

重庆市都市区土地利用/覆盖变化的生态响应研究

刘春霞^{1,2}, 李月臣^{1,2}, 罗茜¹

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047; 3. 重庆市高校 GIS 应用研究重点实验室, 重庆 400047)

摘要:土地利用/覆盖变化直接或间接地改变着生态系统的结构和功能,进而影响地表各种景观过程。地表景观过程的变化,必然对人类赖以生存的生态环境产生程度不同的影响。以快速发展的西南山地城市重庆市都市区为例,利用1997年、2006年的土地利用/覆盖类型图,以GIS技术为支撑,计算土地利用转移概率矩阵、景观格局指数,以期从景观格局的角度定量刻画区域景观过程对土地利用/覆盖变化的响应。结果表明,景观呈破碎化趋势,景观多样性有所提高,斑块类型趋于离散,生境质量下降导致内部生境损失,使内部生境更容易遭受外部的侵袭干扰;边缘效应显著,使灌草地由内向外产生生态环境梯度,生物多样性降低;景观内部均质化发展,降低了景观抗干扰的能力,是土地利用/覆盖变化的生态过程响应。要实现区域土地资源的可持续发展和景观生态功能的良性发挥,须注重土地利用格局优化,维护景观生态过程与格局的连续性。

关键词:土地利用/覆盖变化;景观格局;生态响应;重庆市

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0111-05

Ecological Responses of Land Use/Cover Changes in Metropolitan Area of Chongqing

LIU Chun-xia^{1,2}, LI Yue-chen^{1,2}, LUO Xi¹

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China;

2. Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Municipal Education Commission, Chongqing 400047, China)

Abstract: Land use/cover changes directly or indirectly affected the function and structure of landscape ecological system, furthermore, it influences the landscape processing in the surface of the earth. Metropolitan area of Chongqing was chosen as a study area. Based on the land use/cover data in 1997 and 2006, the authors calculated the land use/cover transform matrix, landscape pattern index and analyzed the features of land use/cover and its ecological responses in the study area. The main landscape types are cultivated land and forest in the study area. The changes of landscape pattern showed an increasing landscape fragmentation process, increasing landscape diversity and irregularity of patch shape. The land use/cover changes had caused distinct landscape ecological responses, such as environmental quality deterioration, edge effects intensification. So it is important to intensify the spatial relationships among landscape elements and to maintain the continuity of landscape ecological process and pattern with the urban expansion.

Key words: land use/cover change; landscape structure; ecological response; metropolitan area of Chongqing

土地利用与覆盖变化不仅改变了自然景观的面貌与组成,而且影响了景观中的物质循环和能量分配。无论局地、区域乃至全球尺度,土地利用与覆盖变化是人地关系最为显著的表现形式^[1]。土地利用/覆盖变化(LUCC)研究,作为人类活动对全球变化驱动的重要组成部分以及区域响应机制,愈来愈成为地理学、生态学和土地科学等相关学科的十分活跃的前沿领域^[2-4]。

1995年,国际地圈与生物圈计划(IGBP)与国际人文计划(IHDP)联合成立了土地利用与覆盖变化(LUCC)计划,其他各种国际组织与计划也纷纷将土地利用与覆盖变化作为核心研究内容,至此,土地利用与覆盖变化的响应成为了全球变化与可持续发展研究的前沿与热点^[5]。LUCC对区域生物多样性和重要的生态过程影响深刻,LUCC的生态环境效应研

收稿日期:2010-08-05

修回日期:2010-09-05

资助项目:国家自然科学基金(40801077);教育部重点项目(209100);重庆市自然科学基金(CSTC2008BB7367);重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJ070811);重庆师范大学博士科研启动基金项目(06XLB004);重庆师范大学人文地理市级重点学科基金

作者简介:刘春霞(1975—),女,讲师,硕士,从事资源环境与生态经济研究。E-mail: liuchunxia_2004@163.com

通信作者:李月臣(1974—),男,教授,博士后,主要从事资源环境遥感与地理信息系统研究。E-mail: liyuechen@cqnu.edu.cn

究即属景观生态学的格局与过程研究的范畴^[6]。因此,研究 LUCC 对景观过程的影响对于了解区域生态环境变化、维持生态平衡,促进区域经济与环境的协调发展,具有重要意义。早期景观格局与生态过程的研究多集中在对各种干扰的研究,尤其是关于林火干扰的研究比较著名^[7-9]。此外,为自然保护区设计和生物多样性保护而进行的物种在异质景观中的分布、运动和生存的分析,也是格局与过程的重要研究内容。近年来,景观生态学研究越来越关注异质景观或不同的土地利用及其格局对土壤水分和养分的研究^[10],但缺乏对 LUCC 生态响应的综合定量分析和评价,对重要生态过程的影响机理分析更是少有旁及。目前虽已有学者开始从空间格局探讨 LUCC 的景观生态响应,但研究还有待进一步完善和发展^[11-12]。本文以重庆市为例,对该区域进行土地利用变化和景观生态学研究,了解其景观生态过程变化趋势,以期从景观格局的角度,探讨景观格局变化与生态响应的相互关系,为西南山地城市化发展战略提供科学依据,具有非常重要的现实意义。

1 研究区概况

重庆位于东经 $105^{\circ}17' - 110^{\circ}11'$ 、北纬 $28^{\circ}10' - 32^{\circ}13'$ 的青藏高原与长江中下游平原的过渡地带。其中,都市区界于缙云山和明月山之间,长江与嘉陵江交汇处及其附近河谷地带,包括渝中区、沙坪坝区、江北区、九龙坡区、南岸区、北碚区、渝北区、大渡口区 and 巴南区等 9 个行政区,是重庆市的核心部分,面积 $5\,495\text{ km}^2$,占重庆市土地总面积的 6.6% 。气候属亚热带季风性湿润气候,年平均气温在 18°C 左右,冬季气温平均 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$,夏季平均气温 $27\sim 29^{\circ}\text{C}$,日照总时数 $1\,000\sim 1\,200\text{ h}$,冬暖夏热、无霜期长、雨量充沛、湿润多阴、雨热同季,常年降雨量 $1\,000\sim 1\,400\text{ mm}$ 。地貌以丘陵、低山为主,坡地面积较大,成层性明显。华蓥山的几大支脉自北向南从主城区穿过,将主城区分割成几个长条形区域。1997 年末研究区总人口 528 万人,其中非农业人口 277 万人,占总人口的 52.46% ;地区生产总值 4 723 224 万元,人均 GDP 达到 8 946 元。2006 年末区内总人口 584 万人,其中非农业人口 368 万人,占总人口的 63.01% ;地区生产总值达 15 012 015 万元,人均地区生产总值 25 706 元。10 a 间人口增长了 56 万人,地区生产总值增长了 218% ,人均 GDP 增长了 187% 。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究使用的土地利用/覆盖数据来自于遥感影

像的解译结果。为了保证分析的准确性,研究中分别选取时相基本一致的 1997 年 8 月和 2006 年 8 月的 TM 影像,经假彩色合成、辐射增强、几何配准等增强处理后,利用研究区矢量数据图层提取出研究区范围。参照相关土地利用/覆盖分类系统,借助遥感分类软件,在专家知识的辅助下,利用监督分类方法将研究区分为 5 种土地利用/覆盖类型:耕地、林地、灌草地、水域、城镇建设用地(见附图 4)。经野外实地验证,两期影像的解译精度均在 80% 以上。

2.2 土地利用/覆盖变化数量与结构信息的研究方法

土地利用/覆盖类型与数量变化信息可以利用土地利用/覆盖转移矩阵来进行分析探讨。它可以反映出各土地利用/覆盖类型由 T 时刻向 $T+1$ 时刻的转化过程。利用转移矩阵能够定量说明各种土地利用/覆盖类型之间的相互转化情况,从而揭示它们之间相互转化的比例和速率等特征。根据地图代数原理,本文提取了研究区 1997 年到 2006 年的土地利用/覆盖类型图 A_{ij}^k 和 A_{ij}^{k+1} ,采用(1)式的地图代数方法^[13]:

$$C_{ij} = A_{ij}^k \times 10 + A_{ij}^{k+1} \quad (\text{土地利用类型} < 10 \text{ 时适用}) \quad (1)$$

可以求得由 k 时期到 $k+1$ 时期的土地利用变化图 C_{ij} ,该方法不仅可以从数量上提取土地利用/覆盖变化信息,而且可以直观表达土地利用变化的类型及其空间分布,由此可以求得反映土地利用类型相互转化定量关系的转移概率矩阵(表 1-2)。

2.3 土地利用/覆盖变化的生态响应的研究方法

景观格局是指具体生态系统或存在“元素”的空间关系——主要指与生态系统的大小、形状、数量、类型及构型相关的能量、物质和物种的分布^[14]。分析景观结构的目的在于从看似无序的景观中发现潜在的有意义的有序或规律,并把景观的空间特征与时间过程联系起来,研究其随时间的变化、演替和外界干扰对景观结构的影响,从而能够更为清楚地研究和把握景观结构与生态过程相互作用的内在规律性,揭示生态环境对土地利用/覆盖变化所导致的景观格局变化的响应特征。对于景观生态格局及其变化,一般从两个方面进行分析:一是各类型斑块在景观中的数量分配,即景观的结构及其变化,包括各类型斑块的个数、面积以及由它们所构成的景观整体数量特征如多样性、优势度等;二是构成景观的各类型斑块的空间形态和分布特征,即景观的空间格局及其变化,一般采用分维数、破碎度、分离度等指标进行度量。在实际工作中,往往同时采用多种指数来描述景观格局的数量和空间特征。根据研究区特点和研究需要,本文筛选了部分主要的景观度量指标^[15-16]对研究区的土

地利用/覆盖变化的生态响应情况进行分析^[17-19]。本年、2006 年两个时期的相关景观生态指标进行计算
文利用 Fragstats 3.3 景观统计软件对重庆市 1997（见表 3）。

表 1 1997—2006 年重庆市土地利用/覆盖转移概率矩阵(1) %

类型		2006 年				
		耕地	林地	灌草地	水体	城镇建设用地
1997 年	耕地	74.99	16.15	0.15	1.60	7.11
	林地	29.16	66.17	0.14	0.71	3.82
	灌草地	70.90	17.96	0.71	0.24	10.19
	水体	11.39	4.72	0.03	78.70	5.16
	城镇建设用地	8.76	3.93	0.05	2.35	84.91
	增长比例	—13.12	26.15	—93.77	22.78	138.01

注:表 1 表达的意义为 1997 年土地利用/覆盖类型*i* 转化为 2006 年土地利用/覆盖类型*j* 的转移概率,其每行元素之和为 1。增长比例是指 2006 年各土地利用/覆盖类型相对 1997 年的增长幅度。

表 2 1997—2006 年重庆市土地利用/覆盖转移概率矩阵(2) %

类型		2006 年				
		耕地	林地	灌草地	水体	城镇建设用地
1997 年	耕地	86.33	44.61	69.1	29.46	52.14
	林地	9.66	52.39	17.67	3.72	7.92
	灌草地	2.84	1.71	11.32	0.16	2.59
	水体	0.58	0.57	0.57	64.17	1.66
	城镇建设用地	0.59	0.62	1.34	2.49	35.69

注:表 2 表达的意义为 2006 年土地利用/覆盖类型*j* 由 1997 年土地利用/覆盖类型*i* 转化而来的概率,其每列元素之和为 1。

表 3 研究区各景观格局指标值

土地利用类型	斑块数量/个		总面积/km ²		平均斑块面积/km ²		面积比/%		边缘密度	
	1997	2006	1997	2006	1997	2006	1997	2006	1997	2006
耕地	1490	1377	3847.22	3342.31	2.58	2.43	70.27	61.04	28.74	27.93
林地	2636	2779	1104.52	1393.33	0.42	0.50	20.18	25.44	16.51	23.06
灌草地	2182	104	133.41	8.30	0.06	0.08	2.44	0.15	7.84	0.32
水体	487	1497	169.36	207.94	0.35	0.14	3.09	3.80	4.04	6.06
城建用地	908	2287	220.17	524.01	0.24	0.50	4.02	9.57	4.89	10.08

土地利用类型	斑块形状指数		分维数		破碎度		分离度		多样性	
	1997	2006	1997	2006	1997	2006	1997	2006	1997	2006
耕地	1.65	1.75	1.07	1.08	5.77	6.14	0.04	0.04		
林地	1.64	2.00	1.08	1.11	62.91	52.57	0.17	0.14		
灌草地	1.97	1.70	1.12	1.10	357.12	273.09	1.33	3.50	0.90	1.01
水体	2.37	1.78	1.13	1.09	14.00	35.06	0.48	0.68		
城建用地	1.79	1.72	1.10	1.10	37.44	18.11	0.53	0.33		

3 结果与分析

3.1 土地利用/覆盖变化的时空格局特征

3.1.1 土地利用/覆盖类型与数量变化特征分析

根据表 1—3,1997—2006 的 10 a 里,耕地面积减少了 504.91 km²,减少幅度为 13.12%,其占总面积的比例由 70.27%减少到 61.04%,减少的耕地主要转变为林地和城镇建设用地,转出量分别为 16.15%、7.11%,由此可以看出,退耕还林取得了一定的成效;林地面积增加了 288.81 km²,其占总面积的比例由 20.18%增加到 25.45%,增加的林地主要来源于耕

地和灌草地,比例分别为 44.61%、1.71%;灌草地面积则急剧减少,由 1997 年的 133.41 km² 减少到 2006 年的 8.31 km²,总共减少了 125.10 km²,减少比例为 93.77%,减少的灌草地主要转变为耕地和林地,转出量分别为 70.90%、17.96%,由此可以看出,重庆市主城区灌草地退化趋势十分明显;水体面积增加了 38.58 km²,增加的水体主要来源于耕地,比例为 29.46%;城镇建设用地面积增加了 303.84 km²,由 220.17 km² 增加到 524.01 km²,增加比例为138.01%,是研究区内增加最快的地类,增加的城建用地主要来源于耕地和林地,比例分别为 52.14%、7.92%。由此

不难看出该时期研究区内城市化过程日益显著,城镇用地扩展主要通过占用耕地来实现的结论。

3.1.2 景观格局变化特征分析

(1)景观结构变化特征。某个景观类型占整个景观面积的比例,在相对意义上可体现出每个景观类型对整体景观的贡献率^[20]。研究区的主要景观为耕地和林地,1997年分别占总面积的70.27%、20.18%,2006年分别占61.04%、25.44%。在1997—2006年耕地一直位居优势地位,但其优势地位在下降(表3)。各景观类型的变化存在明显的差异:耕地的斑块数量、总面积、平均斑块面积保持一致的下降趋势,其空间聚集减弱;灌草地的空间聚集不明显,斑块数量、总面积表现为减少,且其斑块数量减少最为明显,平均斑块面积基本没有太大变化;水体的平均斑块面积总体减少,斑块数量明显增加,由1997年的487个增加为2006年的1497个;林地与城镇建设用地的斑块数量、总面积、平均斑块面积则保持一致的上升趋势,两类景观的空间聚集度不断加强。

(2)景观异质性变化特征。斑块形状在一定程度上会影响景观的功能,通常不规则的斑块比规则的斑块具有更异质的生态过程^[21]。平均斑块形状指数最大的是水体,在地图上呈现狭长形。1997—2006年研究区内各景观类型的分维数值变化不大,耕地、林地分维数值呈上升趋势,分别由1997年的1.07、1.08变化为2006年的1.08、1.11,灌草地、水体的分维数值呈下降趋势,分别由1997年的1.12、1.13变化为2006年的1.10、1.09。可见,耕地是受人类活动影响相对较大的景观类型。研究区的多样性指数和均匀度指数分别由1997年的0.90、0.56上升至2006年的1.01、0.63,说明各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布。研究区的景观优势度由0.71降低为0.60,说明景观的异质性程度在逐渐提高,土地利用向着多样化和均匀化方向发展。研究区聚集度指数由1997年的66.24减少到2006年的62.30,表明研究区小斑块个数增加,优势斑块连接度降低,破碎化程度不断升高,说明土地利用促使景观异质性加强,景观内部生境面积在减小。

3.2 土地利用/覆盖变化的生态响应特征

土地利用/覆盖变化不仅改变地表景观的结构,而且对景观中一些重要的生态过程产生巨大的影响。根据重庆市主城区1997—2006年间土地利用、景观格局动态和景观异质性等方面的变化,结合自然、社会和经济等因素,从时空角度分析,可以更好地理解土地利用/覆盖变化的生态响应特征。

3.2.1 耕地和城建用地面积、平均面积整体增大,生

境质量下降 10 a内,景观组分之间转移过程频繁,特别是耕地和城建用地之间,耕地的面积比重、斑块数量和平均斑块面积不断减少,而城建用地的面积比重、斑块数量和平均斑块面积保持一致的上升趋势,反映出区域城镇化进程的加快和生态环境恶化的趋势。景观变化分析的结果表明,耕地是研究区主要景观类型,耕地的变化对区域景观格局的形成和其他景观类型的变化起着非常重要的作用。景观中处于核心地位的耕地面积比重在下降。耕地破碎度指数表现为增加趋势,说明土地利用对耕地的分割程度在增强,耕地的连通性降低,从而不利于区域景观生态系统的物质交换和能量流动,在一定程度上降低了景观的稳定性。从生态意义上看,景观破碎度增加导致了耕地的离散化,使得耕地更容易受其它地类侵蚀,增加了其不稳定性。1997—2006年,耕地、水体景观破碎度指数分别由5.77、14.00增加到6.14、35.06,由于耕地对景观的贡献率最大,所以耕地的破碎化以及平均斑块面积的减少会通过降低总的生境面积导致斑块内部生境损失,使内部生境更容易遭受外部的侵袭干扰,从而降低物种抵抗灾害的能力,并直接影响到物种的繁殖、扩散、迁移和保护。此外,灌草地、水体和城建用地的斑块形状指数均降低,说明这几类景观在人类活动的干扰下,边界趋于规则、平滑,这种变化不利于野生动物穿越其边界并可加剧水土流失,生态系统不稳定性增加,其生态响应特征表现为负面影响。

3.2.2 边缘效应显著 斑块破碎化引起的主要变化是相邻的生态系统被边缘隔离、暴露在其他生态系统中的边缘比例增加、不同生态系统之间产生边缘效应等^[22]。林地、水体和城建用地边缘密度增加,边缘效应加强,使其对周围斑块类型的影响相应增强,景观生态功能增强。其中城建用地边缘密度增加幅度最大,由1997年的4.89增加为2006年的10.08,增加了一倍多,而其景观面积增加、斑块平均面积均呈上升趋势,表明城镇在不断扩张,并且有连片分布的趋势。该景观属于人为景观,该景观面积的增加及其对景观生态过程影响作用的加强,将会对研究区域的生态环境从整体上产生负面影响。灌草地是减少幅度最大的景观类型,其面积由1997年的133.41 km²减少到2006年的8.31 km²,平均斑块面积由1997年的0.06 km²增加到2006年的0.08 km²,破碎度由1997年的357.12减少为2006年的273.09,体现出该景观类型破碎化程度减弱的变化过程和趋势,但其景观破碎度仍然位居最高,其边缘效应非常显著。边缘效应的存在,使灌草地边缘的植物、动物和微生物等会沿灌草地边缘—灌草地内部的梯度发生不同程度的变化,

使灌草地从内向外产生生态环境梯度,原有的生境质量下降,甚至导致某些生物灭绝,生物多样性降低,灌草地生态系统边缘的养分循环过程也随着发生改变。

3.2.3 景观内部均质化发展,降低了景观抗干扰的能力 1997—2006年期间,多样性指数和均匀度指数的增加,以及景观优势度的减少,说明斑块类型在景观中趋于均匀分布,同时斑块空间结构趋于离散化。随着景观的异质性程度的不断提高,土地利用向着多样化和均匀化方向发展,景观内部均质化发展必然导致生态系统稳定性的降低。耕地的锐减、城市的快速发展破坏了原始景观生态格局特征导致了各地类不稳定性的增加,生态系统比较脆弱,降低了区域生态系统抵御外界干扰的能力。

4 结论与讨论

本文从景观格局的角度定量刻画了区域景观过程对土地利用/覆盖变化的响应。在以城市化为主要特征的土地利用背景下,研究区耕地资源的锐减,城镇建设用地的扩张,各景观类型之间的相互转移,使得景观格局发生了很大的变化,对区域景观异质性和生态过程影响极为深刻。由于人类活动的强烈干预,研究区在10 a内景观呈破碎化趋势,景观多样性有所提高,斑块类型趋于离散,生境质量下降导致内部生境损失,使内部生境更容易遭受外部的侵袭干扰;边缘效应显著,使灌草地从内向外产生生态环境梯度,生物多样性降低;不合理的土地开发利用引起生态环境质量下降。有利的变化是林地的平均斑块面积及面积比重均有所增加,且其增加量主要来源于耕地,表明近年来研究区所采取的退耕还林的措施卓有成效。

土地利用/覆盖变化尤其是城镇化进程改变着景观结构和功能。从长远来看,为了实现区域土地资源的可持续发展,在城市扩展过程中,首先应把维护景观生态过程与格局的连续性作为城市规划的内容,尤其应注重城乡过渡带的土地利用格局的优化;其次,严格控制城镇建设用地规模,切实提高建设用地效率,调整和优化土地利用结构,强化耕地保护;第三,采取重要措施保护灌草地资源,从而增加灌草地生态系统的多样性及稳定性;第四,对目前存在的生态环境问题,应采取有效措施进行治理,促进研究区经济和生态环境的良性发展。

参考文献:

[1] 李家洋,陈泮勤,葛全胜,等. 全球变化与人类变化与人类活动的相互作用:我国下阶段全球变化研究工作的重点[J]. 地球科学进展,2005,20(4):371-377.

[2] 史培军,宫鹏,李晓兵,等. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践[M]. 北京:科学出版社,2000.

[3] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域:土地利用/覆盖变化的国际研究方向[J]. 地理报,1996,51(5):553-557.

[4] Roy H Y. Landscape pattern: Background and process [M] // Issues in landscape ecology. Changsha: Hunan Science and Technology Press,2000:37-41.

[5] 傅伯杰,陈利顶. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构与生态过程[M]. 北京:商务印书馆,2002.

[6] 肖笃宁,李秀珍,高峻. 景观生态学[M]. 北京:科学出版社,2007.

[7] 徐化成,李湛东. 大兴安岭北部地区原始森林火干扰历史研究[J]. 生态学报,1997,17(4):337-343.

[8] Pickett S T A, White P S. The ecology of natural disturbance and patch dynamics[M]. Orlando: Academic Press INC, 1985.

[9] Turner M G, Gardner R H, O' Neill R V. Landscape ecology in theory and practice: pattern and process[M]. New York: Springer-Verlag,2001.

[10] 王军,傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. 地理学报,2000,55(1):84-91.

[11] 于兴修,杨桂山,李恒鹏. 典型流域土地利用/覆盖变化及其景观生态效应[J]. 自然资源学报,2003,18(1):13-19.

[12] 李晓文,方创琳. 西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应[J]. 第四纪研究,2003,23(3):280-290.

[13] 史培军,陈晋,潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报,2000,55(2):151-160.

[14] Roy H Y, Mark C. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application of forested landscapes[J]. Progress in Physical Geograph, 1996,20(4):418-445.

[15] 黄俊芳,王让会,师庆东. 基于RS与GIS的三江河流生态景观格局分析[J]. 干旱区研究,2004,21(1):33-37.

[16] 杨庆媛. 西南丘陵山地区土地整理与区域生态安全研究[J]. 地理研究,2003,22(6):698-08.

[17] 李月臣. 中国北方13省市区生态安全动态变化分析[J]. 地理研究,2008,27(5):1150-1160.

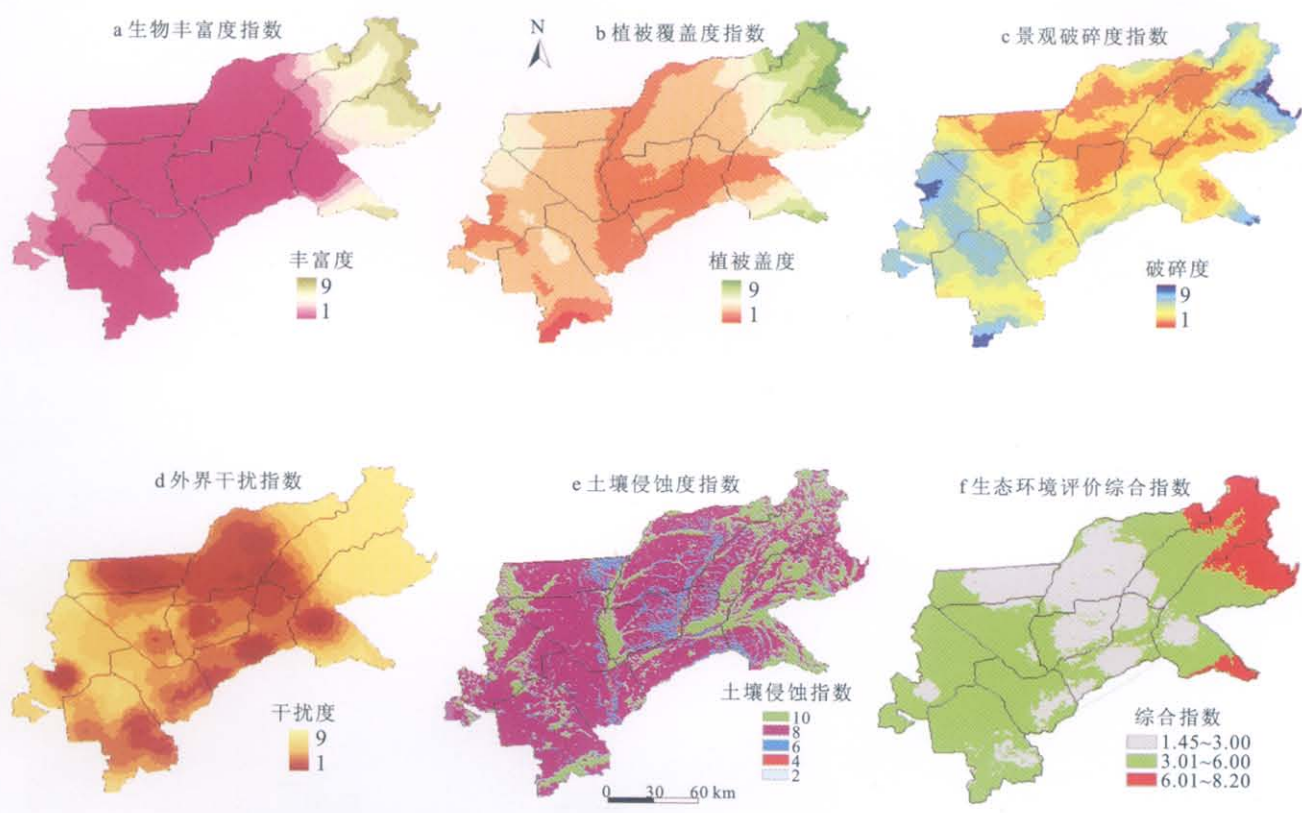
[18] 王根绪,程国栋,钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1551-1556.

[19] Tobias P, Fernando J P, Harald S. Effects of land-use and landscape structure on holmoak recruitment and regeneration at farm level in *Quercus* L. Dehesas[J]. Journal of Arid Environments,2004,57:345-364.

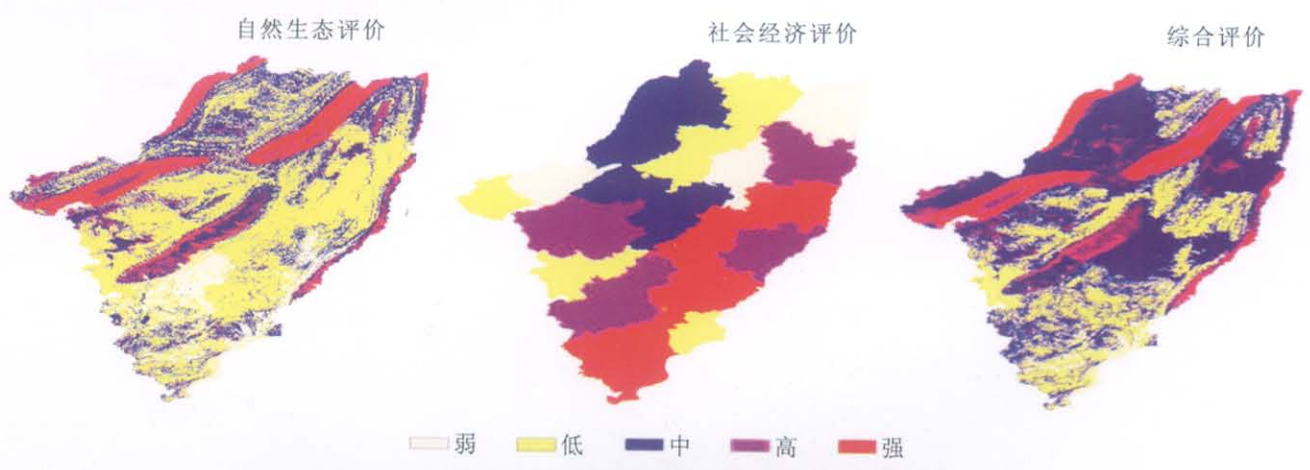
[20] 陈鹏,潘晓玲. 干旱区内陆河流域景观生态风险分析[J]. 生态学杂志,2003,22(4):116-120.

[21] 史培军,宋常青,景贵飞. 加强我国土地利用/覆盖变化及其对生态环境安全影响的研究[J]. 地球科学进展,2002,17(2):161-168.

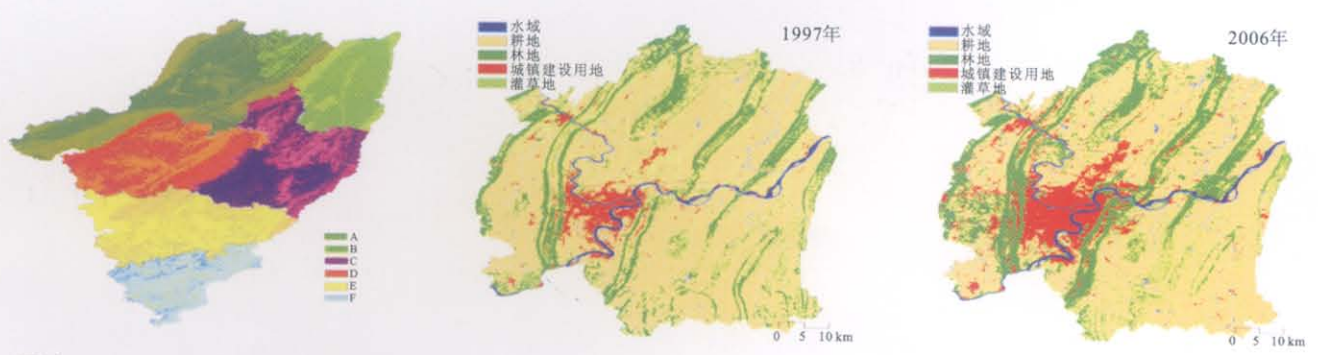
[22] 何丙辉,徐霞,辜世贤. 潼南县土地利用景观格局特征分析[J]. 水土保持研究,2005,12(5):130-133.



附图1 标准化后的绥化市生态环境信息图谱



附图2 生态屏障建设的基础条件评价



(图内A, B, C, ..., F的含义见文章内注释)
附图3 永川区国土生态屏障功能区划

附图4 研究区1997年、2006年土地利用/覆盖图