

庐山风景名胜区景观格局动态及其模拟

胡海胜^{1 2} 魏美才^{1,*} 唐继刚² 张福庆³ 郑艳萍⁴

(1. 中南林业科技大学生命科学与技术学院,长沙 410001 2. 江西财经大学旅游学院,南昌 330013 ;
3. 江西省工程咨询中心,南昌 330046 4. 江西财经大学艺术与传播学院,南昌 330013)

摘要 在遥感和 GIS 技术支持下,以 1988 和 2000 年的 TM 影像为主要数据源,采用景观格局指数方法分析了庐山风景名胜区的景观空间格局特征和变化情况。结果表明,庐山的景观格局在过去的 12a 内发生了较大的变化,阔叶林由 1988 年的 25.88% 上升到 2000 年的 54.51%,年均增加 782.43 hm²,总增加面积与针叶林、灌草地和耕地的总减少面积相当。针叶林、灌草地、建设用地和未利用地的斑块数量和斑块密度呈现出快速增长的趋势,其中以灌草地年均增加 123.42 块为最高;与此相反的是水体、阔叶林和耕地的衰减,其中耕地以年减少约 246.42 块的减速最为迅速。针叶林和灌草地的破碎化进一步加强,而阔叶林则填补了前两者减少面积的空白。1988 年灌草地的最大斑块指数列居各景观类型之首,12a 后这一优势为阔叶林景观所取代。建设用地总体变化幅度不大,但已经呈现出明显的扩散化趋势。两期的灌草地的景观形状指数和分维度位居各类型景观之首,表明受外来干扰强度最小,耕地的复杂性变化最快,形状指数和分维度分别下降了 44.5744 和 0.0726。庐山的香农多样性和香农均匀度随时间的迁移而有所下降,分别下降了 0.2394 和 0.1231,同期景观破碎化指数上升了 0.1633。基于马尔柯夫模型的景观格局模拟值与实测值大致相当,结果表明目前景区的景观生态安全格局面临严重危机。导致庐山景观格局动态变化的驱动力主要来自于城市化的快速推进、旅游业的快速发展和政策的调控作用。

关键词 庐山,景观格局,景观动态,景观指数,马尔柯夫模型

文章编号:1000-0933(2007)11-4696-11 中图分类号:Q149 文献标识码:A

The landscape pattern changes and simulation in Lushan Mountain national Park

HU Hai-Sheng^{1 2}, WEI Mei-Cai^{1,*}, TANG Ji-Gang², ZHANG Fu-Qing³, ZHENG Yan-Ping⁴

1 Life Science and Technology College, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China

2 Tourism College, Jiangxi Finance and Economics University, Nanchang 330013, China

3 Jiangxi Engineer Consulting Centre, Nanchang 330046, China

4 Arts and Communication College, Jiangxi Finance and Economics University, Nanchang 330013, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4696 ~ 4706.

Abstract : Lushan mountain national park is the key researched object that the pattern and change can reflect the ecological process of man-land relationship. In this paper, landscape metrics combined with gradient analysis is employed to analyze the landscape pattern changes of Lushan Mountain, based on the TM images of 1988 and 2000, respectively. The results demonstrate that the landscape pattern of Lushan mountain changed dramatically in 12 years, the increased area of broad-

基金项目 四川乐山师范学院世界遗产研究所资助项目 (YCYJ06-02)

收稿日期 2007-01-30;修订日期 2007-08-23

作者简介 胡海胜 (1978 ~) 男,江西弋阳人,博士生,主要从事景观生态保护与可持续利用研究. E-mail: haishenghu78@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weimec@126.com

致谢 感谢江西省山江湖开发治理委员会办公室、庐山风景名胜区管理局、庐山自然保护区管理处等部门在本文的调研中给予的大力支持,感谢加拿大 Victoria 大学 Yunwei Xie 博士对写作的帮助。

Foundation item This work was financially supported by the World Heritage Institute of Leshan Teachers College (No. YCYJ06-02)

Received date 2007-01-30; **Accepted date** 2007-08-23

Biography HU Hai-Sheng, Ph. D. candidate, mainly engaged in landscape conservation and sustainable development. E-mail: haishenghu78@163.com

leaved forest , which added 782. 43 hm² average from 1988 to 2000 , were equivalent to the decreasing area of coniferous forests , shrubbery and meadow , and farmland. The NP and PD of coniferous forests , shrubbery and meadow , build-up area and unused land , taked on the swift growth , in which the NP of shrubbery and meadow increased 123. 42 pieces per year ; in contrast , the water , broad-leaved forest and farmland decreased , in which the farmland lose 246. 42 pieces every year. Broad-leaved forest supplied the fragmentation area of coniferous forests , shrubbery and meadow. The LPI of shrubbery and meadow ranked on the first in 1988 , whereafter , the advantage was replaced by broad-leaved forest. Although build-up area changed in a limited extent , we should pay attention to the diffuse trend. The LSI and FRACT of shrubbery and meadow in two periods are situated head of the various types of landscape , which indicated that they had been interfered externally least ; The farmland's complexity changed most rapidly , the LSI and FRACT decreased 44. 5744 and 0. 0726 respectively. The SHDI and SHEI dropped along with the time , decreased 0. 2394 and 0. 1231 respectively , at the same time , the fragmentation index increased 0. 1633. Simulated value approximately equal to actual value that based on the Markov model of landscape prediction , it shows that landscape ecological security pattern was faced with serious crisis , while the actuating force are mainly from speeded-up urbanization , speeded-up tourism and policy control.

Key Words : Lushan Mountain ; landscape pattern ; landscape change ; landscape indices ; Markov model

景观格局是指大小和形状各异的景观要素的空间分布与组合特征 ,是景观生态学研究的重要内容之一^[1]。景观格局分析可以数量化地分析景观要素的结构特征及其相互间的空间分布关系 ,在看似简单无序的斑块镶嵌景观上 ,发现潜在的、有意义的规律性及其形成机制 ,从而成为进一步研究景观功能和动态的基础^[2]。景观动态是指景观结构、功能、空间格局随时间的变化而发生相应变化的过程^[3~5] ,景观要素的空间分布与组合特征由一种状态转变为另一种状态。景观发生变化的原因在于内外驱动力对景观组成要素的干扰作用 ,其结果使得景观稳定性及其空间格局发生变化^[6~8]。而景观空间格局的变化可进一步影响到景观系统内的物质循环与能量流动 ,进而对区域内重要的景观生态过程 (景观功能)产生深刻影响。

近年来 ,国内已有一些对农业景观^[9,10]、沙地景观^[11]、湿地景观^[12]、山地景观^[13]等的景观格局及其动态的分析报道 ,对景观生态学的理论研究和景观生态学在实践应用上的发展起到了积极的推进作用。风景名胜区是人类活动与自然景观相互作用的独特景观类型 ,随着人类环境保护意识的逐步增强 ,有必要加强对此类景观的研究。值得欣慰的是 ,国内已有部分学者开始探索泰山、紫金山、武夷山等风景名胜区的景观格局及其动态^[14~23]。庐山是国家首批重点风景名胜区和中国惟一的世界文化景观 ,是人类文化活动与自然景观和谐相处的典范。然而 ,随着城市化的快速推进 ,庐山的发展也面临着越来越多的挑战 ,本文从景观格局的动态分析入手 ,了解庐山的景观格局变化特征 ,探讨内在的驱动机制 ,以期为庐山的可持续发展提供相应的参考建议。

1 研究区概况

庐山地处江西省九江市的庐山区、九江县和星子县内 ,介于东经 115°52' ~ 116°08'、北纬 29°26' ~ 29°41' 之间 ,总面积 327. 99 km² ,外围保护地带面积 500 km²。庐山有河流、湖泊、坡地、山峰等多种地貌类型 ,主峰大汉阳峰海拔 1474m ,飞峙于长江和鄱阳湖之间 ,素有 “匡庐奇秀甲天下 ”之美誉。庐山生物资源丰富 ,生态系统完整 ,森林覆盖率达 76. 6% ,植物有 3000 余种 ,昆虫 2000 余种 ,兽类 33 种。庐山处于亚热带季风区域 ,面江临湖 ,山高谷深 ,山地小气候特征显著。年平均降水 1833. 5mm ,年平均雾日 190. 6d ,年平均相对湿度 78%。在庐山长达 6000 多年的人类活动中 ,庐山文化得到了丰厚的沉积 ,1500 多名诗人留下了 4000 余首诗作 ,拥有东林寺、白鹿洞书院、观音桥、别墅群等知名的文化景观遗产。1982 年被列为首批国家重点风景名胜区 ,1996 年被联合国教科文组织以 “世界文化景观 ”列入世界遗产名录 ,2004 年再被联合国教科文组织评为中国首批世界地质公园。

2 研究方法

2.1 数据来源

以 1988 和 2000 年两期 TM 数字图像为景观信息源 ,波段 5、4、3 ,地面分辨率为 30 m。另外 ,参照庐山 1:10000地形图和九江市行政区划图、庐山区行政区划图、九江县行政区划图、星子县行政区划图确定庐山新修环山公路以内的地理边界 (由于新修环山公路较原公路向外扩展 ,以及 TM 分辨率误差等原因 ,本研究中的庐山范围比国家公布的 302 km²略大)。在野外调查中 ,选取了庐山牯岭镇、五老峰、汉阳峰、庐山垅、东林寺、莲花洞、观音桥 7 个主要观测定位点 ,获取了庐山景观格局变化材料和自然基础资料。

2.2 景观格局分析

利用 ERDAS8.5 [24]对 1988 和 2000 年的 TM 数字影像执行非监督分类 ,获得水体、针叶林、阔叶林、灌木、农田、荒地和居住用地等七大类型的景观类型分布图。以此为基础 ,运用 ERDAS8.5 的空间建模工具 ,输出具有正负值的栅格数据 ,最后通过 FRAGSTATS3.3 和 EXCEL 软件包分析统计相关景观指数。景观格局指数是景观生态学广泛使用的定量研究方法 ,高度浓缩了景观格局和景观动态信息 ,能够很好地了解景观格局的组成成分、空间配置和动态变化过程 ,具体计算公式和计算方法可参考 FRAGSTATS3.3 使用手册和相关研究文献 [25~27]。

2.3 景观动态分析

景观动态分析是对以斑块为基础的景观变化进行分析的量化方法 ,主要探讨各种景观要素在面积大小、空间格局、外貌特征、生物组成和生产力水平等方面的变化过程 ,从中了解景观的驱动机制及其未来发展态势 [28]。景观动态的计算分为两个步骤 :第 1 步通过 ERDAS 的相关命令 ,确定景观类型的转换面积及其比例 ;第 2 步利用马尔柯夫过程模型计算景观转移概率 ,并同时借助 EXCEL 软件包模拟出各景观类型所占比例的变化情况 [29,30]。

3 结果分析

3.1 总体格局变化分析

在庐山 32799.33 hm²的范围内 ,从 1988 到 2000 年共 12a 时间内 ,各景观类型的面积发生了较大的变化 (图 1)(表 1)。阔叶林面积大幅增加 ,由 1988 年的 25.88% 上升到 2000 年的 54.51% ,年均增加 782.43 hm² ,总增加面积与针叶林、灌草地和耕地的总减少面积相当。建设用地的规模小幅增长 ,12a 增加了 193.5 hm² ,成为除阔叶林外的惟一增长的景观类型。考虑到庐山所具有的遗产地、重点风景名胜区等独特属性 ,增加的面积仍是令人担忧的 ,人类干扰对自然生态系统和自然景观的影响值得深切关注。水体是另一个值得关注的景观类型 ,研究区内主要有芦林湖、如琴湖、大月山水库、观音塘水库等较大面积的人工水体 ,年际蓄水量变化不大 ,然而近 12a 内总面积却减少了 5.58 hm² ,这与阔叶林的大幅增长存在一定的矛盾 ,尚需进一步深入研究。

表 1 庐山景观总体格局及其变化
Table 1 The landscape pattern ant its change in Lushan Mountain

景观类型 Type	1988		1988		总变化面积 Total changed area	年均变化面积 Changed area yearly	
	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)		hm ²	(%)
水体 Water	108.9	0.33	103.32	0.31	-5.58	-0.465	-0.43
针叶林 Coniferous forests	5364.09	16.35	3229.02	9.84	-2135.07	-177.9225	-3.32
阔叶林 Broad-leaved forest	8488.71	25.88	17877.9	54.51	9389.19	782.4325	9.22
灌草地 Shrubbery and meadow	11157.66	34.02	5948.25	18.14	-5209.41	-434.1175	-3.89
耕地 Farmland	3660.66	11.16	1517.4	4.63	-2143.26	-178.605	-4.88
建设用地 Build-up area	1398.78	4.27	1592.28	4.85	193.5	16.125	1.15
未利用地 Unused land	2620.53	7.99	2531.16	7.72	-89.37	-7.4475	-0.28
总计 Total	32799.33	100.00	32799.33	100.00	—	—	—

接图 1

另外,通过对 1988 到 2000 年各景观类型转移矩阵的计算分析,可以发现庐山各景观类型均处于动态变迁过程(表 2)。水体景观仅有 51.93 hm² 没有发展变化,转出面积最多的是耕地的 17.73 hm²;针叶林有 59.11% 转入阔叶林景观类型,而保留的原始面积不到 33.3%;阔叶林有占 62.17% 的原始面积得到有效保留,但同时有 22.95% 和 2.35% 的面积分别转入灌草地和未利用地,部分林区退化现象值得重视,灌草地景观类型向两极化发展,有 6875.64 hm² 转入到阔叶林,同时有 1104.66 退化为未利用地,另有 69.21 hm² 和 41.76 hm² 成为建设用地和耕地景观;耕地有相当一部分由于退耕还林政策的影响而转化,共有 2048.49 hm² (约 55.96%) 成为林地和灌草地,但有也有一部分为建设用地所侵占,建设用地仅有 37.86% 为原始用地类型,另有 19.88%、18.94%、11.20%、10.63% 的面积依次转入灌草地、未利用地、耕地和阔叶林;未利用地的转出率最高,原始保留面积仅为 18.73%,有一半的面积转为阔叶林。庐山在 12a 时间内,各景观类型发生了大规模的变动,一方面是由于庐山生态系统在自然因素的驱动下而进行的自我演替,另一方面也受旅游开发、城市化、退耕还林等人类干扰的驱动力所致。

表 2 1988 ~ 2000 年各景观类型转移矩阵
Table 2 Variation matrix of landscapes in 1988 and 2000 (hm²)

类型 Type		2000							
		水体 Water	针叶林 Coniferous forests	阔叶林 Broad-leaved forest	灌草地 Shrubbery and meadow	耕地 Farmland	建设用地 Build-up area	未利用地 Unused land	总计 Total
1988	水体 Water	51.93	9.90	11.34	8.73	17.73	5.22	4.05	108.90
	针叶林 Coniferous forests	19.26	1786.23	3170.88	298.35	10.53	25.38	53.46	5364.09
	阔叶林 Broad-leaved forest	6.30	947.34	5277.24	1947.78	41.76	69.21	199.08	8488.71
	灌草地 Shrubbery and meadow	10.17	318.15	6875.64	2122.74	375.39	350.91	1104.66	11157.66
	耕地 Farmland	10.53	48.06	1076.58	923.85	790.83	396.72	414.09	3660.66
	建设用地 Build-up area	2.34	7.38	148.68	278.10	167.85	529.56	264.87	1398.78
	未利用地 Unused land	2.79	111.96	1317.51	368.73	113.31	215.28	490.95	2620.53
	总计 Total	103.32	3229.02	17877.87	5948.28	1517.40	1592.28	2531.16	32799.33

3.2 斑块面积特征及其动态

选取斑块数(图 2-a)、平均斑块面积(图 2-b)、斑块密度(图 2-c)和最大斑块(图 2-d)四项指数分别对庐山 1988 年和 2000 年的七类景观类型进行测算,结果发现:(1)针叶林、灌草地、建设用地和未利用地的斑块数量在 12a 内呈现出快速增长的趋势,分别由 1988 年的 913、3617、1161 块和 3675 块增加到 2000 年的 1849、5098、1773 块和 5119 块,其中以灌草地的增幅最大,年均增加 123.42 块。与此相反的是水体、阔叶林和耕地的衰减,其中耕地的减速最为迅速,年减少约 246.42 块。斑块密度的变化趋势与斑块数量的发展趋势基本一致,灌草地与未利用地的密度分别增加了 2.29 和 2.23,耕地则由 1988 年的 6.31 迅速下降到 1.73。(2)在平均面积方面,针叶林、灌草地和阔叶林呈完全相反的发展态势,针叶林由 1988 年的 5.88hm² 下降到 2000 年的 1.75 hm²,灌草地也减少了 1.83 hm²,而阔叶林则增加了 4.42 hm²,说明针叶林和灌草地的破碎化进一步加强,而阔叶林则填补了前两者减少面积的空白。(3)1988 年灌草地以 7.57 的最大斑块指数列居各景观类型之首,仅 12a 的时间,这一优势就被阔叶林以 25.09 的指数彻底打破,本身的指数则下滑至 1.07,同时下降的还有包括针叶林在内的其他 5 类景观。(4)与针叶林、阔叶林和灌草地的动态变化相比,建设用地虽然在总体景观格局中变化幅度不大,但在建设用地景观的纵向发展上,已经呈现出明显的扩散化趋势。12a 来建设用地平均斑块面积减少了 0.31 hm²,而斑块数量则增加了 612 个,斑块密度较 1988 年增加了 0.95。

3.3 景观形状特征及其动态

选取形状和分维度两项指数来考察庐山两期各景观类型的形状特征及其变化态势,测算结果见表 3。1988 年灌草地的景观形状指数和分维度分别以 110.8780 位和 1.5844 位居各景观类型之首,表明此类景观的形状最为复杂,外来干扰强度最小;历经 12a 后,灌草地的形状复杂程度虽有所下降,但总体格局仍未有彻底

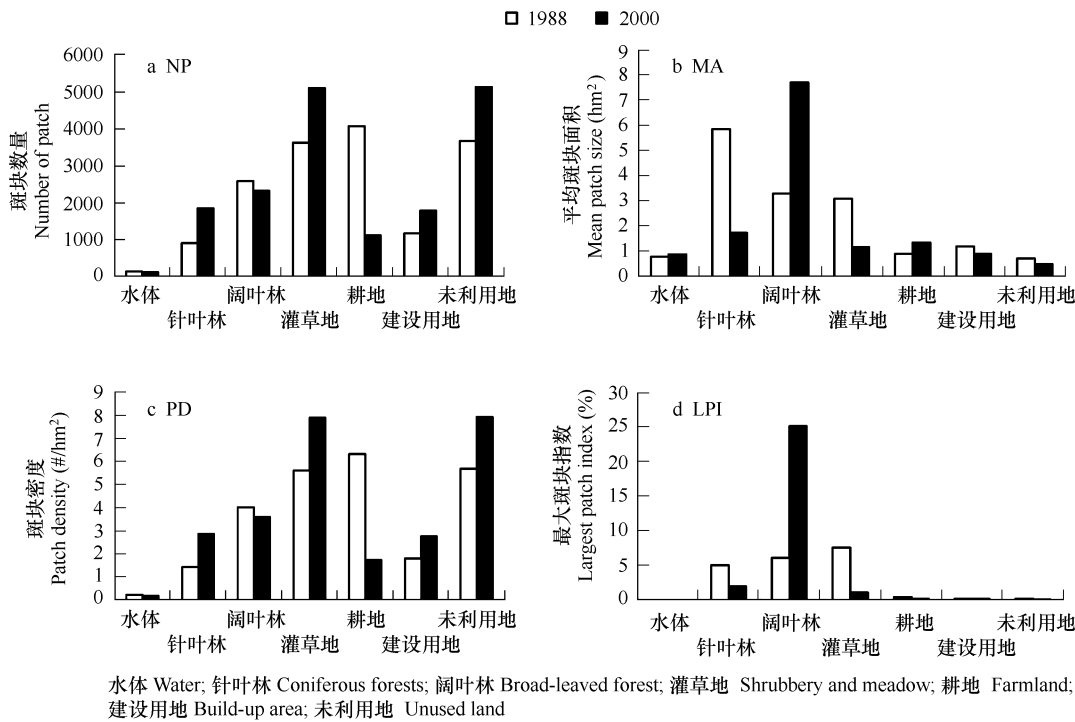


图2 两期景观斑块面积指数

Fig. 2 The patch area indexes in 1988 and 2000

水体 Water ,针叶林 Coniferous forests ,阔叶林 Broad-leaved forest ,灌草地 Shrubbery and meadow ,耕地 Farmland ,建设用地 Build-up area ,未利用地 Unused land

的变化。1988 年 ,未利用地、耕地、阔叶林、建设用地、针叶林和水体的形状复杂性依次弱化 ,不过这种格局在 12 年后有所变化 ,变化最大的是耕地类型 ,形状指数和分维度分别下降了 44. 5744 和 0. 0726 ,表明耕地边界的曲折度在迅速下降 ,外来干扰幅度最大。与此相对应的是与耕地紧密相关的未利用地、建设用地和水体形状的复杂程度进一步增加 ,导致这种结果的原因 ,一方面是上述 3 种景观对耕地的蚕食 ,另一方面是由于退耕还林政策致使庐山深处的部分耕地转化为林地或灌草地。

表3 1988 与 2000 年各景观类型的形状指数

Table 3 Shape indexes of various landscape types in 1988 and 2000

景观指数 Landscape indices	年份 Year	水体 Water	针叶林 Coniferous forests	阔叶林 Broad-leaved forest	灌草地 Shrubbery and meadow	耕地 Farmland	建设用地 Build-up area	未利用地 Unused land
形状指数	1988	12. 2857	34. 8937	62. 9837	110. 8780	87. 6436	41. 1800	79. 6170
LSI	2000	11. 4853	53. 0580	62. 4630	105. 7534	43. 0692	53. 2884	92. 6190
分维度	1988	1. 2599	1. 4104	1. 4569	1. 5844	1. 5455	1. 4344	1. 5245
DFRACT	2000	1. 2740	1. 4487	1. 5033	1. 5837	1. 4729	1. 4627	1. 5661

3.4 景观多样性及其动态

总体而言 ,庐山风景名胜区内景观多样性较高 ,但随时间的迁移多样性有所下降 (表 4)。香农多样性指数由 1988 年的 1. 6129 下降到 2000 年的 1. 3735 ,香农均匀度指数也由 0. 8289 下降到 0. 7058。而与此同时 ,景观破碎化指数则由 0. 7730 上升到 0. 9363 ,结合 12a 来庐山景观斑块总数增加 1230 个的事实 ,说明庐山的景观多样性在不断地下降 ,景观生态安全格局面临严重危机。

3.5 景观动态模拟和预测

以 1988 ~2000 年时间段来确定转移概率。初始状态矩阵 $A_i = 0$,以 1988 年庐山各景观类型的面积及其

百分比表示：

$$A_t = 0 = \begin{bmatrix} 108.9 \\ 5364.09 \\ 8448.71 \\ 11157.66 \\ 3660.66 \\ 1398.78 \\ 2620.53 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.33 \\ 16.35 \\ 25.88 \\ 34.02 \\ 11.16 \\ 4.27 \\ 7.99 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{水体} \\ \text{针叶林} \\ \text{阔叶林} \\ \text{灌草地} \\ \text{耕进} \\ \text{建设用地} \\ \text{未利用地} \end{bmatrix}$$

根据表 2 的庐山各景观类型面积的转移矩阵 ,可计算出各景观类型的年平均转化率 (即 1988 年到 2000 年的各景观转化面积除以年代间隔 12a 得到平均每年的转化面积占原有该类景观的面积百分比) ,该矩阵即为初始状态的转移矩阵 (表 4)。矩阵中矩阵元素表示一种景观类型转移为另一种景观类型的比例 ,对角线的数值代表 $K + 1$ 年期末各类景观自身继承的面积比率 ,由此可以直观看 出各类景观动态演化走向与演化幅度。

表 4 初始状态庐山各景观类型的转移概率矩阵 ($t_1 = 0$)

Table 4 Transform probability of landscape types in Lushan Mountain at the beginning state								
K 年 Year K		K + 1 年 Year K + 1						
		水体 Water	针叶林 Coniferous forests	阔叶林 Broadleaved forest	灌草地 Shrubbery and meadow	耕地 Farmland	建设用地 Build-up area	未利用地 Unused land
水体 Water		0.9564	0.0076	0.0087	0.0067	0.0136	0.0040	0.0031
针叶林 Coniferous forests		0.0003	0.9444	0.0493	0.0046	0.0002	0.0004	0.0008
阔叶林 Broad-leaved forest		0.0001	0.0093	0.9685	0.0191	0.0004	0.0007	0.0020
灌草地 Shrubbery and meadow		0.0001	0.0024	0.0514	0.9325	0.0028	0.0026	0.0083
耕地 Farmland		0.0002	0.0011	0.0245	0.0210	0.9347	0.0090	0.0094
建设用地 Build-up area		0.0001	0.0004	0.0089	0.0166	0.0100	0.9556	0.0084
未利用地 Unused land		0.0001	0.0036	0.0419	0.0117	0.0036	0.0068	0.9323

利用前面动态变化分析中的初始状态矩阵 ,经过 12 步转移到 2000 年 ,得到一个转移概率表 (表 5)。运用转移概率表和 1988 年景观类型所占比例 ,可以预测 2000 年各景观类型所占比例 (表 6)。根据对马尔柯夫模型的模拟值与实测值进行误差分析和检验 (表 6) ,结果表明 : (1)马尔柯夫模型在庐山景观变化的模拟上具有良好的适用性 ,模拟差值变化幅度不大 ,可以用于庐山今后的景观演化的模拟预测中。 (2)模拟差值变化幅度最大的是阔叶林和灌草地的面积 ,且呈现出一正一负的反发展态势。根据庐山自然保护区管理处提供的资料 ,1999 年全区有林地面积为 15651 hm² ,较之 1989 年的 13775 hm²增加了 1876 hm² ,总增幅为 13.62% ；

表 5 1988 ~ 2000 年庐山各景观类型的转移概率矩阵 ($t_1 = 12$)

Table 5 Transform probability of landscape types in Lushan Mountain at the beginning state								
		2000						
		水体 Water	针叶林 Coniferous forests	阔叶林 Broad-leaved forest	灌草地 Shrubbery and meadow	耕地 Farmland	建设用地 Build-up area	未利用地 Unused land
1988								
	水体 Water	0.5860	0.0592	0.1266	0.0698	0.0917	0.0366	0.0301
	针叶林 Coniferous forests	0.0022	0.5236	0.3865	0.0673	0.0032	0.0055	0.0116
	阔叶林 Broad-leaved forest	0.0007	0.0730	0.7506	0.1405	0.0059	0.0087	0.0209
	灌草地 Shrubbery and meadow	0.0008	0.0355	0.3900	0.4792	0.0193	0.0219	0.0531
	耕地 Farmland	0.0018	0.0213	0.2437	0.1515	0.4523	0.0645	0.0652
	建设用地 Build-up area	0.0013	0.0119	0.1370	0.1293	0.0684	0.5883	0.0641
	未利用地 Unused land	0.0009	0.0396	0.3375	0.1064	0.0253	0.0481	0.4425

森林覆盖率也由 1989 年的 60.8% 上升到 1999 年的 73.7% ,十余年间庐山大规模的绿化行动促使原有的灌草地转化为阔叶林地。(3)面积初始值比百分比初始值在模型检验中具有更强的敏感性,如水体虽然都为 0.31% ,但实际面积却相差 2.34hm² ;(4)由于人为干扰存在的不确定性和波动性 ,以及计算中的尾数省略问题 ,也是造成部分景观类型差值较大和总面积增加的主要原因。

表 6 2000 年景观类型模拟值与实际值比较
Table 6 Comparison of landscape types between simulated and actual value in2000

景观类型 Type	模拟值 Analogue value		实际值 Practical value		差值 Difference	
	(hm ²)	%	(hm ²)	%	(hm ²)	%
水体 Water	100.98	0.31	103.32	0.31	-2.34	0
针叶林 Coniferous forests	4028.79	12.28	3229.02	9.84	799.77	2.44
阔叶林 Broadleaved forest	14778.20	45.05	17877.9	54.51	-3099.7	-9.46
灌草地 Shrubbery and meadow	7922.10	24.15	5948.25	18.14	1973.85	6.01
耕地 Farmland	2110.68	6.44	1517.4	4.63	593.28	1.81
建设用地 Build-up area	1537.48	4.69	1592.28	4.85	-54.8	-0.16
未利用地 Unused land	2323.82	7.08	2531.16	7.72	-207.34	-0.64
总计 Total	32802.06	100	32799.33	100	2.73	-

如保持 1988 年以来人为干扰的强度 ,则可依据初始转移矩阵以及 1988 年的景观类型面积和景观类型百分比的基础数据 ,根据马尔柯夫过程稳定方程组 ,进而推算 10、20、30、40、50a 后各景观类型可能达到的面积及其比例 (表 7) 。从表中可以看出 ,阔叶林面积将呈现出惟一的快速增长趋势 ,这与 1988 年到 2000 年的增长实际情况相一致。不过 ,由于前述模型的误差以及人为干扰的持续加强 ,建设用地的规模也将继续扩大 ,这一点可由表 8 中得到体现 ,仅 12a 的时间建设用地的增长速率远高于模拟值。为此 ,有必要严格执行《风景名胜管理条例》,切实加强景区内建设项目的审批和实施。

表 7 2010 ~ 2050 年景观类型预测
Table 7 Prediction of landscape types from 2010 to 2050

景观类型 Type	2010		2020		2030		2040		2050	
	(hm ²)	%	(hm ²)	%	(hm ²)	%	(hm ²)	%	(hm ²)	%
水体 Water	93.74	0.28	87.81	0.26	83.42	0.25	80.32	0.24	78.20	0.23
针叶林 Coniferous forests	3665.70	11.17	3553.18	10.83	3534.49	10.77	3546.75	10.81	3565.90	10.86
阔叶林 Broad-leaved forest	16985.12	51.78	18042.56	55.00	18572.50	56.61	18851.60	57.46	19006.30	57.93
灌草地 Shrubbery and meadow	7013.37	21.38	6673.69	20.34	6547.96	19.96	6501.78	19.81	6484.86	19.76
耕地 Farmland	1468.13	4.48	1122.29	3.42	933.70	2.84	829.07	2.52	769.85	2.34
建设用地 Build-up area	1495.64	4.56	1416.86	4.32	1338.80	4.08	1273.96	3.88	1224.27	3.73
未利用地 Unused land	2083.88	6.35	1913.09	5.83	1802.66	5.49	1734.14	5.28	1692.32	5.15

4 结论与讨论

(1)庐山风景名胜区的景观格局在过去的 12a 内发生了较大的变化 ,阔叶林面积大幅增加 ,总增加面积与针叶林、灌草地和耕地的总减少面积相当。针叶林、灌草地、建设用地和未利用地的斑块数量在 12a 内呈现出快速增长的趋势 ,其中以灌草地的增幅最大 ;与此相反的是水体、阔叶林和耕地的衰减 ,其中耕地的减速最为迅速 ,斑块密度的变化趋势与斑块数量的发展趋势基本一致。针叶林、灌草地和阔叶林的平均面积呈完全相反的发展态势 ,针叶林和灌草地的破碎化进一步加强 ,而阔叶林则填补了前两者减少面积的空白。1988 年灌草地的最大斑块指数列居各景观类型之首 ,12a 后这一优势为阔叶林景观所取代。与针叶林、阔叶林和灌草地的动态变化相比 ,建设用地虽然在总体景观格局中变化幅度不大 ,但在建设用地景观的纵向发展上 ,已经呈现出明显的扩散化趋势。灌草地的景观形状指数和分维度位居各类型景观之首 ,表明此类景观的形状最为

复杂 ,外来干扰强度最小。1988 年 ,未利用地、耕地、阔叶林、建设用地、针叶林和水体的形状复杂性依次弱化 ,12a 后耕地边界的曲折度在迅速下降 ,而未利用地、建设用地和水体形状的复杂程度进一步增加 ,导致这种结果的原因一方面是上述 3 种景观对耕地的蚕食 ,另一方面是由于退耕还林政策致使庐山深处的部分耕地转化为林地或灌草地。庐山风景名胜区的香农多样性和香农均匀度较高 ,但随时间的迁移两种指数有所下降 ,景观破碎化指数则快速上升 ,说明庐山的景观多样性在不断地下降 ,景观生态安全格局面临严重危机。

② 在马尔柯夫模型的基础上 ,对庐山未来 50a 的景观格局进行模拟 ,结果表明如保持 1988 年以来人为干扰的强度 ,未来阔叶林面积将呈现出快速增长趋势 ,而建设用地的规模也将继续扩大 ,仅 12a 的时间建设用地的增长速率远高于模拟值。追究庐山景观格局近 10 余年来快速变化的原因 ,可以发现主要有以下几种驱动力 :一是城市化的快速推进。在人口数量方面 ,1895 年以前 ,庐山还是个不毛之地 ,但在 100 余年间 ,牯岭镇的人口迅速上升到了 2000 年的 12000 人 ,1976 年还曾创下 163646 人的纪录 ,而山下的庐山区、九江县和星子县的人口也由 1988 年的 691761 人增加到 2000 年的 789200 人 ,人口的迅速膨胀必然加剧对资源的索取力度。二是旅游业的快速发展。作为中国旅游业发展的典型地域 ,1988 年庐山管理局范围内的游客量即已达到了 85.75 万人次 ,到 2000 年时则迅速上升到了 149 万人次 ,山下的庐山区和星子县旅游发展速度虽不及山上 ,但发展势头也不可小觑。根据两地的统计资料 ,2005 年的旅游人数分别达到了 110 万人和 86.4 万人次。为进一步推进旅游业的发展 ,自 20 世纪 90 年代初以来 ,除庐山管理局范围内的景区景点建设外 ,山南的温泉、白鹿洞书院、庐山垅 ,山北的莲花洞、东林寺、石门涧等地均掀起了旅游建设高潮 ,在强化旅游环境的同时 ,也同步使风景区内的部分地段转化为建设用地。三是政策的调控作用 ,国家先后出台的植树造林、退耕还林还草、建立森林公园等措施对庐山景观格局的变化也起到了积极的作用。以庐山区为例 ,1986 年全区有宜林荒山 4000hm² ,在 1996 年采取了“宜造则造 ,宜封则封 ,适地适树 ,因地制宜”的绿化原则 ,到 2000 年时全区基本消灭了宜林荒山。先后成立的三叠泉森林公园、庐山山南森林公园和莲花洞森林公园 ,对于庐山生态环境的改善和景观格局的良性发展也起到了一定的积极作用。为确保庐山世界遗产的可持续发展 ,必须严格控制区域范围内的人类不良干扰 ,逐步恢复自然生态景观格局。

③ 由于本次研究中使用的 TM 影像图分辨率较低 ,加之数据处理过程中的部分误差 ,最终的研究结果仅是区域内的大致发展状况 ,在今后还需使用高分辨率遥感图像 ,划分更为细致的景观类型 ,以便准确地描绘区域景观格局动态 ,从而探知区域景观变迁的内在机制。

References :

[1] Fu B J , Chen L D , Ma K M , *et al.* Landscape ecology : theory and application. Beijing : Science Press , 2001.

[2] Musacchio L , Ozdenerol E , Bryant M , *et al.* Changing landscapes , changing disciplines : seeking to understand interdisciplinarity in landscape ecological change research. *Landscape and Urban Planning* , 2005 , 73 (4) : 326 — 338.

[3] Bai W Q , Zhang Y L , Bao W K. Landscape patterns and dynamics in the upper reaches of the Dadu River. *Journal of Natural Resources* , 2003 , 18 (1) : 76 — 80.

[4] He X Y , Zhao Y H , Hu Y M *et al.* Landscape Changes from 1974 to 1995 in the Upper Minjiang River Basin , China. *Pedosphere* , 2006 , 16 (3) : 398 — 405.

[5] Liu W J , Ma Y X , Hu H B , *et al.* A quantitative analysis on the landscape pattern change in Menglun , Xishuangbanna , China. *Acta Ecologica Sinica* , 2006 , 26 (9) : 3088 — 3097.

[6] Abdullah S A , Nakagoshi N. Changes in landscape spatial pattern in the highly developing state of Selangor , peninsular Malaysia. *Landscape and Urban Planning* , 2006 , 77 (3) : 263 — 275.

[7] Gao Q. Landscape changes and human activities in three gorges reservoir area : the case of Yun yang County. *Acta Ecologica Sinica* , 2005 , 25 (10) : 2499 — 2506.

[8] Kristensen L S , Thenail C , Kristensen S P. Landscape changes in agrarian landscapes in the 1990s : the interaction between farmers and the farmed landscape. A case study from Jutland , Denmark. *Journal of Environmental Management* , 2004 , 71 (3) : 231 — 244.

[9] Fu B J. The spatial pattern analysis of agricultural landscape in the loess area. *Acta Ecologica Sinica* ,1995 ,15 (2) :113 — 120.

[10] Fu B J ,Hu C X ,Chen L D , *et al.* Evaluating change in agricultural landscape pattern between 1980 and 2000 in the Loess hilly region of Ansai County , China. *Agriculture , Ecosystems & Environment* ,2006 ,114 (2 4) 387 — 396.

[11] Wu B ,Ci L J. Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu Us Sandland , Northern China. *Acta Ecologica Sinica* ,2001 ,21 (2) :191 — 196.

[12] Chen Q ,Wu X L. Landscape pattern change and its driving forces in Xixi National Wetland Park since 1993. *Chin J Appl Ecol* ,2006 ,17 (9) : 1677 — 1682.

[13] Mottet A ,Ladet S ,Coqu N , *et al.* Agricultural land use change and its drivers in mountain landscapes :A case study in the Pyrenees. *Agriculture , Ecosystems & Environment* ,2006 ,114 (2 4) 296 — 310.

[14] Guo L ,Yu S X. Spatial temporal changes of Taishan Mountains scenery area landscape patterns. *Chin J Appl Ecol* ,2005 ,16 (4) 641 — 646.

[15] He D J ,Hong W ,Hu H Q. Study on the Spatial Pattern of the Wuyishan Scenery District. *Sci Sil Sin* ,2004 ,40 (1) :174 — 179.

[16] He D J ,Hong W ,Hu H Q. Modeling landscape pattern dynamics and their effects under different disturbances in Wuyishan Scenery District , *Acta Ecologica Sinica* ,2004 ,24 (8) :1602 — 1610.

[17] Li M S ,Peng S K ,Zhong H Y. Landscape pattern and dynamic analysis of Purple Mountain scenic zone based on GIS. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)* ,2004 ,28 (5) 67 — 70.

[18] Liu S ,Wang X Z ,Geng X W , *et al.* Pattern of landscape elements and Its dynamic analysis for the Laoshan beauty spot. *Journal of Northeast Forestry University* ,2004 ,32 (2) :55 — 58.

[19] Tang L J. The spatial pattern analysis of landscape and the landscape planning in Sheshan scenic spot. *Acta Geo Sin* ,1998 ,53 (5) :429 — 437.

[20] Tian Q F ,Yan H P ,Liu Y. A study on the landscape pattern of Xishan National Forest Park ,Beijing. *Journal of Beijing Forestry University* ,1994 , 16 (3) 8 — 16.

[21] Yang B S ,Zheng H ,Yin G Q. Research on Landscape Pattern Change in Zhangjiajie National Forest Park. *Sci Sil Sin* ,2006 ,42 (7) :11 — 15.

[22] Yang D H ,Peng C H ,Luo L H , *et al.* A study on landscape spatial pattern of Yuelu Mountain scenic area. *Journal of Fujian Forestry Sci and Tech* ,2006 ,33 (2) :44 — 47 57.

[23] Zhou C G ,Wen X R ,Ding S. The Dynamic Analysis of Forest Landscape Pattern in Dr. Sun Yat sen’s Mausoleum. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)* ,2005 ,29 (2) 83 — 86.

[24] Dang A R ,Wang X D ,Chen X F , *et al.* Remote Sensing Image Manipulation with ERDAS IMAGINE. Beijing :Tsinghua University Press ,2004.

[25] Bastin G N ,Ludwig J A ,Eager R W , *et al.* Indicators of landscape function : comparing patchiness metrics using remotely sensed data from rangelands. *Ecological Indicators* ,2002 ,1 (4) 247 — 260.

[26] Chen W B ,Xiao D N ,Li X Z. Classification , application , and creation of landscape indices. *Chin J Appl Ecol* ,2002 ,13 (1) :121 — 125.

[27] Nagendra H. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography* ,2002 ,22 (2) :175 — 186.

[28] Liu M S ,Zhang M J. Landscape Ecology :Theory and Methodology. Beijing :Chemical Industry Press 2004.

[29] X u L ,Zhao Y. Forecast of land use pattern change in Dong ling District of Shenyang :an application of Ma rkov process. *Chin J Appl Ecol* ,1993 , 4 (3) :272 — 277.

[30] Wang X L ,Wu Y J. The Application of the Markov Model on the Dynamic Change of Wetland Landscape Pattern in Four-Lake Area. *Journal of Huazhong Agricultural University* ,2002 ,21 (3) 288 — 291.

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. 北京 科学出版社 ,2001.

[3] 摆万奇,张锦锂,包维楷. 大渡河上游地区景观格局与动态. *自然资源学报* ,2003 ,18 (1) :76 ~ 80.

[5] 刘文俊,马友鑫,胡华斌,等. 西双版纳勐仑地区景观格局变化定量分析. *生态学报* ,2006 ,26 (9) 3088 ~ 3097.

[7] 高群. 三峡库区景观格局变化及其影响因素——以重庆市云阳县为例. *生态学报* ,2005 ,25 (10) 2499 ~ 2506.

[9] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析. *生态学报* ,1995 ,15 (2) :113 ~ 120.

[11] 吴波,慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究. 生态学报, 2001 21 (2) :191 ~ 196.

[12] 程乾, 吴秀菊. 杭州西溪国家湿地公园 1993 年以来景观演变及其驱动力分析. 应用生态学报, 2006 17 (9) :1677 ~ 1682.

[14] 郭冻, 余世孝. 泰山风景区景观格局时空变化的研究. 应用生态学报, 2005 16 (4) :641 ~ 646.

[15] 何东进, 洪伟, 胡海清, 等. 武夷山风景名胜区景观空间格局研究. 林业科学, 2004 40 (1) :174 ~ 179 .

[16] 何东进, 洪伟, 胡海清, 等. 武夷山风景名胜区景观空间格局变化及其干扰效应模拟. 生态学报, 2004 24 (8) :1602 ~ 1610.

[17] 李明诗, 彭世揆, 钟宏宇. 基于 GIS 的紫金山风景区景观格局及其动态分析. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2004 28 (5) :67 ~ 70.

[18] 刘申, 王亚珍, 耿叙武, 等. 崂山风景区景观要素空间格局及其动态分析. 东北林业大学学报, 2004 32 (2) :55 ~ 58.

[19] 唐礼俊. 佘山风景区景观空间格局分析及其规划初探. 地理学报, 1998 53 (5) :429 ~ 437.

[20] 田奇凡, 阎海平, 刘燕, 等. 北京西山国家森林公园景观格局的初步研究. 北京林业大学学报, 1994 16 (3) :8 ~ 16.

[21] 阳柏苏, 郑华, 尹刚强, 等. 张家界森林公园景观格局变化分析. 林业科学, 2006 42 (7) :11 ~ 15.

[22] 杨定海, 彭重华, 罗丽华, 等. 岳麓山风景名胜区景观空间格局研究. 福建林业科技, 2006 33 (2) :44 ~ 47 57.

[23] 周春国, 温小荣, 丁胜, 等. 中山陵风景名胜区森林景观格局动态分析. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2005 29 (2) :83 ~ 86.

[24] 党安荣, 王晓栋, 陈晓峰, 等. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法. 北京 清华大学出版社, 2004.

[26] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究. 应用生态学报, 2002 13 (1) :121 ~ 125.

[28] 刘茂松, 张明娟. 景观生态学——原理与方法. 北京 化学工业出版社, 2004.

[29] 徐岚, 赵翌. 利用马尔柯夫过程预测东陵区土地利用格局的变化. 应用生态学报, 1993 4 (3) :272 ~ 277.

[30] 王学雷, 吴宜进. 马尔柯夫模型在四湖地区湿地景观变化研究中的应用. 华中农业大学学报, 2002 21 (3) :288 ~ 291.

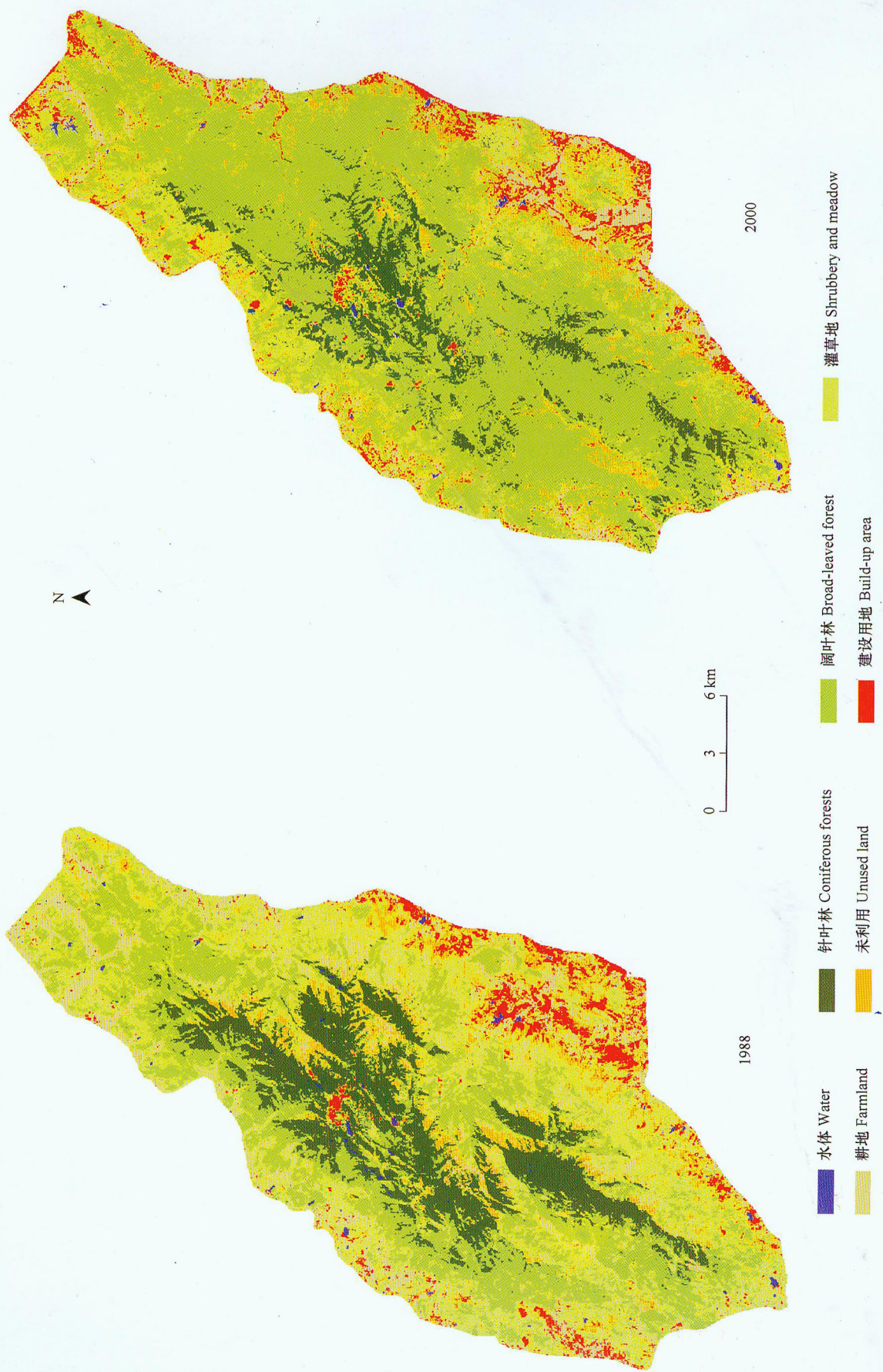


图 1 不同时期庐山的景观格局

Fig.1 The landscape pattern of Lushan Mountain in different years