

基于遥感的景观格局时空动态研究

孟京辉^{1,2}, 陆元昌¹, CHRISTOPH Kleinn², 刘宪钊¹

(1. 中国林业科学研究院 资源信息研究所, 北京 100091; 2. 哥廷根大学 林业与生态学院, 德国 哥廷根 37073)

摘要:基于试验区域 1990 年 TM 影像和 2002 年 ETM+ 影像, 采用遥感和地理信息系统相结合的技术方法, 应用景观分析软件 Fragstats3.3, 对试验区域 12 a 来景观变化进行了动态研究。结果表明: 12 a 间, 试验区域景观发生巨大变化。(1) 1990~2002 年间, 森林面积大幅度减少, 其他植被、裸地、建设用地、水域面积得到了增加, 其中建设用地相对自身增幅最大, 年平均增长率为 20.9%。(2) 两时期的景观基质均为森林, 其他植被、裸地、建设用地、水域作为斑块单元镶嵌其中, 5 种景观类型相互之间转化频繁, 森林主要转化为其他植被和裸地; 同时其他植被、裸地也有大部分转化为森林, 其原因是人工林的建立, 转化后的景观森林的主导优势已不明显。(3) 总体景观的破碎度呈增加趋势, 但不同景观类型的破碎化指数的变化则表现不同, 森林和水域表现出下降趋势, 而其他植被、裸地、建设用地的景观破碎化指数则呈上升趋势, 景观向无序状态发展。

关键词:景观变化; 景观类型; 景观破碎度

中图分类号:S771.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2010)01-0207-05

Spatial and Temporal Dynamics of Landscape Based on Remote Sensing

MENG Jing-hui¹, LU Yuan-chang¹, CHRISTOPH Kleinn², LIU Xian-zhao¹

(1. Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China;

2. Faculty of Forest Science and Ecology, University of Goettingen, Goettingen 37073, Germany)

Abstract:Based on the remote sensing images of TM in 1990 and ETM+ in 2002, transition of landscape components and the changes of landscape patterns have been studied in research area from 1985 to 2002 using GIS RS and Fragstats 3.3. The results showed that during the 13 years, great change has happened. (1) Forestland had greatly decreased, and on the contrary, other vegetation, bare land, building land, water area had increased. Amongst, building land had the biggest increasing rate of 20.9% per year. (2) Forestland had been dominating landscape pattern inlaid by bare land, other vegetation, water area, building land. The transition among the five landscape types was very frequent and forestland was mainly transformed into other vegetation and bare land. At the same time, due to the establishment of plantation, other vegetation and bare land had also been transformed into forests. (3) Overall landscape fragmentation index increased but for different landscape types it was quite different: forestland and water body decreased, other vegetation, bare land and building land increased, indicating the trend toward instability.

Key words:landscape change; landscape type; landscape fragmentation

景观动态变化指景观结构、功能、空间格局随时间的变化情况^[1]。通过对景观格局的分析, 有助于分析景观组成单元的形状、大小、数量和空间组合; 有助于对宏观区域生态环境状况评价及发展趋势分

析; 同时也有助于探索自然因素与人类活动对景观格局及动态过程的影响, 从而为研究区的生态环境状况评价及发展趋势分析提供十分有效的手段, 为区域生态规划和建设提供科学依据^[1-3]。

收稿日期: 2009-02-12 修回日期: 2009-03-15

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划“森林资源综合监测指标与技术体系研究”(2006BAD23B01); 北京市科委重大科技项目“北京山区森林健康经营技术体系研究”(D0706001000091)

作者简介: 孟京辉, 男, 在读博士生, 从事森林抽样调查与遥感应用研究。

试验区域位于印度尼西亚中亚其省,由于长时间天然林的非法采伐、缺乏计划的土地利用方式、人口城镇化进程的加剧,该区域生态环境遭到巨大破坏。但是迄今为止,对于中亚其省景观变化的系统研究仍然是空白。本文综合运用遥感和地理信息系统相结合的技术方法,结合景观空间格局分析软件Fragstates3.3,对中亚其省 12 a 来的景观变化进行了较为全面分析,从而为当地可持续发展提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

中亚其是亚齐省的一个行政区位于印度尼西亚苏门答腊岛西北,区域范围为 $4^{\circ}10'\sim 4^{\circ}58'N$, $96^{\circ}18'\sim 96^{\circ}22'E$,管辖 14 个下级行政区,总面积 $400\,275.88\text{ hm}^2$ 。北接 Bener Meriah 地区,南抵 Gayo Luwes 地区,东西分别与东亚其、Nagan Raya 地区接壤。该地区大部分位于山地区域,海拔高度介于 200 m 到 3 600 m 之间。著名的 Laut Tawar 湖坐落于该地区的中上部。

1.2 数据来源与数据处理

使用数据包括:(1)1990 年 TM 和 2002 年 ETM+ 两期假彩色合成的数字图像,成像时间分别为 1990 年 3 月中旬和 2002 年 9 月上旬。(2)当地土地利用类型的地理信息系统数据库。(4)行政区划图、地形图、林相图等专业用图。(3)地类控制点野外调查数据。(4)其他的关于当地社会、经济、文化等信息的调查数据。

在上述数据的基础上,运用遥感图像处理软件 Erdas 9.2 对两期的遥感影像进行坐标变化、几何校正、影像增强等数据预处理工作。通过统计分析和相关性分析,2 期影像的最佳波段组合为 TM 5 (R) 4 (G) 3 (B) 和 ETM+ 5 (R) 4 (G) 3 (B) 假彩色合成方案。采取监督分类,并在 ArcGIS9.0 工作平台之上进行人工交互解译,最终得到研究区域的两期景观分类图。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用景观类型的划分 根据研究目的以及研究区域的特点,试验区分为 7 个土地利用类型:1)裸地景观,主要是指由于人为或自然原因导致的没有植被覆盖的土壤直接暴露的地段;2)林地景观,包括天然林、天然次生林和人工林;3)其他植被景观,主要植生物量较小的植被类型,例如草地、灌木林地,菜地,咖啡林地等。该类最能反映人类对生态系统的影响;4)水域景观,主要指湖泊、河流、池塘

等人工或天然水体。5)建设用地景观,包括居民建筑、公路设施、工矿企业等。

1.3.2 分类精度的评价 分类精度分析直接影响到结果的真实性和实用性^[4]。本文采用混淆矩阵法,通过在景观分类图中验证不同地类的一系列的现地抽样点,即地面控制点,来实现分类精度评价。分别计算总体精度、生产者精度、用户精度。分类的结果一般要求其精度要达到 75% 以上,否则就要重新修改分类模版再次进行分类^[5]。

1.3.3 景观类型间转化的空间分布 为了更形象、更直观地表示 12 a 间景观类型的相互转换。运用 ArcGIS9.0 中的 IDENTITY 命令将 1990 年和 2002 年两期景观类型图叠加,计算获得研究区 1990 年 2002 年不同地类之间转移矩阵(表 3)。景观类型的变化剧烈程度可以用景观类型转移概率来描述,在景观类型转移矩阵的基础上,建立景观类型转移概率矩阵^[6-8],公式为:

$$D_{ij} = \sum_{i,j}^n \left[\frac{dS_{i-j}}{S_i} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中: S_i 为 1990 年第 i 类景观总面积; dS_{i-j} 为 1990~2002 年间第 i 类景观类型转化为第 j 类景观类型的面积总和; n 为研究区发生景观类型变化的数量; D_{ij} 为 12 a 间第 i 类景观类型转化为第 j 类景观类型的转移概率。

1.3.4 景观破碎化指数的确定 不同景观类型空间结构的量化和对比可以通过景观分析软件 Fragstats 3.3 来完成。Fragstats 是从斑块、斑块类型、景观 3 个不同层次上进行描述性矩阵和空间统计分析^[8]。在斑块类型这一层次上,比较了两个时期的土地覆盖模式描述性矩阵。景观破碎化指数主要反映景观中嵌块体分离程度^[1]。在景观尺度和景观斑块尺度上,除了斑块数目、斑块面积、平均斑块面积等基本系统参数外,主要采用以下指标^[1-2,9-14]:

(1)景观斑块密度指数。斑块密度指数指景观斑块个数与其面积之比,比值愈大,破碎化程度愈高,以此可比较不同类型景观的破碎化程度及整个景观的破碎化状况,公式为:

$$PD = \frac{1}{A} \sum N_i \quad (2)$$

式中: PD 表示斑块密度指数, $\sum N_i$ 表示研究区景观斑块总数或某景观斑块类型的数目, A 表示研究区总面积或某景观斑块类型的面积。

(2)最大斑块指数。指景观中最大斑块面积所占总面积的百分比,公式为:

$$LPI = \max(a_{ij}) / A \times 100\% \quad (3)$$

式中: a_{ij} 为斑块 ij 的面积, A 为总景观面积

(3)景观斑块数量破碎化指数。指景观被分割的破碎程度,反映景观空间结构的复杂性。公式为:

$$FN_1=(Np-1)/Nc \tag{4}$$

$$FN_2=MPS(Nf-1)/Nc \tag{5}$$

式中: FN_1 为整个研究区的景观破碎度指数, Np 为景观斑块总数, Nc 为研究区的总面积与最小斑块面积的比值,以减少由于网格尺度不同而造成的数据变化。 FN_2 为某景观斑块类型的景观破碎度指数, MPS 为整个景观的平均斑块面积, Nf 为某景观斑块类型的斑块数目。 FN_1 和 $FN_2 \in (0, 1)$, 0 表示景观完全未被破坏, 1 表示景观被完全破坏。

(4)面积加权平均形状指数。描述斑块形状复杂程度的指标,其公式为:

$$AWMSI = \frac{\sum_{i=1}^N p_i/4\sqrt{s_i}}{N} \times \frac{s_i}{\sum_{i=1}^N s_i} \tag{6}$$

式中: N 为研究区域板块总数, s_i, p_i 分别为板块 i 的面积和周长。当 $AWMSI$ 为 1 时说明所有的斑块

形状为最简单的方形,当 $AWMSI$ 值增大时说明形状变得更复杂,更不规则。

(4)景观分离度指数。分离度是指某一景观中不同斑块个体空间分布的离散(或集聚)程度。公式为:

$$N_i = \frac{A}{2A_i} \sqrt{\frac{n}{A}} \tag{7}$$

式中: N_i 为景观类型 i 的分离度指数, A 为研究区总面积, A_i 为景观类型 i 的面积, n 为景观类型 i 的斑块数。分离度用来分析景观要素的空间分布特征,分离度越大,表示斑块越离散。斑块之间距离越大。

2 结果与分析

2.1 分类精度评价

1990 年 TM 和 2002 年 ETM+ 影像的总体分类精度分别达到了 90.8% 和 93.9% (表 1), 超过了最低分类标准 75%, 所得到的分类图像可以用于进一步的分析。

表 1 1990 年和 2002 年分类精度混淆矩阵

Table 1 Confusion matrix for classification of 1990 and 2002

土地类型	1990 TM 影像					2002 ETM+ 影像				
	森林	其他植被	裸地	建设用地	用户精度	森林	其他植被	裸地	建设用地	用户精度
森林	73	7	0	0	91.3	80	0	0	0	100.0
其他植被	1	69	3	1	93.2	3	67	2	2	90.1
裸地	0	3	59	5	88.1	0	3	61	3	91.0
建设用地	2	20	2	37	90.2	0	1	2	38	92.7
总计	80	77	64	41		83	71	65	43	
生产者精度	96.1	87.3	92.2	86.0	90.8	96.4	94.5	93.8	88.4	93.9

2.2 景观类型的总体变化趋势

中亚其 12 a 间土地类型发生巨大变化(表 2)。裸地、其他植被、建设用地呈现增长趋势;森林、水域则呈递减趋势。1990 年,森林景观占据总面积的 76.9% 具有绝对的优势,在其分布着其他景观类型参差不一的斑块。到 2002 年,森林面积骤减到 51.2%,与之相反其它土地利用类型的面积大大提升,其中其他植被类型,从 1990 年的 13.2% 增长到 2002 年的 28.1%;建设用地相对自身的增幅最大,年增长率为 20.29%,2002 年其面积为 1 693.47 hm^2 是 1990 的 3.6 倍;而裸地从 1990 年的 33 499.03 hm^2 增加到 71 622.08 hm^2 增幅 9.5%。2002 年,森林景观虽然仍然占据首位,但是其优势程度并不明显,最大斑块指数 LPI 已经从 1990 年的 70.50% 下降到 2002 年的 13.04% (表 6)。就空间结构而言,2002 年分类影像则展示出更高的景观类型的异质性。

表 2 1990、2002 年各类景观类型面积及所占比例

Table 2 Area and proportion for different landscape types of 1990 and 2002

景观类型	1990 年		2002 年		变化	
	面积 / hm^2	百分比 /%	面积 / hm^2	百分比 /%	面积 / hm^2	年变 化率/%
森林	307 988.44	76.9	208 710.60	51.2	-99 277.84	-2.48
其他植被	52 686.81	13.2	112 568.28	28.1	59 881.47	8.74
裸地	33 499.03	8.3	71 622.08	17.9	38 123.05	8.75
建设用地	465.59	0.1	1 693.47	0.4	1 227.88	20.29
水域	5 636.01	1.4	5 681.45	1.4	45.44	0.06
合计	400 275.88	100	400 275.88	100	0	0

2.3 景观类型的组成变化

2.3.1 景观类型相互转化研究 从景观类型转移矩阵(表 3)和景观类型转移概率矩阵(表 4)可以看出在 12 a 期间,由于各景观类型的相互转换,其他植被、裸地、建设用地、水域的面积分别增加 59 881.47, 38 123.05, 1 227.88 和 45.44 hm^2 。而森林与其他景观类型的转化,其面积减少 99 277.8 hm^2 。

森林主要向其他植被类型、裸地转换,其转移概率分别为 25%和 12.4%,这主要是由于森林被大面积的砍伐从而改造为咖啡园、菜地等农业用地。其他植被类型则主要向森林和裸地方向转化。12 a 间 10 990.83 hm² 的其他植被转化为森林,表明在此期间大面积人工林的建立;有 12 755.71 hm² 的其他植被由于荒废的原因进一步退化成为裸地。裸地则表现出向森林和其他植被类型转化,有 5 901.67 hm² 的裸地转化成为人工林,转化概率为 17.6%;有 6 876.22 hm² 的裸地转化为其他植被类型,包括改造后的咖啡林、菜地以及荒废的杂草地。

12 a 间,森林、其他植被、裸地、建设用地之间转化频繁,说明森林遭到人类的破坏,转化成裸地、农田以及其他用地,而在此期间又进行的大量人工林的种植,使原来的裸地、废弃的建设用地又重新变为了森林。该地区水资源面积变化相对稳定,主要是由于 Laut Tawar 湖占据水域的绝对主体所致。

表 3 景观类型转移矩阵

Table 3 Transition matrix of different landscape types hm ²						
1990 年	2002 年					
	森林	其他植被	裸地	建设用地	水域	合计
森林	191 720.37	76 863.75	38 267.15	1 092.18	44.99	307 988.44
其他植被	10 990.83	28 750.43	12 755.71	188.72	1.12	52 686.81
裸地	5 901.67	6 876.22	20 398.76	303.99	18.39	33 499.03
建设用地	93.01	75.24	189.64	107.70	0	465.59
水域	4.72	2.64	10.82	0.885	616.95	5 636.01
合计	208 710.60	112 568.28	71 622.08	1 693.475	681.45	

表 4 景观类型转移概率矩阵

Table 4 Transition probability matrix for different landscape types %					
1990 年	2002 年				
	森林	其他植被	裸地	建设用地	水域
森林	62.2	25.0	12.4	0.4	0
其他植被	20.9	54.6	24.2	0.4	0
裸地	17.6	20.5	60.9	0.9	0.1
建设用地	20.0	16.2	40.7	23.1	0
水域	0.1	0	0.2	0.0	99.7

2.4 景观破碎化指数分析

2.4.1 景观斑块密度指数变化分析 1999 年到 2002 年,斑块密度(PD)的大小顺序没有发生变化,依次是建设用地、裸地、其他植被、森林和水域,整体斑块密度从 1990 年的 0.452 4 增加到 2002 年的 0.578 4,景观破碎程度进一步加剧(表 5)。但不同景观类型斑块密度变化存在差异,12 a 间,只有森林的密度指数从 1990 年的 0.114 3 增加到 2002 年的 0.272 0,其他景观类型的密度指数都有所下降(表 6)。斑块密度的大小反映了斑块受人类活动影响的程度,可以看出受人类活动影响大的斑块其密度指数较大,破碎化程度高。建设用地、裸地、其他植被

虽然受人类活动影响很大,但由于其集中连片分布,在 12 a 间不断干扰的过程中,许多小斑块合并成更大的斑块,所以形成大面积但个数少的斑块,从而使斑块密度指数降低。

表 5 1990~2002 研究区域景观级别指标

Table 5 Landscape indicex for landscape level of 1990 and 2002						
指数	LPI/%	NP/#	PD	AWMSI	FN ₁	N _i
1990	70.50	181 099	0.452 4	125.73	0.036 2	0.336 3
2002	13.04	231 539	0.578 4	37.21	0.052 1	0.380 3

表 6 1990~2002 研究区域类型级别指标

Table 6 Landscape indicex for landscape type level of 1990 and 2002							
景观 类型	年份	LPI/%	NP/#	PD	AWMSI	FN ₂	N _i
森林	1990	70.50	35 206	0.114 3	125.73	0.061 6	0.192 7
	2002	13.04	56 773	0.272 0	37.21	0.047 0	0.361 1
其他	1990	1.10	76 664	1.455 1	8.93	0.010 6	1.662 1
	2002	4.82	87 978	0.781 6	24.94	0.025 3	0.833 5
裸地	1990	2.01	66 581	1.987 6	15.04	0.006 7	2.436 7
	2002	6.59	77 711	1.085 0	30.71	0.016 1	1.231 2
建设	1990	0.01	2 583	5.547 8	1.84	0.000 0	34.530 9
	2002	0.02	9 070	5.355 9	1.66	0.000 4	17.790 0
水域	1990	1.40	65	0.011 5	2.47	0.001 1	0.452 5
	2002	1.42	7	0.001 2	2.39	0.001 1	0.147 3

2.4.2 景观斑块数量破碎化指数分析 2002 年中亚其整体景观的数量破碎化指数(FN₁)较 1990 年有所上升,从 1990 年的 0.036 195 上升到 2002 年的 0.052 060(表 5)。但是不同景观类型的破碎化指数(FN₂)的变化则表现不同,森林和水域表现出下降趋势,而其他植被、裸地、建设用地的则呈上升趋势(表 6)。在所有的景观类型中,森林的 FN₂ 最大是景观破碎化最大的景观类型,其 FN₂ 从 1990 年的 0.061 553 减少到 2002 年的 0.046 927 表现出景观斑块数量破碎化程度的改善,这是由于在 12 a 间大量人工林的建立使森林景观平均斑块面积增大,斑块分布更有规律,景观趋于连片,景观破碎化程度降低。在此期间,由于环境的破坏很多小水体,比如小溪、小河逐渐消失,导致水域斑块数目(NP)从 1990 年的 65 块下降到 2002 年的 7 块(表 6),并且水域面积主要体现在 Laut Tawar 湖上,造成了水域景观平均斑块面积的增加,水域的景观破碎度降低。同时农田水利设施及交通建设用地的的发展,使裸地、其他植被及建设用地等景观的平均斑块面积减少,斑块镶嵌分布,景观破碎化程度增大。就整体而言,中亚其省 12 a 来景观的破碎化程度呈增加的趋势。

2.4.3 景观斑块形状破碎化指数分析 森林、建设用地、水域的 AWMSI 减少,形状变得简单(表 6)。而其他植被、裸地的 AWMSI 增加,形状变的越发复杂。1990 年森林景观的 AWMSI 为 125.73,在

五类景观中,形状最为复杂并且其复杂程度远远高于其它景观类型,在 12 a 间,AWMSI 急剧减少到 2002 年的 37.21,森林景观形状虽然仍然是最复杂的但是其复杂程度较其他景观显得并不像 1990 年那样悬殊(表 6)。大面积具有规则形状的人工林的建立是整体森林景观形状趋于简单化的根本原因。其他植被、裸地的 AWMSI 明显增加,呈现出形状向复杂结构变化强烈趋势,揭示了 12 a 间此两类景观遭到进一步的干扰和破坏。建设用地和水域的 AWMSI 变化微小,其复杂程度的变化并不明显。

2.4.4 景观分离度指数分析 1990 年景观分散度指数大小依次是建设用地、裸地、其他植被、水域和森林。2002 年景观分散度指数顺序为建设用地、裸地、其他植被、森林和水域(表 6)。水域之所以具有较小的景观分离度指数是由于在整体景观中水域斑块数目最少,并且斑块主要分布在 Laut Tawar 湖周围。而森林相对整个景观的基质属性决定了森林具有最低的景观分离度。除森林景观外,其它各个景观的分离度指数呈下降趋势,其中降幅最大的是建设用地从 1990 年的 34.530 9 下降到 2002 年的 17.790 0,说明该景观类型数量增加距离趋近,这主要是由于受可开发利用土地资源量的限制,新的建设用地主要在原有的的基础上向附近扩张。其他植被、裸地景观的分离度指数的下降说明,12 a 间,基质景观森林不断遭到破坏并不断转化为其它植被、裸地等景观,同类型斑块分散程度降低。

3 结论与讨论

1990 到 2002 年,中亚其的景观发生了巨大变化。主要表现在森林面积的骤减和其他景观类型面积的增加。建设用地年平均增长率最高,反映了由于人口的增长,居民建筑以及生活设施的不断扩张。各景观要素相互转化较为复杂,森林主要向其他植被、裸地转化,这表明由于人口压力等原因,森林在此期间遭到持续破坏,被改造成为咖啡林、菜园等其他植被景观,或者砍伐迹地没有得到进一步的利用而退化为裸地。裸地、其他植被有大部分转化为森林,主要是由于此期间在裸地、其他植被上建立了大量人工林。

研究区域的景观动态格局同样发生了巨大变化。就整个景观而言,中亚其 2002 年景观破碎化指数均大于 1990 年,说明此期间由于无序化的人类活动,景观遭到破坏。就不同景观类型而言,森林的景观斑块数量破碎化指数和形状指数都减小,表明此

期间森林景观向着有序化的方向变化,其根本原因是由于大量人工林的建立使森林景观有序化。其他植被、裸地的景观斑块数量破碎化指数、形状指数都增加,同时景观分离指数降低,说明人类活动使这些景观被其它景观隔离,斑块镶嵌分布,景观破碎化程度增大。建设用地的景观斑块数量破碎化指数增加,形状指数和分离度减小,揭示了此期间民用建筑的增加和其分布的聚集并且分布的规律化。

研究表明由于长期无计划的土地利用,中亚其地区的景观遭到了严重的破化,已经引起了水土流失、小水体消失等一系列生态问题。当地部门应当制定亚其省的景观利用规划,合理的规划景观,使景观得到合理利用,保证亚其省景观的可持续发展,从而避免一系列生态问题。

参考文献:

[1] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理及应用[M].北京:科学出版社,2001:59-65.

[2] 邹建国.景观生态学—格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2001:16-34.

[3] 蒋学玮,周正立,李凯荣,等.景观生态学原理在流域规划中的应用[J].西北林学院学报,2003,18(2):112-115.

[4] CHOWDHURY R. Landscape change in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico: Modeling the driving forces of small-holder deforestation in land parcels [J]. Applied Geography, 2006(26): 129-152.

[5] 陆元昌,洪玲霞,雷相东.基于森林资源二类调查数据的森林景观分类研究[J].林业科学,2005,41(2):21-29.

[6] 魏静,郑小刚,葛京凤.石家庄西部太行山区景观格局时空变化[J].生态学报,2007,27(5):1993-2001.

[7] 刘文俊,马友鑫,胡华斌.西双版纳勐仑地区景观格局变化定量分析[J].生态学报,2007,26(9):147-151.

[8] 孙尚华,刘建军,康博文,等.综合治理下小流域景观格局变化的研究[J].西北林学院学报,2008,23(3):62-65.

[9] 彭月,魏虹,朱韦,等.鼎湖山自然保护区森林景观时空格局变化研究[J].西南师范大学学报,2007,32(2):65-69.

[10] 菅利荣,李明阳.浙江临安森林景观动态的计算机模拟仿真[J].西北林学院学报,2001,16(3):42-45.

[11] 卢双珍,喻庆国,宋劲忻,等.无量山国家级自然保护区及其周边地区景观组分特征[J].西北林学院学报,2008,23(3):71-75.

[12] 张博,吴发启,张正华.泥河沟流域农林复合生态系统景观格局变化研究[J].西北林学院学报,2006,21(6):5-8.

[13] 郭玮,张硕新.景观生态学在城市绿地系统建设中的应用[J].西北林学院学报,2006,21(1):139-142.

[14] 申卫博,王国栋,张社奇,等.景观生态学及嫡模型在城市绿地空间格局分析中的应用[J].西北林学院学报 2006,21(2):161-163.