景观变化分析 ——以内蒙古浑善达克沙地为例

刘海江 程维明 龙 恩

(中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要 生态系统变化会引起景观结构及格局的改变, 而景观格局及其演化可以作为评价环境变化的指标。为了揭示浑善达克沙地生态系统变化特征, 该文使用陆地卫星(Landsat 5、7)的 TM/ETM⁺ 资料及地面调查数据来分析沙地景观变化特征。通过计算机监督分类, 获得了研究区 1987 和 2000 年景观类型数据, 研究区的景观类型有草地、固定沙地、半固定沙地、流动沙地、灌木林及水体。通过对两期景观数据的基本特征、变化检测及转移矩阵分析发现: 1) 从 1987 到 2000 年, 草原、固定沙地、半固定沙地都在减少, 斑块破碎, 而流动沙地显著增加, 成为主要景观类型, 同时斑块相互联合形成两条流动沙带; 2) 类型转移上, 草原转为沙地, 固定沙地主要转为半固定沙地, 半固定沙地以绝对优势转为流动沙地, 水体转为流动沙地及草原; 3) 变化监测显示, 流动沙地增加面积远远大于减少的面积, 而草原、固定沙地、半固定沙地呈现相反趋势, 变化区域的空间分布也不尽相同。结果表明研究区沙地生态系统已经退化比较严重, 特别是流动沙带的出现, 需要采取积极有效的防治措施, 防止进一步扩大。

关键词 浑善达克沙地 景观格局 沙漠化 变化检测 转移矩阵 遥感 地理信息系统

LANDSCAPE CHANGES IN A DEGRADED SANDY LAND ECOSYSTEM—A CASE STUDY IN THE OTINDAG SANDY LAND, INNER MONGOLIA, CHINA

LIU Hai-Jiang, CHENG Wei-Ming, and LONG En

State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract *Aims* Landscape pattern can indicate ecosystem changes. The Otindag Sandy Land, which is located in the southeastern Inner Mongolia Plateau, has been degraded by overgrazing in the past two decades. The purposes of this study are to 1) analyze spatial-temporal dynamics of landscape pattern, 2) determine whether landscape pattern can be used as an indicator of ecological degradation, and 3) explore underlying ecological processes that triggered alteration of landscape pattern.

Methods Our approach integrated remote sensing and geographic information system (GIS). The basic sources of data were two Landsat TM/ETM⁺ satellite images from 1987 and 2000 and field data collected in summer 2001 and 2002. From the images, we distinguished six landscape types within our study area: grassland, fixed sandy land, semi-fixed sandy land, mobile sandy dune, shrub and water body. We performed a supervised classification procedure to derive landscape maps. Using GIS, we analyzed the resultant landscape maps by change detection analysis and transition matrix analysis.

Important findings Great change occurred at our study area from 1987 to 2000. Total area of grassland, fixed sandy land and semi-fixed sandy land decreased and patch fragmentation increased. Total area of mobile sandy dune increased about 2.5 times and patches expanded and combined into two sand belts. Change detection showed the same tendencies. Transition of landscape types included grassland converted mainly to sandy land, fixed sandy land transformed into semi-fixed sandy land and semi-fixed sandy land changed mainly to active sandy land. The ecosystem in this region seriously degraded from 1987 to 2000, and effective measures should be taken to prevent further environmental deterioration.

Key words Otindag Sandy Land, landscape pattern, desertification, change detection, transition matrix, remote sensing, GIS

景观格局与生态过程的相互关系一直是景观生态学研究的核心问题之一(邬建国, 2004), 所谓格局是指景观单元类型及空间配置等特征(邬建国, 2000), 可被看作是生态系统过程在某一特定时刻的“凝固”状态(Wrška *et al.*, 2004)。尽管景观生态学在过去 20 多年里取得了迅猛发展, 在土地覆被变化监测(Griffith *et al.*, 2003)、生态系统监测及模拟(Olsen *et al.*, 2006 ; Dale & Beyeler, 2001)、生态系统的可持续性评价(Fu *et al.*, 2006 ; Peterseil *et al.*, 2004)、自然保护(Bock *et al.*, 2005)等许多方面得到了广泛应用, 而且景观生态的理论与方法在可持续科学研究中也占有重要位置, 对可持续性科学的发展有重要作用(Potschin & Haines-Young, 2006 ; Wu, 2006), 但是关于景观格局与生态系统过程关系的理解还很有限, 在大量的有关生态过程响应景观格局的案例中, 还没有建立起景观格局与生态过程之间的普适关系(Turner, 2005)。在实际操作中, 由于生态系统许多过程难以直接观测, 而景观格局则可以通过专题图或遥感数据获得, 景观生态研究侧重于格局分析, 在格局分析的基础上, 依据植被演替、植被恢复规律或实地监测数据来推断格局背后发生的生态系统过程。

作为中国四大沙地之一的浑善达克沙地, 地处内蒙古高原东南部, 属于半干旱温带季风性气候, 地带性植被为典型草原(杨淑宽等, 1962); 由于近几十年沙区人口剧增及不合理的农牧业生产、管理方式, 沙地植被退化, 沙地生态环境恶化, 沙地景观发生了显著变化, 沙地沙漠化已经对区域环境产生了影响, 甚至被认为是沙尘暴的发源地之一(李青丰等, 2001 ; 王革丽等, 2002 ; 丁国栋等, 2004 ; 王贤等, 2004 ; 刘树林和王涛, 2004 ; Zheng *et al.*, 2006)。该沙地引起世人关注是在 2000 年左右大规模的沙尘暴之后, 相对于其它沙地(科尔沁沙地、毛乌素沙地) 而言, 研究积累相对薄弱, 而关于区域环境变化过程的研究更是有限。在区域环境变化研究中, 遥感是非常理想的手段, 它具有覆盖空间范围大、光谱特征丰富和较好的时效性等特点, 通过不同时相遥感数据的信息提取, 能够对生态系统的时空变化进行定量分析、可视化表达。何晴和吕达仁(2003)使用 1987 ~ 2001 年的陆地卫星(Landsat)专题制图仪(Thematic mapper/enhanced thematic mapper, TM/ETM⁺)数据反演的归一化植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)研究了沙地东部地区的植被及环境变化并分析了降水变化对 NDVI 的影响; 范建友等

(2005)利用 TM/ETM⁺ 反演的植被覆盖度, 研究了同一地区植被 1987 ~ 2000 年的变化。在干旱、半干旱地区, 降水不稳定, 变率大(赵松乔等, 1990), 降水对植被有重要影响, 而植被好坏对 NDVI 和覆盖度又直接相关, 所以在这些地区进行生态环境遥感监测, 仅依靠遥感数据是不充分的。

为了揭示浑善达克沙地生态系统的变化特征, 选取沙地东部正蓝旗及其周边地区作为研究区, 该区域被认为是沙地的腹地。根据景观生态学的原理, 利用遥感和地理信息系统技术手段, 使用 1987 和 2000 年的 TM/ETM⁺ 影像及 2001、2002 年的实地考察数据, 提取出研究区景观类型数据, 通过对两期数据的斑块特征、转移矩阵、变化检测分析, 研究了该区域沙地生态系统在景观尺度的时空变化特征及转化关系, 并对引发景观变化的生态过程进行了探讨。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于浑善达克沙地东部, 行政区划上主要属于正蓝旗(图 1), 被认为是浑善达克沙地的腹地。气候为温带大陆性季风气候, 水热同季, 冬春季节多大风, 地带性植被为典型草原, 地带性土壤为栗钙土, 非地带性土壤有风沙土、草甸土, 地貌结构为丘间平地与缓起伏沙地、沙丘的组合(杨淑宽等, 1962)。沙地植被类型多样, 丘间低地为草原, 优势物种为糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、苔草(*Carex* sp.), 此外还有成片的小红柳(*Salix microstachya* var. *borderensis*)、灌丛; 固定沙丘植被具有坡向分异, 阴坡植被茂密, 由中生灌丛和草本植物组成, 阳坡植被稀疏, 由沙生植物和草本组成, 如小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、黄柳(*Salix gordejvii*)、羊柴(*Leymus mongolicum*)等, 基质稳定, 地表甚至有生物结皮; 半固定沙丘在迎风坡有活动的风蚀坑, 植物难以生长, 沙面裸露, 背风坡、落沙坡经常遭受沙埋, 主要生长一年生植物及沙生灌木黄柳、榆树(*Ulmus pumila*)作为景观植物, 出现在沙丘的坡麓及缓起伏沙地上, 成片状或条带状分布(杨淑宽, 1964 ; 中国科学院内蒙古宁夏综合科考队, 1985 ; 郭柯和刘海江, 2004)。

1.2 遥感数据处理

本文使用的数据为 1987 年 7 月 31 日的 Landsat 5 TM 和 2000 年 7 月 10 日的 Landsat 7 ETM⁺, 轨道

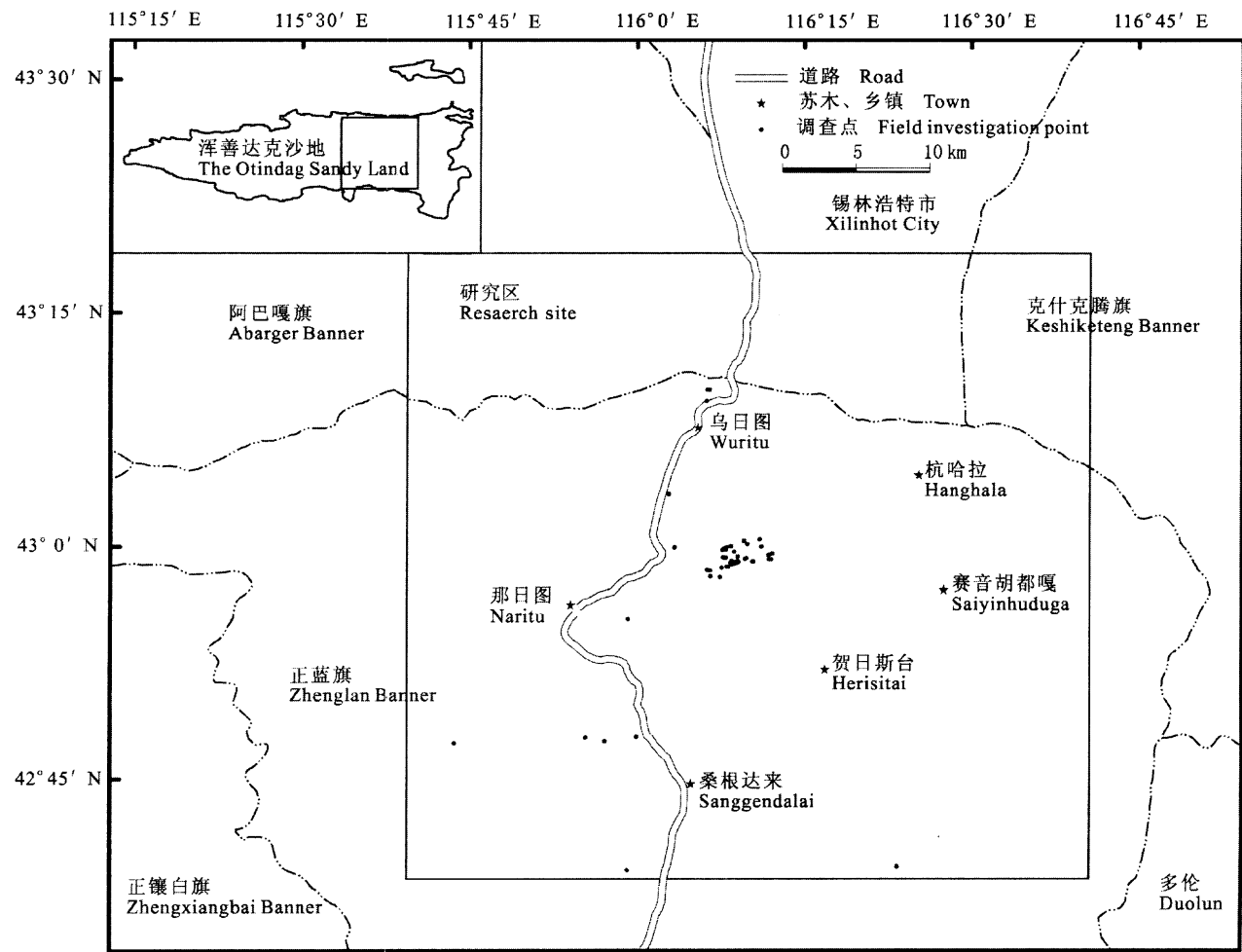


图 1 研究区位置图
Fig.1 The location of study area

号为 p124/r030 ,两期数据质量都比较好 ,2000 年 7 月 10 日的数据局部地区有少量的像雾一样的薄云 ,但在本文研究区范围内是无云的 ,不影响使用。数据已经过辐射校正和几何校正处理 ,重投影为 Albers-Krasovsky 等积割圆锥投影 ,空间分辨率为 30 m ,在 ERDAS Image 8.7 中进行 4、3、2 波段标准假彩色合成。由于研究区只占 p124/r030 的一部分 ,因此把两期影像的沙地部分剪切下来作为本论文的研究区(图 1)。两期数据由于成像时间、太阳高度角及传感器等参数不同 ,像元值存在差异 ,为了消除辐射差异 ,进行了相对辐射校正 ,以 2000 年裁剪的研究区图像为主图像对 1987 年研究区图像进行直方图匹配(Hugenholtz & Wolfe , 2005)。研究区地形起伏不大 ,没有进行地形校正。

1.3 信息提取

沙地是高度异质性的生态系统 ,景观类型的定

义既要考虑植被、地貌特征还要在影像上容易识别 ,类型边界相对明显 ;此外 ,不同景观类型在生产中或生态系统中的作用和功能也要顾及 ,这样得到的结果才会有实际意义 ,避免就景观谈景观 ,景观分析陷入了指数游戏。按照上述原则 ,结合区域调查数据及影像特征 ,定义出 6 种景观类型 :水体、灌木林、草原、固定沙地、半固定沙地、流动沙地(表 1)。

区域考察工作是在 2001、2002 年夏天完成的 ,其中 2001 年夏天对整个浑善达克沙地进行考察 ,走了 6 条南北向的样线 ,每条样线设立若干取样点 ,每个点位使用样带(长度几十米到几百米不等)和样方来调查植被、地貌等特征 ,灌丛植被的样方是 10 m × 10 m ,草本群落为 1 m × 1 m ,每个点记录 GPS 位置 ,共获得 130 个点的资料。2002 年在研究区范围内(主要在正蓝旗)进行进一步调查。两次调查总共获得研究区范围内 55 个样点的数据 ,这些点主要分

表 1 研究区景观类型特征
Table 1 Features of landscape types at study area

景观类型 Landscape types	特征 Feature
水域 Water	沙地中分布的大小湖泊(淖尔) Different sizes of lakes are distributed in the sandy land
灌木林 Shrub	分布在丘间洼地上或河流两岸、湖泊周围 ,建群种为小红柳 This community is dominated by shrub <i>Salix microstachya</i> var. <i>bordensis</i> and mainly distributed on riverside , lakeshore and depression in interdune plain
草原 Grassland	分布于丘间的平沙地上 ,群落物种为典型草原常见种 ,以糙隐子草、冷蒿、苔草、冰草为优势种 ,局部地下水位高的地方 ,生长以西伯利亚剪股颖、鹅绒委陵菜、金戴戴为优势种的草甸 This community is distributed in interdune plain , and the dominate species include <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Agropyron cristatum</i> and <i>Carex</i> sp. , which are the common species occurring in typical grassland community. Another community occurs in the area with high water level , which is just like meadow. Preponderant species are <i>Agrostis sibirica</i> , <i>Potentilla anserina</i> and <i>Halerpestes ruthenica</i>
固定沙地 Fixed sandy land	包括缓起伏沙地和沙丘 ,都有茂密的植被覆盖 ,有些地方地表有结皮 This landscape includes two landforms. One is gently waved sandland and the other is sand dunes. All of them are covered by flourishing vegetation. Soil crust generates in some places
半固定沙地 Semi-fixed sandy land	包括缓起伏沙地和沙丘 ,物种主要为沙生及一年生物种 ,群落结构尚未形成 ,基质不稳定 This landscape includes two landforms. One is gently waved sandland and the other is sand dune. The species are mainly psammophyte and annual plants , and community structure does not exist
流动沙地 Mobile sandy dune	植被稀疏 ,基质裸露 ,物种主要为一年生先锋物种 This landscape is characterized by very sparse annual pioneer plants and mobile sand substrate

布在 207 国道周围(图 1)。在 ArcGIS9.0 中 ,样点的 GPS 位置转成点图层 ,与研究区影像叠加 ,然后根据每点的植被、地貌特征来确定该点属于哪种景观类型。55 个样点中灌木林有 5 个、草地 6 个、固定沙地 6 个、半固定沙地 11 个、流动沙地 27 个。它们在影像上具有不同的纹理及色调 ,水体为蓝色 ,几乎在任何影像上都是最容易识别的类型 ;灌木林呈均匀的鲜红色斑块 ,分布在河泛地、湖泊周围及丘间平原低洼地上 ,河泛地、湖盆周围的灌木林为条带状 ,丘间平原为斑块状 ,草原为均匀的青兰色斑块 ,分布在丘间平原上 ,地势平缓 ,植被良好 ,是当地的夏季牧场或打草场 ;固定沙地呈暗红色 ,阴坡茂密的灌丛在影像上表现为短的红线 ,色调与灌木林相似 ,但宽度仅为 1~2 个像元 ,长度不足 10 个像元 ,固定沙地一般作为冬季牧场 ,夏天围封 ,禁止牲畜啃食 ;半固定沙地介于固定沙地和流动沙地之间 ,像元特征也具有流沙和固定沙地的性质 ,呈淡红色 ,还夹杂一些其它景观类型的像元 ,多分布在流动边缘 ,流动沙地植被稀疏 ,沙基质的高反射率使其在影像上呈现亮白色斑块 ,边界明显 ,几乎丧失生物生产力 ,生态系统功能几乎完全丧失 ,植被自然恢复困难 ,需要人工措施辅助。

根据各景观类型的影像特征 ,在 ERDAS Image 8.7 中选择训练区进行监督分类 ,并随机选取 200 个点进行精度评价 ,参考数据使用调查资料及该地区 1:10 万地形图 ,经精度评价 ,两期分类图像的总

体分类精度分别达到 78%和 83%。分类中 ,固定沙地阴坡灌丛由于与平沙地的灌木林相似而被分为灌木林 ,还有些像元被分为半固定沙地或流动沙地 ,在半固定沙地中也有类似情况 ,但由于斑块很小 ,经分类后处理过程(聚类 and 消除)处理后 ,都可以消除。

1.4 数据分析

监督分类得到的两期数据由栅格格式转为矢量 ,存储为 ArcGIS9.0 的 Personal Geodatabase 数据格式 ,然后把草原、固定沙地、半固定沙地、流动沙地 4 种优势景观类型分别提取出来 ,转为 30 m 分辨率的二值栅格(GRID) ,在 ArcGIS9.0 中使用地图代数以 2000 年的 GRID 减去 1987 年的 GRID ,生成景观变化监测图。景观转移矩阵及转移概率的计算按照朱会义和李秀彬(2003)及吴晓莆等(2006)方法。数据的统计分析使用 SPSS12.0 软件。

2 实验结果

2.1 景观格局特征

研究区景观类型在 1987~2000 年发生不同程度的变化(表 2)。6 种景观类型中流动沙地变化最显著 ,面积增加 692.41 km² ,约扩展了 2.5 倍 ,年均增加 53.26 km² ;灌木林增加 88.20 km² ,增幅为 1.76% ;草原、固定沙地、半固定沙地分别减少 150.92、387.98 和 241.21 km² ,百分比下降了 3.02%、7.75%和 4.81% ,年均减少 11.61、29.84 和 18.55 km² ;水域没有明显变化。

表 2 研究区 1987 和 2000 年景观格局
Table 2 Landscape pattern at study area in 1987 and 2000

景观类型 Landscape types	时间 Time	斑块数 No. of patches	平均斑块面积 Mean patch area (km ²)	标准偏差 SD	总面积 Total area (km ²)	百分比 Percentage (%)
水域 Water	1987	19	2.04	2.98	38.74	0.77
	2000	22	1.76	2.05	38.66	0.77
灌木林 Shrub	1987	99	1.42	2.21	140.37	2.80
	2000	178	1.28	3.16	228.57	4.56
草原 Grassland	1987	491	3.59	14.50	1 762.40	35.16
	2000	435	3.70	22.46	1 611.48	32.14
固定沙地 Fixed sandy land	1987	124	10.60	52.15	1 314.68	26.23
	2000	263	3.52	12.17	926.70	18.48
半固定沙地 Semi-fixed sandy land	1987	149	9.86	37.42	1 468.97	29.30
	2000	370	3.32	14.93	1 227.76	24.49
流动沙地 Mobile sandy dune	1987	101	2.85	4.94	287.69	5.74
	2000	81	12.10	45.58	980.10	19.55

SD : Standard deviation

研究区优势景观类型也发生变化(表 2),1987 年的优势景观类型为草原、固定沙地和半固定沙地,它们的面积占研究区总面积的 90.79%;而到 2000 年,优势景观类型变为草原、固定沙地、半固定沙地和流动沙地,所占比例达到 94.37%。

固定沙地、半固定沙地的斑块数量增加,斑块平均面积减小,标准差降低,特别是固定沙地,说明固定沙地和半固定沙地的斑块变得更均匀也更破碎;流动沙地斑块数减少,斑块平均面积显著增大,标准差更是增大了约 10 倍,表明流动沙地既有特大图斑也有小图斑,面积差异很大,在 2000 年的分类图上,流动沙地形成明显的两条沙带(图 2);草原斑块数量减少,斑块平均面积轻微增加,标准差增幅明显;水域和灌木林的斑块平均面积和标准差没有显著变化,只是斑块数量有所增加,这两种类型相对稳定(表 2)。

2.2 景观类型间的转移

尽管表 2 反映了研究区各景观类型从 1987 到 2000 年的格局及变化特征,但未能反映景观类型之间的相互转化关系,不明确景观类型增加的面积是从哪里来的,减少的面积又到哪里去,而且这种转化关系对于分析景观变化的特点及探讨生态过程很有帮助。土地利用研究中使用的转移矩阵分析方法可以描述土地利用变化的结构特征及变化方向,对单一土地利用类型而言可以分析其变化方向及变化百分比(朱会义和李秀彬,2003),此方法也可用于景观类型之间的转化关系分析。通过转移矩阵分析发现草原、固定沙地、半固定沙地有一半左右的面积发生转移,水域、灌木林和流动沙地发生转移的比例较

低(表 3)。草原 43.96%的面积发生转移,主要变为固定沙地、半固定沙地和流动沙地,转移比例为 16.00%、14.76%和 10.70%。固定沙地有 57.98%发生转移,主要变为草原和半固定沙地,转移百分比达到 27.5%和 24.7%;半固定沙地 57.62%的面积发生转移,35.51%转为流动沙地,15.76%转为草原。水域主要转为流动沙地和草原,转移百分数分别为 9.26%和 8.77%。灌丛主要转为草原,达到 10.05%。流动沙地主要变为草原(4.68%,13.68 km²)和半固定沙地(6.75%,19.42 km²)。

2.3 景观类型空间变化检测

为了揭示各景观类型的变化在空间上的分布特征,生成草原、固定沙地、半固定沙地和流动沙地 4 种优势景观类型变化检测图。图 3 中 a、b、c、d 分别为流动沙地、半固定沙地、固定沙地和草原的空间变化,流动沙地(图 3a)的变化区域(增加和减少)呈规则图形,形成两条弧形带,且增加的面积远远大于减少的,在 1987 年的基础上不断扩大;草原、固定沙地、半固定沙地(图 3b、3c、3d)增加的面积小于减少的面积,减少的区域分布于整个研究区,不像流沙那样集中在某些区域。增加区域的空间分布有所不同,固定沙地(图 3c)在西北角有成片的增加区域;半固定沙地(图 3b)在研究区北部边缘和南部有增加;草原(图 3d)增加的面积主要在研究区中部。

3 结论与讨论

虽然目前对于景观格局与生态过程相互关系的研究还没有完全实现,但斑块动态分析可能是将景观格局与生态过程紧密结合的中心环节(邬建国,

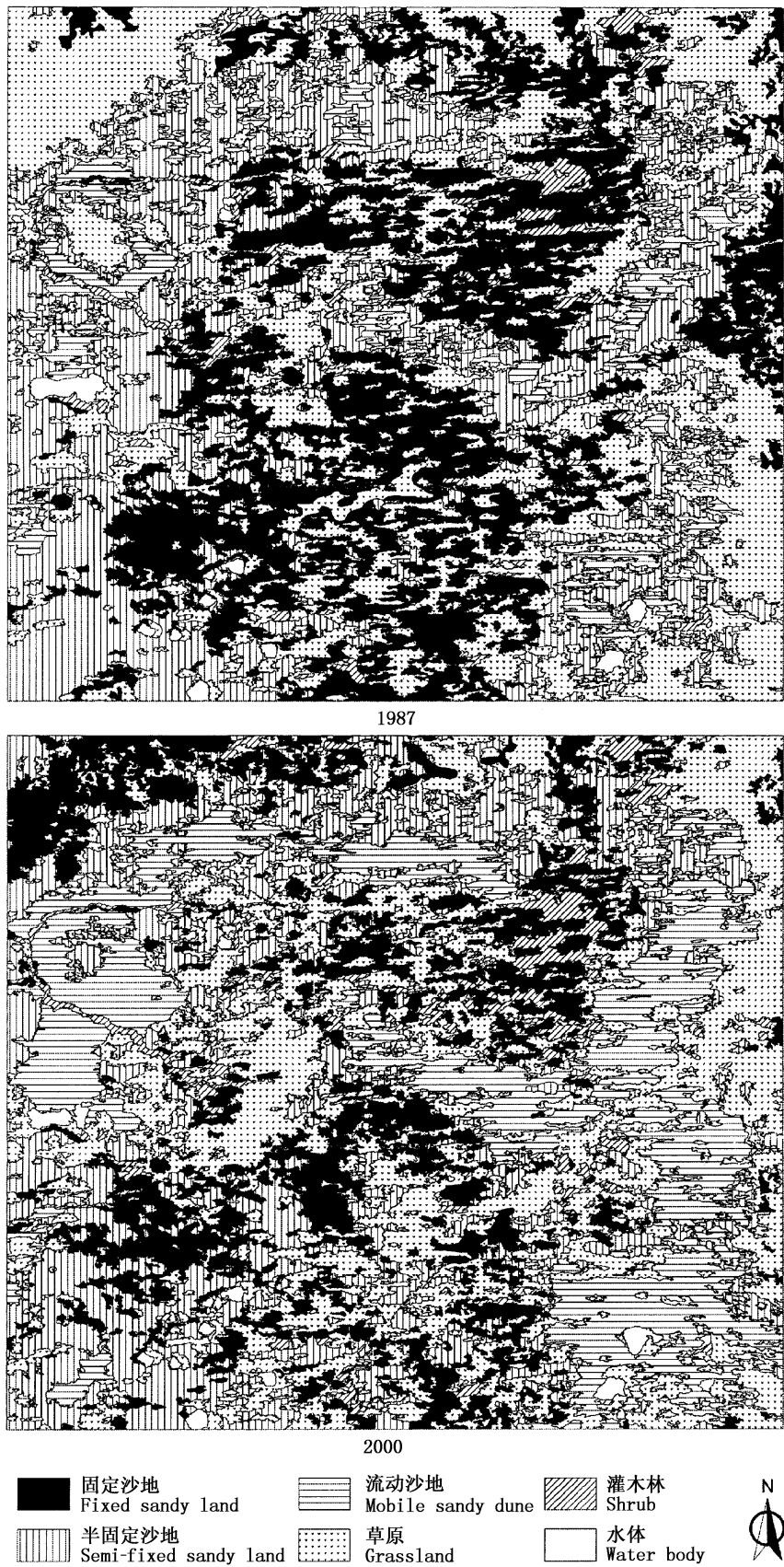


图 2 研究区 1987 和 2000 年景观监督分类图
Fig.2 Supervised classification maps of landscape types at study area in 1987 and 2000

表 3 研究区 1987 到 2000 年景观类型的转移面积(km²)和转移百分比
Table 3 The transition area (km²) and percentage among landscape types at study area from 1987 to 2000

1987	2000					
	水域 Water	灌木林 Shrub	草原 Grassland	固定沙地 Fixed sandy land	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	流动沙地 Mobile sandy dune
水域	30.88	0.60	3.41	0.14	0.21	3.60
Water	79.50%	1.55%	8.77%	0.37%	0.55%	9.26%
灌木林	3.90	113.11	14.09	6.45	0.99	1.66
Shrub	2.78%	80.68%	10.05%	4.60%	0.71%	1.18%
草原	1.40	42.66	989.23	282.45	260.61	199.95
Grassland	0.08%	2.42%	56.04%	16.00%	14.76%	10.70%
固定沙地	0.42	63.32	362.14	553.37	325.26	12.26
Fixed sandy land	0.03%	4.81%	27.50%	42.02%	24.70%	0.93%
半固定沙地	1.25	7.13	231.90	84.95	623.61	522.49
Semi-fixed sandy land	0.09%	0.48%	15.76%	5.77%	42.38%	35.51%
流动沙地	0.87	1.45	13.48	0.84	19.42	251.75
Mobile sandy dune	0.30%	0.50%	4.68%	0.29%	6.75%	87.47%

2004) ,所以基于景观斑块的格局分析对于认识生态系统的过程很有帮助 ,尤其是在沙地这种特殊生态系统中。本文结果显示研究区生态系统从 1987 到 2000 年发生明显变化。1)流动沙地显著增加 ,成为主要景观类型 ,并且形成两条流动沙带 ,草原、固定沙地、半固定沙地面积减少 ,斑块破碎化严重 2)景观类型转移主要朝着环境退化方向 ,草原转为沙地 ,固定沙地变为半固定沙地 ,半固定沙地变为流动沙地 3)景观类型的空间变化上 ,流动沙地的增加区域呈带状分布 ,增加面积远远大于减少面积 ,草原、固定沙地、半固定沙地增加面积小于减少面积 ,减少的区域分布在整个研究区 ,而增加区域则集中在研究区不同的地方。

沙地环境的退化不是一朝一夕的事情 ,是多种因素耦合形成的 ,沙地生态系统退化有其自身的演变规律(朱震达和陈广庭 ,1994) ,景观类型的变化及类型间的转化关系可以揭示这种变化。水域转为草原和流动沙地 ,草原转为沙地 ,固定沙地转为半固定沙地 ,半固定沙地转为流动沙地 ,而流动沙地向其它类型的转化比例却非常低(表 3)。水域作为牲畜饮水点 ,牧民也逐水而居 ,湖泊周围干扰及牲畜践踏严重 ,植物难以生长 ,原有植被破坏 ,沙基质在强劲风力作用下活化形成流动沙地 ;此外 ,沙地水资源过度利用 ,会造成地下水位下降 ,湖面萎缩 ,湖盆转变为草原 ,通过影像对比发现研究区大部分湖泊水面有不同程度的萎缩 ,甚至有些已经消失。草原变为沙地有两种方式 ,一是外源式的 ,就是平沙地草原周围的流沙在风力作用下入侵 ,掩埋草原植被 ,原来的物

种由于不耐沙埋而死亡 ,群落变成以沙生植物及一年生植物为主 ,在某些局部地区 ,流沙会转为固定、半固定沙地 ,研究表明 ,流动沙地经过两年围封就会变成半固定沙地 ,经过 5 年围封就会固定(刘美珍等 2004) ;另一种是内源式的 ,草原由于开垦、过牧、开辟道路等造成植被破坏 ,沙质土壤裸露 ,在强劲风力作用下发生风蚀沙化 ,形成风蚀洼地、片状流沙及灌丛沙堆 ,规模不断扩大形成流动沙地景观。固定沙地的植被遭到破坏后 ,向半固定沙地转变 ,而半固定沙地会进一步退化为流动沙地。流动沙地以点-面-带模式不断扩展(图 2 ,图 3) ,在干旱、半干旱气候下冬春季节的大风 ,对地表造成强烈的风蚀 ,很容易形成风蚀缺口 ,特别当植被退化严重时 ,沙基质活化是必然的 ,就形成了流沙斑块 ,如果没有人工辅助措施 ,仅依靠自然植物的生长不可能在短时间内 (年) 得到恢复 ,所以就会一年比一年扩大 ,形成大片流沙 ,而相邻斑块联合形成流沙带。流沙在平缓地形上(丘间低地) 扩展较快 ,沙丘上由于地形对风沙流的影响流沙扩展相对慢一些(丁国栋等 2004)。

在研究区沙地环境整体恶化的同时 ,局部地区也在好转(图 3) ,比如流动沙地转为半固定沙地、固定沙地 ,半固定沙地转为固定沙地 ,固定沙地、半固定沙地及流动沙地转为草原 ,特别是固定沙地有相当大面积转为草原(表 3)。为了研究方便 ,文章中的固定沙地、半固定沙地及流动沙地既包括高大的沙丘也包括缓起伏沙地(高度较小、坡度平缓的沙丘)(表 1)。缓起伏沙地植被的坡向分异不明显 ,群落物种主要由沙生灌木如小叶锦鸡儿、褐沙蒿

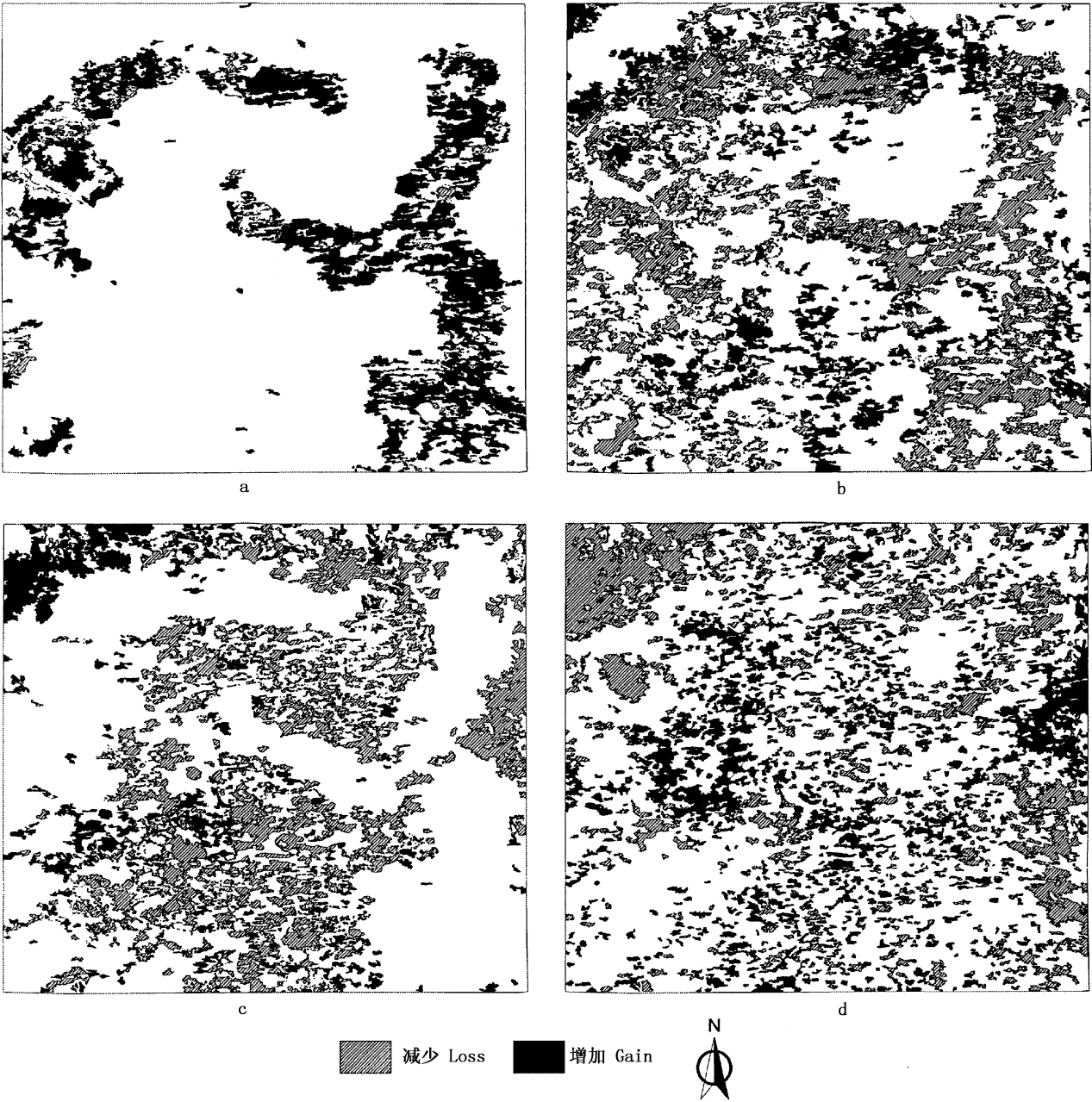


图 3 研究区 4 种主要景观类型 1987 ~ 2000 年间的空间变化

Fig.3 Spatial changes of four dominant landscape types from 1987 to 2000 at study area

a 为流动沙地 , b 为半固定沙地 , c 为固定沙地 , d 为草原 a , b , c and d represent active sandy land , semi-fixed sandy land , fixed sandy land and grassland , respectively

(*Artemisia intramongolica*) 及草本组成。缓起伏的流动、半固定、固定沙地能够发生自然演替,会朝着气候顶级群落发展即典型草原,在演替过程中灌木物种由于土壤水分状况的恶化会退出植物群落,植被向地带性草原发展,最终形成地带性草原景观(郭柯等 2000)。固定沙地在该地区主要用作冬季牧场,夏季围封严禁牲畜啃食,这就使得植物群落休养生息并进行自然演替,所以会有比较大的面积转变为草原。

虽然本文没有分析整个浑善达克沙地的环境变化过程及特征,但通过典型区域的景观特征分析,在一定程度上也体现了整个沙地的环境变化特点。造成沙地生态系统退化的原因是多方面的。要想控制这一趋势,是一项系统工程,涉及到当地生产方式的改变,单单依靠生态恢复效果是不理想的。

参 考 文 献

Bock M, Rossner G, Wissen M, Remm K, Langanke T, Lang S,

- Klug H, Blaschke T, Vrščaj B (2005). Spatial indicators for nature conservation from European to local scale. *Ecological Indicators*, 5, 322 – 338.
- Dale VH, Beyeler SC (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 1, 3 – 10.
- Ding GD (丁国栋), Cai JY (蔡京艳), Wang X (王贤), Dong Z (董智), Fan JY (范建友), Chen PP (陈平平) (2004). Causes, process and countermeasures of desertification in Hunshandake Sandland: taking Zhenglan Banner, Inner Mongolia as an example. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 26(4), 15 – 19. (in Chinese with English abstract)
- Fan JY (范建友), Ding GD (丁国栋), Guan BY (关博源), Wang X (王贤), Li SY (李素艳), Yang TT (杨婷婷) (2005). Monitoring remote sensing of dynamic change of vegetation coverage in Zhenglan Banner. *Science of Soil and Water Conservation* (中国水土保持科学), 3(4), 54 – 59. (in Chinese with English abstract)
- Fu BJ, Hu CH, Chen LD, Honnay O, Gulinck H (2006). Evaluating change in agricultural landscape pattern between 1980 and 2000 in the Loess hilly region of Ansai County, China. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 114, 387 – 396.
- Griffith RK, Stehman SV, Loveland TR (2003). Landscape trends in mid-Atlantic and southeastern U.S. ecoregions. *Environmental Management*, 32, 572 – 588.
- Guo K (郭柯), Dong XJ (董学军), Liu ZM (刘志茂) (2000). Characteristics of soil moisture content on sand dunes in Mu Us Sandy grassland: why *Artemisia ordosica* declines on old fixed sand dunes. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 24, 275 – 279. (in Chinese with English abstract)
- Guo K (郭柯), Liu HJ (刘海江) (2004). A comparative researches in the development of seedlings in four habitats in the Hunshandak Sandland, Inner Mongolia, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 24, 2024 – 2028. (in Chinese with English abstract)
- He Q (何晴), Lü DR (吕达仁) (2003). Monitoring vegetation cover change in east Hunshandake Sandy Land with Landsat TM and ETM⁺ and its possible causes. *Remote Sensing Technology and Application* (遥感技术与应用), 18, 353 – 359. (in Chinese with English abstract)
- Hugenholtz CH, Wolfe SA (2005). Recent stabilization of active sand dunes on the Canadian prairies and relation to recent climate variations. *Geomorphology*, 68, 121 – 147.
- Li QF (李青丰), Hu CY (胡春元), Wang MJ (王明玖) (2001). Analysis on the causes of eco-environmental deterioration in Hunshandake Sandy Land region and countermeasures. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 15, 9 – 16. (in Chinese with English abstract)
- Liu SL (刘树林), Wang T (王涛) (2004). Primary study on sandy desertification in Otindag Sandy Land and its surrounding regions. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 18, 99 – 103. (in Chinese with English abstract)
- Liu MZ (刘美珍), Jiang GM (蒋高明), Yu SL (于顺利), Li YG (李永庚), Gao LM (高雷明), Niu SL (牛书丽), Jiang CD (姜闯道), Peng Y (彭羽) (2004). Dynamics of plant community traits during an 18-year natural restoration in the degraded sandy grassland of Hunshandak Sandland. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 24, 1734 – 1740. (in Chinese with English abstract)
- Olsen LM, Dale VH, Foster T (2007). Landscape pattern as indicators of ecological change at Fort Benning, Georgia, USA. *Landscape and Urban Planning*, 79, 137 – 149.
- Peterseil J, Wrba T, Plutzer C, Schmitzberger I, Kiss A, Szerecsits E, Reiter K, Schneider W, Suppan F, Beissmann H (2004). Evaluating the ecological sustainability of Austrian agricultural landscapes—the SINUS approach. *Land Use Policy*, 21, 307 – 320.
- Potschin M, Haines-Young R (2006). “Rio + 10”, sustainability science and landscape ecology. *Landscape and Urban Planning*, 75, 162 – 174.
- Turner MG (2005). Landscape ecology: what is the state of the science? *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 36, 319 – 344.
- United Scientific Exploration Team of Inner Mongolia and Ningxia, Chinese Academy of Sciences (中国科学院内蒙古宁夏综合科考队) (1985). *Vegetation of Inner Mongolia* (内蒙古植被). Science Press, Beijing, 766. (in Chinese)
- Wang X (王贤), Ding GD (丁国栋), Cai JY (蔡京艳), Chen PP (陈平平), Fan JY (范建友), Li SY (李素艳) (2004). Causes and comprehensive control measures of desertification in Hunshandake Sand Land. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 18, 147 – 150. (in Chinese with English abstract)
- Wang GL (王革丽), Lü DR (吕达仁), You L (尤莉) (2002). Analyses of climatic characteristics on Hunshandake dust storm. *Climatic and Environmental Research* (气候与环境研究), 7, 433 – 439. (in Chinese with English abstract)
- Wrba T, Erb KH, Schulz NB, Peterseil J, Hahn C, Haberl H (2004). Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators. *Land Use Policy*, 21, 289 – 306.
- Wu JG (邬建国) (2000). *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy* (景观生态学——格局、过程、尺度与等

级). Higher Education Press, Beijing, 11. (in Chinese)

Wu JG (邬建国) (2004). The key research topics in landscape ecology. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 24, 2074 – 2076. (in Chinese with English abstract)

Wu JG (2006). Landscape ecology, cross-disciplinarity, and sustainability science. *Landscape Ecology*, 21, 1 – 4.

Wu XP (吴晓莆), Tang ZY (唐志尧), Cui HT (崔海亭), Fang JY (方精云) (2006). Land cover dynamics of different topographic conditions in Beijing. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version) (formerly *Acta Phytocologica Sinica*) (植物生态学报), 30, 239 – 251. (in Chinese with English abstract)

Yang SK (杨淑宽), Chen JS (陈静生), Guo XM (郭蓄民) (1962). Exploration of Xiaotenggeli Sandy Land. In: Sand Controlling Team of Chinese Academy of Sciences (中国科学院治沙队) ed. *Sand Controlling* (治沙研究). Science Press, Beijing, 3, 144 – 151. (in Chinese)

Yang SK (杨淑宽) (1964). The vegetation of Xiaotenggeli Sandy Land in Inner Mongolia. *Geographical Research* (地理研究), 8, 32 – 46. (in Chinese)

Zhao SQ (赵松乔), Yang LP (杨利普), Yang QY (杨勤业) (1990). *The Arid Region of China* (中国的干旱区). Science Press, Beijing, 38. (in Chinese)

Zheng YR, Xue ZX, Robert C, Jiang LH, Shimizu H (2006). Did climate drive ecosystem change and induce desertification in Otindag Sandy Land, China over the past 40 years? *Journal of Arid Environments*, 64, 523 – 541.

Zhu ZD (朱震达), Chen GT (陈广庭) (1994). *Sandy Desertification in China* (中国土地沙质荒漠化). Science Press, Beijing, 20. (in Chinese)

Zhu HY (朱会义), Li XB (李秀彬) (2003). Discussion on the index method of regional land use change. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 58, 643 – 650. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 张金屯 责任编辑: 张丽赫