

# 1986—2006年桂林市景观格局演变分析

胡金龙<sup>1,2</sup>, 周志翔<sup>1</sup>, 王金叶<sup>2</sup>, 李海防<sup>2</sup>, 王永健<sup>1</sup>

(1. 华中农业大学 园艺林学学院, 武汉 430070; 2. 桂林理工大学 旅游学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:**以遥感影像为主要数据源,利用3S技术,对1986—2006年间桂林市景观格局变化进行分析。结果表明:20年间,桂林市区林地、建设用地、裸地呈增加趋势,农田、草地、水体呈减少趋势,建设用地的变化速度最快,景观变化最剧烈;从景观水平上看,斑块数、聚合度、多样性和均匀度指数呈增加趋势,平均斑块面积、边界密度、面积加权分维数和结合度呈降低趋势。从类型水平上看,林地破碎化降低、自然特征增加;农田破碎化加剧、趋向于分散经营;建设用地破碎化增加、集中化趋势明显;水体破碎化、复杂性均有所增加;草地变化剧烈。退耕还林政策的实施、果业种植和乡村旅游的发展、城镇扩张以及农业开发活动是景观格局演变的主要驱动因素。

**关键词:**景观格局; 动态变化; 驱动因素; 桂林市区

**中图分类号:**F301.24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2013)02-0048-05

## Study on Landscape Dynamics of Guilin City from 1986 to 2006

HU Jin-long<sup>1,2</sup>, ZHOU Zhi-xiang<sup>1</sup>, WANG Jin-ye<sup>2</sup>, LI Hai-fang<sup>2</sup>, WANG Yong-jian<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture & Forestry Science, Huazhong Agriculture University, Wuhan

430070, China; 2. College of Tourism, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

**Abstract:**Based on the Landsat TM images, changes of landscape pattern of Guilin City from 1986 to 2006 were studied by using “3S” techniques. The results showed as follows: the woodland, construction land and bare land increased, while the farmland, grassland and water body decreased in Guilin City over the past 20 years. The change of construction land was the fastest, most intensive and frequent among all landscape types. At the level of landscape, the number of patches(NP), aggregation index(AI), Shannon's diversity index(SHDI) and Shannon's evenness index(SHEI) increased, while mean patch area (AREA\_MN), edge density(ED), fractal dimension area-weighted mean (FRAC\_AM) and patch cohesion index(COHESION) decreased in this area. At the level of landscape type, fragmentation of the woodland reduced and natural features were strengthened; fragmentation of farmland increased and tended to be separately managed; fragmentation of construction land increased and had a trend of obvious centralization; fragmentation and complexity of water body both increased; and the change of grassland was intensive. The implementation of the policy of the conversion of farmland into forestland, the planting of fruit, the rapid development of rural tourism, urban sprawl and agricultural activities were the main driving factors of the dynamic changes of landscape pattern in Guilin City.

**Key words:**landscape pattern; dynamic changes; driving factors; Guilin City

景观动态变化是指景观结构、功能、空间格局随时间的变化情况<sup>[1-2]</sup>。近年来,景观格局及其动态变化研究已经成为景观生态学的研究热点和重要研究领域<sup>[3]</sup>。景观格局的研究不仅是景观生态学的核心

内容,也是景观生态评价、景观生态设计与管理等应用研究的基础<sup>[4]</sup>。目前景观格局的研究成果主要集中在两个方面<sup>[5-8]</sup>:一是静态的格局分析,主要探讨景观的空间异质性问题;二是在相对稳定的地域空间

收稿日期:2012-07-13

修回日期:2012-09-12

资助项目:国家科技支撑计划课题(2012BAC16B04);广西自然科学基金资助项目(2012GXNSFB053136);广西科技攻关课题(桂科攻1298006);广西高等学校立项科研项目(201204LX156)

作者简介:胡金龙(1980—),男,山东诸城人,博士,讲师,主要从事景观生态规划、园林设计、土地资源管理等研究。E-mail:43765934@qq.com

通信作者:周志翔(1963—),男,湖北麻城人,教授,博士生导师,主要从事景观生态和森林生态的教学科研工作。E-mail:whzhouzx@126.com

上,探讨景观格局随时间的变化情况,即时间异质性问题<sup>[9-11]</sup>。本文以遥感影像数据为基本信息源,在3S技术的支持下,从景观水平、类型水平两种尺度研究桂林市区1986—2006年景观格局演变特点,分析各景观要素类型之间的空间转化关系,探讨景观格局演变的驱动因素,以期为本地区的可持续发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

桂林市位于广西东北部,地处南岭山系的西南端,行政区地跨东经109°36′—111°29′、北纬24°15′—26°23′,北、东北面与湖南省交界,西、西南面与柳州地区相连,南、东南面与梧州市、贺州市相连,辖5区12县,全市土地面积27 800 km<sup>2</sup>。区域内地形复杂,主要为中、低山地,两侧高、中部低,处在自西北向东南延伸的岩溶盆地中。地貌有岩溶山地、丘陵、台地,岩溶(喀斯特)地貌发育,景观奇特。属中亚热带季风气候,气候温和,光照充足,无霜期长,水热条件优越,年均气温18.9℃,年均降水量1 949.5 mm。截至2006年末,市域人口499.29万,其中市区人口74.42万。耕地面积2 622 km<sup>2</sup>,林地面积15 767 km<sup>2</sup>,森林覆盖率66.5%,城市建成区绿化覆盖率40.16%,绿地率37%,人均公共绿地面积6.93 m<sup>2</sup>。本文主要选取桂林市区(2006年)为研究对象,其处于南北向岩溶盆地内的漓江河谷阶地和峰林平原之上,包括秀峰、叠彩、象山、七星、雁山五区,总面积约559.82 km<sup>2</sup>,是中国历史文化名城和国际著名的风景游览城市。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据收集与处理

采用的数据资料有1986年11月、1998年10月、2006年9月TM遥感影像,桂林市区1:5万地形图,2006年桂林市区1:1万土地利用现状图以及行政区划图。参考全国土地利用分类方法,将景观类型划分为林地、农田、建设用地、水体、草地和裸地。采用基于知识的决策树分类方法对桂林市区景观类型进行解译<sup>[12]</sup>,并对解译结果进行人工修正和检验,以提高解译精度,不同时期遥感影像解译的总体分类精度介于85.75%~89.00%,可以满足研究需求。景观分类结果见附图1。

### 2.2 景观格局指标的选取

尽管目前已经有大量的景观格局指数用于描述不同尺度和不同方面的景观格局特征,但景观格局指标的相关性和冗余性也受到生态学研究者的广泛重

视。参考前人的研究经验<sup>[13-15]</sup>,本文从景观水平和类型水平两种尺度对桂林市区进行景观格局分析。景观水平上选取斑块数(NP)、平均斑块面积(AREA\_MN)、边界密度(ED)、面积加权分维数(FRAC\_AM)、聚合度(AI)、斑块结合度指数(COHESION)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)8个指标。类型水平上选取斑块数(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、边界密度(ED)、平均斑块面积(AREA\_MN)、面积加权分维数(FRAC\_AM)、散布与并列指数(IJI)、聚合度(AI)8个指标。

### 2.3 景观变化特征

采用景观类型动态度( $K$ )和景观整体动态度(LC)两个指标定量评估景观变化动态特征<sup>[16-18]</sup>。计算公式如下:

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

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2LU} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中: $U_a, U_b$ ——研究期初和期末某类型景观的面积; $LU$ ——测量开始时景观总面积; $\Delta LU_{i-j}$ ——研究期内第*i*类景观类型转为非*i*类景观类型面积的绝对值; $T$ ——研究时长。

## 3 结果与分析

### 3.1 景观总体变化特征

1986—2006年间,桂林市区各景观类型中,林地一直居于首位,占总面积比例均在50%以上,呈现先减少后增加的趋势,面积增加较多,净增1 261.26 hm<sup>2</sup>。农田作为第二大景观类型面积持续减少,所占总面积的比例由1986年的32.59%下降到2006年的24.25%,净减4 670.19 hm<sup>2</sup>。与农田变化特征相反,建设用地快速增加,由1986年的3 462.93 hm<sup>2</sup>迅速增加到2006年的7 021.35 hm<sup>2</sup>,净增3 558.42 hm<sup>2</sup>,所占总面积的比例也由1986年的6.19%快速上升到2006年的12.54%。水体先增后减、草地先减后增,总体面积均有所下降,裸地持续增加,但研究期内均未超过总面积的1%,在景观整体变化中反映不明显(表1—2)。

从单一景观类型动态度来看,建设用地的变化速度最快,1986—1998、1998—2006的动态度分别为4.82%和3.56%(表2),远高于其他景观类型。从景观整体动态度所反映的各景观类型的内部变化来看,20 a来桂林市区景观整体动态度呈增加趋势,尤其近8 a来(1998—2006)景观变化剧烈,土地流转频繁。

表 1 1986—2006 年桂林市区各景观类型面积特征

年份	统计类型	水体	林地	建设用地	草地	农田	裸地
1986	面积/hm <sup>2</sup>	3216.51	28315.71	3462.93	2356.92	18243.36	386.37
	比重/%	5.75	50.58	6.19	4.21	32.59	0.69
1998	面积/hm <sup>2</sup>	3387.24	28167.39	5464.44	2085.21	16437.78	439.74
	比重/%	6.05	50.32	9.76	3.72	29.36	0.79
2006	面积/hm <sup>2</sup>	3113.55	29576.97	7021.35	2173.41	13573.17	523.35
	比重/%	5.56	52.83	12.54	3.88	24.25	0.93

表 2 桂林市区各时期景观的动态变化

时间段	统计类型	水体	林地	建设用地	草地	农田	裸地	整体动态度/%
1986—1998	净变量/hm <sup>2</sup>	170.73	—148.32	2001.51	—271.71	—1805.58	53.37	1.07
	动态度/%	0.44	—0.04	4.82	—0.96	—0.82	1.15	
1998—2006	净变量/hm <sup>2</sup>	—273.69	1409.58	1556.91	88.20	—2864.61	83.61	1.67
	动态度/%	—1.01	0.63	3.56	0.53	—2.15	2.38	
1986—2006	净变量/hm <sup>2</sup>	—102.96	1261.26	3558.42	—183.51	—4670.19	136.98	0.81
	动态度/%	—0.16	0.22	5.14	—0.39	—1.28	1.77	

3.2 景观水平的格局变化特征

1986—2006 年间桂林市区景观水平的格局指标都发生了明显变化(表 3)。斑块数先减后增,从 1986 年的 6 816 个增加到 2006 年的 7 530 个,平均斑块面积先增后减,从 1986 年的 8.21 hm<sup>2</sup> 减小到 2006 年的 7.43 hm<sup>2</sup>,景观破碎化程度不断加剧,开始向细粒景观转化。边界密度、面积加权分维数呈先减后增的波动性变化,总体呈下降趋势,斑块总体复杂性降低,

不同类型间斑块的相互作用逐渐加强。聚合度先增后减,景观的空间连接性先加强后有所减弱,先是趋向于由相对较少的大斑块组成,而后趋向于由许多不同类型的小斑块相互交错配置组成,斑块间的聚集程度先加强后减弱<sup>[8]</sup>。斑块结合度指数分别为 98.83%,98.48%,98.82%,接近 1,景观类型的空间自然连通性大,斑块类型分布集中。多样性指数和均匀度指数持续增加,景观异质性增强。

表 3 1986—2006 年桂林市区景观水平的格局指标

年份	NP	AREA_MN	ED	FRAC_AM	AI	COHESION	SHDI	SHEI
1986	6816	8.21	95.13	1.25	85.64	98.83	1.24	0.69
1998	6274	8.92	86.64	1.22	86.92	98.48	1.27	0.71
2006	7530	7.43	93.25	1.23	86.02	98.82	1.28	0.73

3.3 景观类型的格局变化特征

研究期内各景观类型格局指标的变化具有明显差异(表 4)。林地作为桂林市区的主要景观类型,其斑块数目、斑块密度、边界密度持续减少,分别从 1986 年的 1 826 个、3.26 个/100 hm<sup>2</sup>、68.94 m/hm<sup>2</sup> 减少到 2006 年的 1 275 个、2.28 个/100 hm<sup>2</sup>、57.42 m/hm<sup>2</sup>;平均斑块面积和最大斑块指数不断增加,至 2006 年,林地最大斑块指数达 18.95%,斑块破碎化程度降低;面积加权分维数总体上升,散布并列指数和聚合度持续增加,二者分别由 1986 年的 71.13%和 89.27%增加到 2006 年的 80.92%和 91.23%,表明森林景观自然特征增强,森林趋向于均衡分布的空间结构。农田作为第二大景观类型,其斑块数目、斑块密度波动上升,最大斑块指数和边界密度波动下降;研究期内平均斑块面积持续减小,由 1986 年的 12.10 hm<sup>2</sup> 减小到 2006 年的 7.53 hm<sup>2</sup>;面积加权分维数、

聚合度总体下降,分别由 1986 年的 1.27 和 87.26% 下降到 2006 年的 1.24 和 83.71%,散布并列指数持续上升,从 1986 年的 62.84% 增加到 2006 年的 80.28%,表明人类活动对农田景观的干扰作用持续增加,农田景观从趋向于聚集开始向趋向于分散经营转变,斑块边缘趋向规则化。建设用地斑块数目、斑块密度、边界密度、平均斑块面积、面积加权分维数和聚合度虽有波动但整体呈上升态势,破碎化程度增加,一定程度上反映了城市化活动的加强;最大斑块指数持续增加,由 1986 年的 2.07% 急剧增加到 2006 年的 8.29%,增长了 300%,表明建筑用地的集中化趋势明显。水体斑块数目、斑块密度、最大斑块指数总体呈上升趋势,破碎化程度增加;边界密度和面积加权分维数在波动中略有增加,分别由 1986 年的 13.46 m/hm<sup>2</sup> 和 1.18 增加到 2006 年的 14.88 m/hm<sup>2</sup> 和 1.19,斑块复杂性增加,反映出研究期内桂

林作为知名的国际旅游城市特别注重自然水系的保护。草地景观的斑块数目、斑块密度持续增加,斑块数由 1986 年的 1 877 个快速增加到 2006 年的 2 493 个;平均面积、最大斑块指数不断下降,尤其最大斑块指数下降迅速,2006 年仅为 0.02%;面积加权分维数

波动下降,聚合度指数较低且持续下降,从 1986 年的 60.96%下降到 2006 年的 51.74%,表明草地斑块受到外界景观侵占,破碎化程度增加,复杂程度降低。裸地主要是由于人类活动和气候条件,尤其是水文条件变化形成的,由于面积较小,变化趋势不明显。

表 4 1986—2006 年桂林市区类型水平的景观格局指数

类型	年份	NP	PD	LPI	ED	AREA_MN	FRAC_AM	IJI	AI
水体	1986	398	0.71	1.09	13.46	8.08	1.18	80.47	82.58
	1998	583	1.04	1.25	16.92	5.81	1.07	79.09	79.62
	2006	495	0.88	1.17	14.88	6.29	1.19	68.29	80.05
林地	1986	1826	3.26	16.47	68.94	15.51	1.24	71.13	89.27
	1998	1320	2.36	16.98	60.24	21.34	1.09	76.94	90.96
	2006	1275	2.28	18.95	57.42	23.20	1.25	80.92	91.23
建设用地	1986	890	1.59	2.07	19.53	3.89	1.23	78.38	76.65
	1998	669	1.20	4.14	19.23	8.17	1.08	81.46	85.49
	2006	1055	1.88	8.29	26.50	6.66	1.28	73.57	84.34
草地	1986	1877	3.35	0.09	23.62	1.26	1.13	65.79	60.96
	1998	1975	3.53	0.03	22.14	1.06	1.10	68.12	56.87
	2006	2493	4.45	0.02	25.32	0.87	1.12	54.36	51.74
农田	1986	1508	2.69	15.36	59.81	12.10	1.27	62.84	87.26
	1998	1454	2.60	3.94	51.14	11.31	1.09	69.24	87.04
	2006	1803	3.22	6.85	55.72	7.53	1.24	80.28	83.71
裸地	1986	317	0.57	0.05	3.15	1.22	1.10	48.03	65.93
	1998	273	0.49	0.07	3.10	1.61	1.07	82.35	70.76
	2006	409	0.73	0.05	4.19	1.28	1.11	59.99	66.66

3.4 不同景观类型的转移特征

从整个研究期来看,各景观类型都发生了一定程度的转移(表 5),其中草地变化最为剧烈,43.81%的草地转变为林地,水果种植和森林绿化是导致草地面积转化的主要原因;27.73%和 17.80%的面积转变为农田和建设用地,说明农业开发活动和城市扩张对草地转变具有较大的驱动作用;另有少量转变为水体和裸地。裸地景观也发生了明显变化,主要流向建设用地、林地和农田,另分别有 6.26%和 5.35%的面积转变为水体和草地,城市扩张,植被恢复和农业开发活动是裸地转移的主要因素。农田也是转变较为剧烈的景观类型,高达 26.28%的面积转化为林地,主要是因为退耕还林政策的实施和水果的大量种植以及乡村旅游业的发展;9.54%的农田为城市扩张所吞噬,比例虽不高但绝对面积达 1 740.20 hm<sup>2</sup>;6.25%的农田退化为草地主要因为郊区人口外出打工以及种田收益低导致的耕地撂荒;另有少量转变为水体和裸地。水体景观大部分流向林地、建设用地和农田,其比例分别达到 15.43%,10.97%,7.98%,填水造陆用于农、林业开发活动和城市扩张是水体损失的最直接因素。林地景观转移的大部分面积流向农田和

建设用地,其比例分别达到 8.91%和 5.45%,说明农业种植结构的调整及城市的快速扩张是导致林地面积转化的主要原因;3.04%和 0.51%分别转化为草地和裸地,采石场开采,森林砍伐等各种因素带来的林地退化也是林地面积转移的重要因素。

3.5 景观变化驱动力分析

景观格局、功能和变化是自然因素和人为因素共同作用的结果,自然因素常常是在较大时空尺度上作用于景观。由于研究区时空尺度较小,现阶段人为因素的驱动作用处于主导地位。研究期内各景观类型面积转移的主要去向为林地、建设用地和农田(表 5)。桂林市自 2002 年 3 月开始实施退耕还林、水果种植为基础的特色农业和乡村旅游业的快速发展,促使农田、草地、水体等景观类型向林地转变,是林地面积大量增加的直接驱动因素。20 a 间人口的持续稳定增长,改革开放、西部大开发带来的工业化和城镇化以及第三产业的快速发展,直接导致居民住宅、工厂、商业服务、交通等各类建设用地斑块面积的快速增加,大量林地、农田、水体被吞噬。城市的快速扩张、工业化以及农业种植结构的调整是农田大量减少的主要驱动因素。

表 5 1986—2006 桂林市市区景观类型转移矩阵

转移矩阵		2006 年					
		水体	林地	建设用地	草地	农田	裸地
1986 年	水体/hm <sup>2</sup>	2044.65	496.23	352.80	38.84	256.54	27.45
	转化率/%	63.57	15.43	10.97	1.21	7.98	0.85
	林地/hm <sup>2</sup>	336.54	22908.63	1542.64	860.28	2523.96	143.66
	转化率/%	1.19	80.90	5.45	3.04	8.91	0.51
	建设用地/hm <sup>2</sup>	72.44	277.16	2847.44	16.11	180.83	68.95
	转化率/%	2.09	8.00	82.23	0.47	5.22	1.99
	草地/hm <sup>2</sup>	119.51	1032.64	419.47	98.05	653.52	33.73
	转化率/%	5.07	43.81	17.80	4.16	27.73	1.43
	农田/hm <sup>2</sup>	516.21	4793.87	1740.20	1139.44	9912.72	140.92
	转化率/%	2.83	26.28	9.54	6.25	54.34	0.77
	裸地/hm <sup>2</sup>	24.20	68.44	118.80	20.69	45.60	108.64
	转化率/%	6.26	17.71	30.75	5.35	11.80	28.12

4 结论与讨论

(1) 1986—2006 年间桂林市市区各景观类型面积比例发生了较大变化,但林地面积占总面积的比例一直维持在 50%以上。景观总体变化特征表现为农田持续减少,建设用地、裸地持续增加,林地和草地先减后增,水体先增后减。研究期内建设用地的变化速度最快,远高于其他景观类型,景观整体动态呈增加趋势,尤其近 8 a(1998—2006)景观变化剧烈,土地流转频繁。

(2) 景观格局动态分析结果表明,在景观水平上,研究区斑块数目、聚合度、多样性指数和均匀度指数增加,平均斑块面积、边界密度、面积加权分维数和结合度降低,景观开始向细粒景观转化,破碎化程度加剧,异质性增加,复杂性逐渐降低;在景观类型水平上,林地作为桂林市市区的主要景观类型,其破碎化程度降低、森林景观自然特征增加,趋向于均衡分布的空间结构。农田破碎化加剧,人类活动对农田景观的干扰作用持续增加,趋向于分散经营,斑块边缘趋向规则化。建设用地破碎化程度增加、集中化趋势明显。水体破碎化、复杂性均有增加,水系的自然特征得到有效保护;草地变化剧烈、复杂度降低,裸地变化趋势不明显。

(3) 1986—2006 年间桂林市市区各景观类型都发生了不同程度的转移,其中草地的变化最为剧烈,各景观类型转移的主要去向为林地、建设用地和农田。对研究区景观变化的驱动因子的分析表明,退耕还林政策的实施、果业种植、乡村旅游的发展、工业化和城镇化以及第三产业的发展是其主要驱动因素。

(4) 采用遥感影像作为主要信息源,利用 3S 技

术进行景观格局变化研究,其结果的可信度在很大程度上取决于景观分类的精度和景观指数的选取。山体阴影在很大程度上影响着影像分类的精度,桂林属多山地区,如何提高复杂山区景观分类的精度是需要进一步探讨研究的问题。研究结果可为桂林市市区生态资源管理与景观可持续政策的制定提供数据与理论支持。

参考文献:

[1] 常学礼,邬建国.科尔沁沙地景观格局的特征分析[J].生态学报,1998,18(3):225-232.

[2] Crist P J, Kohley T W, Oakleaf J. Assessing land-use impacts on biodiversity using an expert systems tool[J]. Landscape Ecology,2000,15(1):47-62.

[3] 高小红,王一谋,杨国靖.基于 RS 和 GIS 的榆林地区景观格局动态变化研究[J].水土保持学报,2004,18(1):168-171.

[4] 张明阳,王克林,何萍,等.白洋淀流域景观空间格局变化研究[J].资源科学,2005,27(2):134-140.

[5] Farina A. Principles and Methods in Landscape Ecology [M]. London: Chapman&-Hall Press,1998.

[6] Forman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology[J]. Landscape Ecology,1995,10(3):133-142.

[7] 王婷婷,侯淑涛,唐军利,等.七台河市土地利用景观格局动态变化分析[J].水土保持研究,2012,19(3):90-93.

[8] 郑瑜,吴立潮,罗以灿,等.长株潭地区土地利用景观格局动态变化分析[J].中南林业科技大学学报,2011,31(4):119-124.

[9] 钱者东,蒋明康,刘鲁君,等.陕北榆神矿区景观变化及其驱动力分析[J].水土保持研究,2011,18(2):90-93.

[10] 张国坤,卢京花,宋开山,等.吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化[J].生态学报,2012,32(12):3958-3965.

(下转第 65 页)

[7] Mikan C J, Schimal J P, Doyle A P. Temperature controls of microbial respiration in arctic tundra soil above and below freezing[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002,34(11):1785-1795.

[8] Yu H, Luedeling E, Xu J. Winter and springs warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau [J]. *PNAS*,2010,107(51):22151-22156.

[9] 秦纪洪,武艳镯,孙辉,等. 低温季节西南亚高山森林土壤轻组分有机碳动态[J]. *土壤*,2012,44(3):413-420.

[10] 王琴,范曾丽,孙辉,等. 低温季节西南亚高山森林土壤可溶性有机碳动态[J]. *四川农业大学学报*,2012,30(1):18-23.

[11] 黄雪菊,王琴,孙辉,等. 不同地表覆盖下低温季节对西南亚高山土壤微生物量碳动态的影响[J]. *山地学报*, 2012,30(1):543-549.

[12] 汤懋苍,程国栋. 青藏高原近代气候变化及其对环境的影响[M]. 广州:广东科技出版社,1998.

[13] 郭继勋,姜世成,林海俊,等. 不同草原植被碱化草甸土的酶活性[J]. *应用生态学报*,1997,8(4):412-416.

[14] 余方明,刘华,刘可慧,等. 川西亚高山暗针叶林恢复初期土壤酶活性研究[J]. *生态环境学报*,2012,21(1):64-68.

[15] 杨万勤,钟章成,陶建平,等. 缙云山森林土壤酶活性与植物多样性的关系[J]. *林业科学*,2001,37(4):124-128.

[16] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社, 1986.

[17] 杨涛,李玉英. 高寒草甸土壤脲酶活性的研究[J]. *生态学报*,1988,8(3):220-225.

[18] 徐振锋,唐正,万川,等. 模拟增温对川西亚高山两类针叶林土壤酶活性的影响[J]. *应用生态学报*,2010,21(11):2727-2733.

[19] 熊浩仲,王开运,杨万勤. 川西亚高山冷杉林和白桦林土壤酶活性季节动态[J]. *应用与环境生物学报*,2004,10(4):416-420.

[20] 秦纪洪,孙辉,易之煦. 低温季节西南亚高山森林土壤多酚氧化酶动态研究[J]. *土壤通报*,2012,43(5):1074-1079.

[21] Schimel J P, Bilbrough C, Welker J M. Increased snow depth affects microbial activity and nitrogen mineralization in two Arctic tundra communities[J]. *Soil Biology and Biochemistry*,2004,36(2):217-227.

[22] Tiwari M B, Tiwari B K, Mishra R R. Enzyme activity and carbon dioxide evolution from upland and wetland rice soils under three agricultural practices in hilly regions[J]. *Biology and Fertility of Soils*,1989,7(4):359-364.

[23] van Bochove E, Prévost D, Pelletier F. Effects of freeze-thaw and soil structure on nitrous oxide produced in a clay soil[J]. *Soil Science Society of America Journal*,2000,64(5):1638-1643.

[24] Wagner-Riddle C, Thurtell G W, Kidd G K, et al. Estimates of nitrous oxide emissions from agricultural fields over 28 months[J]. *Canadian Journal of Soil Science*,1997,77(2):135-144.

[25] Buckeridge K M, Grogan P. Deepened snow alters soil microbial nutrient limitations in arctic birch hummock tundra [J]. *Applied Soil Ecology*,2008,39(2):210-222.

(上接第 52 页)

[11] 王佑汉,赵宏达,任茜. 成都平原土地利用景观格局变化及驱动因素分析:以成都市龙泉驿区为例[J]. *水土保持研究*,2007,14(6):198-201.

[12] 高凯,周志翔,滕明君. 基于知识分类法的 TM 遥感影像景观分类制图:以武汉市为例[J]. *山东建筑大学学报*,2010,25(4):456-459.

[13] 李欢,刘霞,姚孝友,等. 蒙阴县土地利用景观格局动态分析[J]. *水土保持研究*,2011,18(5):43-47.

[14] 郭砾,杜世宏,赵松婷,等. 黔东南地区景观格局的动态变化及驱动力[J]. *山地学报*,2011,29(5):543-550.

[15] 刘晶,刘学录,王哲锋. 祁连山东段景观格局变化及其驱动因子研究[J]. *草业学报*,2011,20(6):26-33.

[16] 徐嘉兴,李钢,渠俊峰,等. 洪泽湖地区土地利用与景观格局演变[J]. *长江流域资源与环境*,2011,20(10):1211-1215.

[17] 郑忠明,李华,周志翔,等. 城市化背景下近 30 年武汉市湿地的景观变化[J]. *生态学杂志*,2009,28(8):1619-1623.

[18] 张静,马彩虹,王启名,等. 汉中市土地利用变化的动态变化研究[J]. *水土保持研究*,2012,19(1):112-116.