

## 基于多时相 Landsat 影像的庆元县植被覆盖变化研究

张超<sup>1</sup>, 余树全<sup>1</sup>, 李土生<sup>2</sup>

(1. 浙江农林大学 国际空间生态与生态系统研究中心, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省林业厅 生态中心, 浙江 杭州 310020)

**摘要:** 利用多时相陆地资源卫星 Landsat TM 和增强型专题绘图仪 ETM 影像数据, 使用像元二分模型对浙江省庆元县 1994–2007 年植被覆盖度及其动态变化进行研究。结果表明: 13 a 来, 庆元县植被覆盖度持续增长, 至 2007 年高植被覆盖度区域占全县总面积的 90.77%, 植被覆盖度等级间的转移方向以中高覆盖区(50%~75%)向高覆盖区(>75%)转变为主, 其中 1994 年至 1999 年间的变化最为显著。13 a 间植被覆盖度随坡度的增大而增加, 坡度越小植被覆盖度增长幅度越大, 特别是地形平缓区域(<15°)的植被覆盖度增长幅度达 15% 以上。全县植被覆盖度时空变化分级统计结果显示, 1994–1999 年, 庆元县东部地区的植被恢复较为明显, 1999–2007 年, 百山祖自然保护区等地的植被恢复较好。13 a 间各类植被覆盖区的景观破碎度不断降低, 平均斑块面积不断增大, 特别是高覆盖区在总体面积大幅提高的同时, 平均斑块面积由 9.66 hm<sup>2</sup> 增长到 182.82 hm<sup>2</sup>, 增加了 18 倍。图 2 表 6 参 15

**关键词:** 森林生态学; 植被覆盖度; Landsat 影像; 像元二分模型; 庆元县

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)01-0072-08

## Image analysis of vegetation coverage and changes (1994–2007) in Qingyuan County using multi-temporal Landsat remote sensing

ZHANG Chao<sup>1</sup>, YU Shu-quan<sup>1</sup>, LI Tu-sheng<sup>2</sup>

(1. International Research Center of Spatial and Ecosystem Ecology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300; 2. Ecological Management Center, Forestry Department of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China)

**Abstract:** It is very important to obtain vegetation information for evaluating ecology environment. In this study, the dimidiate pixel model was used to determine vegetation coverage of Qingyuan County from 1994 to 2007 based on multi-temporal Landsat Thematic Mapper (TM) and Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM<sup>+</sup>) image data. Then temporal-spatial changes of the vegetation coverage during this period were analyzed using a change classification method and six landscape fragmentation indexes with four types of vegetation coverage: high (>75% coverage), medium high (50%–75%), medium low (25%–50%), and low (<25%). Results showed that in 2007, 90.8% of the total area was considered a high vegetation coverage area with 657.4 km<sup>2</sup> of the medium high vegetation coverage area during these 13 years being converted into high vegetation coverage, especially from 1994 to 1999. During the research period, the steeper sloping area had higher vegetation coverage. However, the less the slope, the faster the vegetation coverage increased with gently sloping areas (<15°) increasing to over 15% coverage. Results of vegetation coverage change showed that in the eastern part of Qingyuan County, vegetation restoration was favorable from 1994 to 1999 as it was in the Baishanzu Nature Reserve from 1999 to 2007. Also, during the 13 year research period, the landscape fragmentation index continuously decreased, whereas the mean patch size increased, especially for the high vegetation coverage area that saw an increase from 9.66 to 182.82 hm<sup>2</sup>. Thus, from 1994 to 2007, vegetation coverage in

---

收稿日期: 2010-04-27; 修回日期: 2010-07-22

基金项目: 浙江省重大科技攻关项目(2006C12060)

作者简介: 张超, 从事生态规划研究。E-mail: cz2019@126.com。通信作者: 余树全, 教授, 博士, 从事生态系统生态、群落生态和生态规划等研究。E-mail: yushq@zafu.edu.cn

Qingyuan County increased favorably. Our study confirms that this is a feasible approach in the estimation of vegetation coverage over large area from remote sensing data. [Ch, 2 fig. 6 tab. 15 ref.]

**Key words:** forest ecology; vegetation coverage; Landsat remote sensing image; dimidiate pixel model; Qingyuan County

植被是表征生态环境的主要因子<sup>[1]</sup>。植被覆盖度是描述植被生长状况和生态变化的重要参数。获取地表植被覆盖及其变化信息，对揭示区域生态过程与植被空间变化规律，探讨变化的驱动因子，分析评价区域生态环境质量具有重要意义<sup>[2]</sup>。利用遥感数据估算地表植被覆盖率的主要方法可归纳为回归模型法、像元分解法和植被指数转换法。由于遥感影像几何配准误差、地面采样大小与像元大小不一致以及像元的非均质性等原因，利用回归模型法精确建立植被盖度的实测值与像元值之间的统计关系比较困难，另外同步实测植被覆盖率数据的获取也有较大难度<sup>[3-4]</sup>。线性光谱模型(linear spectral mixing model)是像元分解的常用方法。这种方法在干旱半干旱地区和城市及周边等地区的研究工作中得到成功应用<sup>[5-8]</sup>，但在阴影区植被与非阴影区植被的区分以及端元光谱的选取方面，仍需进一步深入研究和探索。植被指数转换法中以像元二分模型使用最为广泛，该方法在大尺度、植被覆盖度高的区域有较好表现<sup>[9-10]</sup>。李苗苗等<sup>[11]</sup>根据植被指数估算植被覆盖度的原理，建立了利用归一化植被指数  $I_{NDV}$  定量估算植被覆盖度的模型，对密云水库上游植被覆盖度进行了遥感估算和实地验证。莫宏伟等<sup>[2]</sup>使用像元二分模型，生成了陕北榆阳区 1978–2005 年植被覆盖度变化图谱，分析了该区近 30 a 来植被覆盖度的时空变化特征。苏伟等<sup>[1]</sup>基于 1975–2000 年 4 期遥感影像，使用像元二分模型构建植被覆盖度指数，考察了辽宁省阜新市海州露天煤矿排土场 25 a 来植被生长状况及时空变化特征。浙江省庆元县是中国香菇 *Lentinus edodes* 的著名产地之一。20 世纪 90 年代初期，由于香菇生产大量消耗森林资源，生态环境日益恶化。该县从 20 世纪 90 年代中期开始，对香菇生产基质进行调整，加大了森林植被恢复和保护的力度。笔者利用多时相陆地资源卫星 Landsat 影像资料，使用像元二分模型提取植被覆盖度，对庆元县 1994–2007 年间的植被覆盖情况及其动态变化进行研究，对植被覆盖度的空间格局进行定量分析，旨在探索该模型在亚热带地区的应用，从而为植被恢复和生态环境建设监测提供借鉴，亦为庆元县的森林植被恢复和保护工作提供相关依据。

## 1 研究区域及数据

### 1.1 区域概况

浙江省庆元县地处东南沿海的闽浙丘陵区闽浙山地( $27^{\circ}25' \sim 27^{\circ}51' N$ ,  $118^{\circ}50' \sim 119^{\circ}30' E$ )，气候四季分明，季风影响显著，潮湿多雨，年平均气温为  $17.4^{\circ}C$ 。全县土地总面积为  $1\,898.00\text{ km}^2$ ，其中林业用地  $1\,622.79\text{ km}^2$ ，占  $85.5\%$ ；农业耕地  $106.29\text{ km}^2$ ，占  $5.6\%$ ；河流  $22.78\text{ km}^2$ ，占  $1.2\%$ ；房屋、道路及其他用地  $146.15\text{ km}^2$ ，占  $7.7\%$ 。土壤类型分布规律一般是海拔  $800\text{ m}$  以上山地为黄壤； $800\text{ m}$  以下山地为红壤，局部有黄红壤；中、西部低山台地的山垄、山坡及洪积地等开阔平缓地区多为水稻土。原生植被为亚热带常绿阔叶林，经多次破坏及近几十年的天然更新和人工更新后，现在的植被为人工植被和天然次生植被的混合体，主要类型有常绿阔叶林、针阔混交林、松林、竹林及人工栽植的杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林等。

### 1.2 数据来源及预处理

研究选取了 1994 年 9 月 12 日 Landsat/TM (thematic mapper)，1999 年 9 月 23 日 Landsat/ETM (enhanced thematic mapper) 和 2007 年 9 月 13 日 Landsat/ETM 共 3 期影像作为数据源。使用 ENVI(the environment for visualizing images)4.7 图像处理软件，利用庆元县  $1:1$  万地形图对 3 期遥感图像进行几何纠正，分别选取 50 个控制点，纠正后的误差控制在 0.5 个像元以内。为了准确提取植被信息，使用 FLAASH 模块对 3 期遥感数据分别进行了大气辐射校正。将经过校正的图像与研究区行政边界图叠加，裁剪出研究区的图像，最终计算生成植被归一化指数( $I_{NDV}$ )图像。 $I_{NDV}$  的计算公式为： $I_{NDV} = (\rho_{NIR} - \rho_R)/(\rho_{NIR} + \rho_R)$ 。其中， $\rho_{NIR}$ ， $\rho_R$  分别为第 4 波段近红外波段和第 3 波段可见光波段的地表反射率。

利用最大似然法将研究区域内的土地覆盖类型划分为草地、农田、林地、城镇用地、水体和裸地共

6大类。参考同期的地面资料，对分类结果进行精度检验，Kappa指数为0.8，由此获得研究区土地利用数据。土壤数据来自全国第二次土壤普查中土类的信息。

## 2 基本原理和研究方法

### 2.1 植被覆盖度遥感估算模型

像元二分模型是一种简单实用的遥感估算模型，它假设一个像元的地表由有植被覆盖部分与无植被覆盖部分组成，而遥感传感器观测到的光谱信息也由这2个组分因子线性加权合成，各因子的权重是各自的面积在像元中所占的比率，其中植被覆盖度可以看作是植被的权重。

归一化植被指数( $I_{NDV}$ )是一种由遥感传感器接收的地物光谱信息推算而得的反映地表植被状况的定量值，是植物生长状态以及植物生长空间分布密度的最佳指示因子，与植物分布密度呈线形相关。根据像元二分模型，1个像元的 $I_{NDV}$ 值也可表示为由有植被覆盖部分地表与无植被覆盖部分地表组成的形式。因此，计算植被覆盖度( $F_c$ )的公式可为： $F_c = (I_{NDV} - I_{NDV_{soil}}) / (I_{NDV_{veg}} - I_{NDV_{soil}})$ 。其中， $I_{NDV_{soil}}$ 为完全是裸土或无植被覆盖区域 $I_{NDV}$ 值， $I_{NDV_{veg}}$ 则代表完全植被所覆盖的像元的 $I_{NDV}$ 值，即纯植被像元的 $I_{NDV}$ 值。 $I_{NDV_{soil}}$ 对于大多数类型的裸地表面，理论上应该接近0，但由于受众多因素的影响， $I_{NDV_{soil}}$ 的变化范围一般在-0.1~0.2。 $I_{NDV_{veg}}$ 代表全植被覆盖像元的最大值，由于植被类型的影响， $I_{NDV_{veg}}$ 值也会随着时间而改变。因此，应该把土地利用图和土壤图作为计算 $I_{NDV_{veg}}$ 和 $I_{NDV_{soil}}$ 值的基础。

### 2.2 植被覆盖度计算及分类

分别提取每一土地利用和土类单元内的 $I_{NDV}$ ，针对每个单元计算 $I_{NDV}$ 值的频率累积值，根据频率累积表，土类单元内取频率为5%的 $I_{NDV}$ 值为 $I_{NDV_{soil}}$ ，土地利用单元内取频率为95%的 $I_{NDV}$ 值为 $I_{NDV_{veg}}$ ，之后使用土地利用数据和土壤类型数据叠加生成的土地利用-土壤图对 $I_{NDV}$ 图进行分割，分别代入相应的 $I_{NDV_{soil}}$ 和 $I_{NDV_{veg}}$ 值计算植被覆盖度。为了便于比较分析研究区内植被生长空间分布情况，按照统计特征值将全区分为4个植被覆盖类型：植被覆盖面积大于75%为高覆盖区，50%~75%为中高覆盖区，25%~50%为中低覆盖区，小于25%为低覆盖区(图1)。

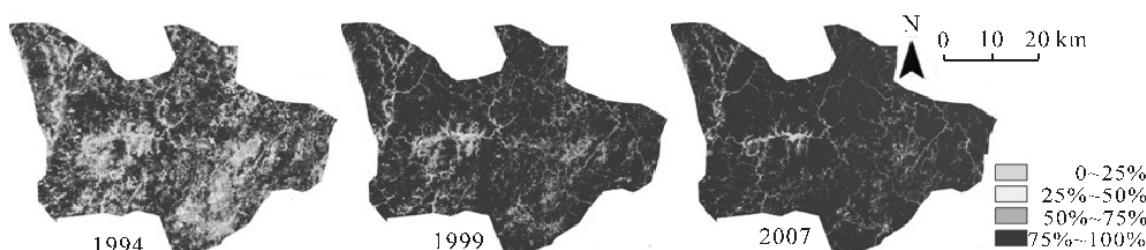


图1 庆元县1994年、1999年和2007年植被覆盖度空间分布

Figure 1 Spatial distribution of vegetation fraction of Qingyuan County in 1994, 1999 and 2007

### 2.3 植被覆盖度变化分析

①使用地理信息系统软件ARCGIS 9.2对不同时期遥感图像的植被覆盖度分级结果进行转移矩阵运算，得出1994~1999年和1999~2007年间庆元县不同植被覆盖度等级之间的转移量和转移率。②利用ARCGIS 9.2分区统计功能，计算各坡度级在各年度的平均植被覆盖度。③将研究区植被覆盖等级数据转成GRID格式，利用景观格局分析系统软件FRAGTATS 3.3计算各年度不同植被覆盖区的相关景观指数。④为了更好地描述研究区植被生长变化的时空变异情况，利用公式计算植被覆盖度变化情况，用 $D$ 来表示较晚年份植被覆盖度 $F_t$ 与较早年份植被覆盖度 $F_{t-1}$ 的差值<sup>[12]</sup>，即： $D = F_t - F_{t-1}$ 。

基于上式的植被覆盖度变化计算结果使用下式进行标准化分级，共分为负向变化( $C < -1$ )、正向变化( $C > 1$ )和无显著变化( $-1 \leq C \leq 1$ )3种情况<sup>[13]</sup>(图2)： $C = (D_i - \bar{D})/D_s$ 。其中， $D_i$ 为植被覆盖度变化*i*象元值， $\bar{D}$ 为植被覆盖度变化平均值， $D_s$ 为标准差。

### 3 结果与分析

#### 3.1 植被覆盖度构成与变化

从表 1 看出, 1994 年以中高覆盖区和高覆盖区为主, 分别占总面积的 38.01% 和 53.32%, 中低覆盖区域占总面积的 8.18%; 1999 年和 2007 年则以高覆盖区为主, 分别占各自总面积的 82.09% 和 90.77%; 13 a 间, 高覆盖区的面积有明显提高, 由 1994 年的 1 039.87 km<sup>2</sup> 增加到 2007 年的 1 769.68 km<sup>2</sup>, 增加了 729.81 km<sup>2</sup>, 其中以 1994 年到 1999 年增长最为显著, 高覆盖区由原先的 53.32% 提高到 82.09%, 增加了 561.84 km<sup>2</sup>; 另外, 13 a 间, 中高覆盖区的面积有明显降低, 由 1994 年的 741.39 km<sup>2</sup> 减少到 2007 年的 150.09 km<sup>2</sup>, 减少了 591.3 km<sup>2</sup>, 其中 1994 年到 1999 年减少了 421.16 km<sup>2</sup>。同时也可以看到, 低覆盖区虽然面积不大, 但 1994 年到 1999 年有明显减少, 1999 年到 2007 年有明显增加。

表 1 庆元县不同时期、不同植被覆盖度等级统计

Table 1 Statistical classification result of different vegetation coverage of Qingyuan County in 1994, 1999 and 2007

植被覆盖度 分级/%	平均植被覆盖度/%			面积/km <sup>2</sup>			面积百分比/%		
	1994	1999	2007	1994	1999	2007	1994	1999	2007
0 ~ 25	19.15	19.31	16.86	9.63	3.24	6.26	0.49	0.17	0.32
25 ~ 50	41.24	40.86	40.03	159.46	25.89	23.69	8.18	1.33	1.21
50 ~ 75	66.84	68.23	67.63	741.39	320.23	150.09	38.01	16.42	7.70
75 ~ 100	79.73	81.82	86.59	1 039.87	1 601.35	1 769.68	53.32	82.09	90.77

#### 3.2 不同植被覆盖度等级变化的转移趋势

从表 2 和表 3 看出, 1994 – 1999 年间有 4.19 km<sup>2</sup> 的低覆盖区转变为中低覆盖区, 转移率为 43.51%; 有 107.98 km<sup>2</sup> 的中低覆盖区转变为中高覆盖区, 转移率为 67.72%; 有 560.55 km<sup>2</sup> 的中高覆盖区转变为高覆盖区, 转移率为 75.61%。1999 – 2007 年间, 有 1.05 km<sup>2</sup> 的低覆盖区转变为中低覆盖区, 转移率为 37.50%; 有 9.85 km<sup>2</sup> 的中低覆盖区转变为中高覆盖区, 转移率为 38.33%; 有 212.68 km<sup>2</sup> 的中高覆盖区转变为高覆盖区, 转移率为 66.46%。

表 2 1994 – 1999 年庆元县植被覆盖度等级转移矩阵

Table 2 Transfer matrix of vegetation coverage of Qingyuan County in 1994 – 1999

1994年	1999 年							
	低覆盖区		中低覆盖区		中高覆盖区		高覆盖区	
	面积/km <sup>2</sup>	转移率/%						
低覆盖区	2.15	22.31	4.19	43.51	2.14	22.2	1.15	11.98
中低覆盖区	0.61	0.39	17.73	11.12	107.98	67.72	33.13	20.77
中高覆盖区	0.19	0.03	3.24	0.44	177.41	23.93	560.55	75.61
高覆盖区	0.04	0	0.61	0.06	32.70	3.14	1 006.52	96.79

表 3 1999 – 2007 年庆元县植被覆盖度等级转移矩阵

Table 3 Transfer matrix of vegetation coverage of Qingyuan County in 1999 – 2007

1999年	2007 年							
	低覆盖区		中低覆盖区		中高覆盖区		高覆盖区	
	面积/km <sup>2</sup>	转移率/%						
低覆盖区	1.65	58.95	1.05	37.50	0.07	2.68	0.02	0.87
中低覆盖区	2.34	9.1	11.84	46.06	9.85	38.33	1.67	6.50
中高覆盖区	1.96	0.61	8.31	2.60	97.04	30.33	212.68	66.46
高覆盖区	0.31	0.02	2.49	0.16	43.12	2.69	1 555.30	97.13

综合来看,庆元县的植被覆盖度水平13 a来保持了良好的增长势头,植被恢复明显,植被覆盖度等级以75%~100%的高覆盖区为主体,而13 a来植被覆盖度等级间的转移方向也以中高覆盖区向高覆盖区的转变为主,其中以1994~1999年这段时期的变化最为显著,1999~2007年间植被生长状况逐渐步入稳定阶段。

### 3.3 植被覆盖度坡度分布差异分析

将庆元县地形坡度分为5级,其中0°~5°区域占全县面积的5.08%,5°~15°区域占28.04%,15°~25°区域占36.02%,25°~35°区域占24.66%,35°以上区域占6.21%。对植被覆盖度按坡度进行统计,结果如表4所示。1994~2007年间庆元县0°~5°,5°~15°,15°~25°,25°~35°以及35°以上区域的植被覆盖度分别增加了15.79%,15.37%,12.55%,10.73%和10.10%。其中,1994~1999年间0°~5°和5°~15°坡度平缓区域的植被覆盖度增长量相对较大,分别为11.66%和10.34%;1999~2007年间各坡度等级的植被覆盖度增长量较为平均在5%左右,25°~35°和35°以上区域的增长量相对较大,分别为5.80%和6.65%。

表4 不同时期庆元县植被覆盖度及其变化分坡度级统计

Table 4 Statistical information of vegetation coverage in different slopes of Qingyuan County in 1994, 1999 and 2007

坡度级/(°)	植被覆盖度/%					
	1994	1999	2007	1994~1999	1999~2007	1994~2007
<5	54.96	66.62	70.76	11.66	4.14	15.79
5~15	65.71	76.05	81.08	10.34	5.03	15.37
15~25	73.05	80.41	85.59	7.36	5.19	12.55
25~35	76.92	81.85	87.65	4.92	5.8	10.73
>35	77.98	81.44	88.09	3.45	6.65	10.10

由此得知,13 a间,庆元县各坡度等级的植被覆盖度均有较大的增长幅度,其总体空间分布特征表现为植被覆盖度随地形坡度的加大而增加,就变化程度来说则是地形平缓的区域相对明显。坡度较大的区域是水土流失的重点治理区,自然是植被抚育和恢复的重点区段,而坡度较小的区域作为经济建设和居民生活的主要地段,其植被覆盖度的明显增加体现了地方政府的生态发展意识。

### 3.4 植被覆盖度空间变化分析

由图2和表5可知,1994~1999年间,植被覆盖度发生显著性正向变化有251.77 km<sup>2</sup>,占总面积的12.91%,主要分布于东部的龙溪、举水、岭头、荷地等坡度相对平缓的乡镇;植被覆盖度发生显著性负向变化有158.95 km<sup>2</sup>,占总面积的8.15%,主要分布于陈龙溪、后广、白水际、杨朗坑、石记岱等坡度在25°以上的村镇,分布比较零散。1999~2007年间植被覆盖度发生显著性正向变化有116.44 km<sup>2</sup>,占总面积的5.97%,主要分布于白水际、仙山、淤上等地;植被覆盖度发生显著性负向变化有121.35 km<sup>2</sup>,占总面积的6.22%,主要分布在松源、潘同坞、仙庄等坡度较为平缓的乡镇。

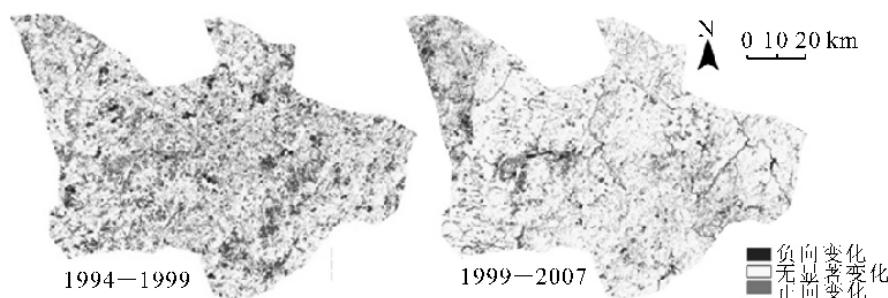


图2 庆元县2个时期植被覆盖度变化空间分布图

Figure 2 Temporal variation of vegetation coverage in Qingyuan County in 2 phases

庆元县地处山区, 作为浙江省的重要林区, 几十年来所经历的是从林业经济到香菇经济再到竹木制品经济、旅游经济的发展转变。东部地区包括龙溪、举水、岭头、荷地等乡镇, 是该县经济欠发达区, 人口占全县的 60%, 以香菇经济为主, 20 世纪 90 年代初期由于森林过度砍伐、毁林毁草开垦, 生态环境问题非常严峻。从 20 世纪 90 年代中期开始, 庆元县对香菇生产基质进行调整, 加大了森林植被恢复和保护的力度, 所以至 1999 年, 该县东部地区的植被恢复最为明显。1998 年编制的《庆元县生态环境建设规划》将百山祖、合湖 2 个乡镇与百山祖国家级自然保护区作为保护生物多样性, 发展生态旅游的重点区域, 至 2007 年白水际等地的植被恢复较好。庆元县西部地区包括黄田镇、松源镇等地, 地势较低, 经济基础相对较好, 是重要的粮食产区和工业发展区, 随着近年来地方经济的高速发展其植被覆盖度有所降低。

表 5 庆元县 2 个时期植被覆盖度变化分级统计

Table 5 Statistical information of vegetation coverage change classification in Qingyuan County in 2 phases

年份	变化趋势	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	年份	变化趋势	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
1994 – 1999	负向变化	158.95	8.15	1999 – 2007	负向变化	121.35	6.22
	无显著变化	1 539.84	78.94		无显著变化	1 712.77	87.81
	正向变化	251.77	12.91		正向变化	116.44	5.97

### 3.5 植被覆盖度景观结构变化分析

为了进一步定量分析 1994 – 2007 年间庆元县植被覆盖状况的细节变化, 研究借鉴景观生态学知识, 选取了景观破碎度、最大斑块指数、平均斑块面积、斑块面积变异系数、聚合度和香农(Shannon)多样性等 6 个指数从空间格局角度对植被覆盖度的动态变化进行分析<sup>[14]</sup>。

13 a 间, 4 类植被覆盖区的景观格局指数都有不同程度的改善, 尤以面积最大的高覆盖区的各项指数变化最为显著。1994 – 2007 年间高覆盖区的破碎度指数降低了 5.02, 最大斑块指数提高了 63.05, 平均斑块面积由 9.66 hm<sup>2</sup> 增长到 182.82 hm<sup>2</sup> 增加了 18 倍, 且变异系数减少了 12.60, 聚合度指数提高了 10.75, 说明 13 a 来高覆盖区在总体面积大幅提高的同时, 内部斑块面积趋于大型化, 结构趋于均一化和稳定化(表 6)。另外, 中高覆盖区作为面积比例占第 1 位的区域, 各项指数也都有比较明显的变化, 以 1994 – 1999 年间的变化较为显著。13 a 间, 中高覆盖区的景观破碎度虽有明显降低, 但一直是 4 类植被覆盖区中最高的, 从最大斑块指数和平均斑块面积来看, 分别降低了 10.50 和 2.70 hm<sup>2</sup>, 是 4 类植

表 6 庆元县不同时期、不同植被覆盖度等级景观指数计算结果

Table 6 Statistical information of landscape pattern index of vegetation coverage of Qingyuan County in 1994, 1999 and 2007

年份	植被覆盖等级	破碎度	最大斑块指数	平均斑块面积/hm <sup>2</sup>	斑块面积变异系数	聚合度	多样性
1994	低	0.97	0.05	0.51	5.71	51.79	0.93
	中低	4.93	0.22	1.66	6.51	67.01	
	中高	9.72	10.82	3.91	48.29	74.32	
	高	5.52	18.90	9.66	40.81	86.28	
1999	低	0.23	0.03	0.73	3.92	57.19	0.53
	中低	1.40	0.14	0.95	6.16	57.9	
	中高	8.11	2.85	2.02	29.67	71.16	
	高	1.38	51.05	59.51	33.72	94.78	
2007	低	0.43	0.07	0.74	6.76	57.32	0.36
	中低	1.61	0.07	0.75	4.05	50.82	
	中高	6.36	0.32	1.21	8.29	59.87	
	高	0.50	81.95	182.82	28.21	97.03	

被覆盖区中减少量最大的。结合前文结论“13 a 来植被覆盖度类型间的转移方向以中高覆盖区向高覆盖区的转变为主”，可知中高覆盖区是植被恢复的过渡性区域，期间大量优质斑块已逐渐变为高覆盖区，剩余部分斑块相对较小、结构复杂，多是地质条件较差或人为活动干扰较频繁的区域。13 a 间，低、中低覆盖区的各项指数变化相对不大，这与其所占面积比例微小有关，值得关注的是这两类区域相比前期的正向变化趋势在 1999 – 2007 年间出现了轻微的退化现象，原因自然是人为活动的干扰所致。庆元县作为一个山地县，是典型的“九山半水半分田”地区，其经济发展和人居生活多受地势坡度的限制，而低、中低覆盖区的主要分布范围正是低山平缓的建成区。据统计年鉴，1994 年该县的国内生产总值为 7.74 亿元，1999 年为 10.78 亿元，2007 年为 20.24 亿元，由此可知 1999 – 2007 年间的经济增长量是比较大的，建成区作为经济活动的承载体，其生态环境压力也是巨大的，因此，相对来说，低、中低覆盖区植被情况的轻微退化现象还是可以接受的。

#### 4 结论

本研究对现行植被覆盖度提取方法的优缺点进行了总结，并基于多时相 Landsat TM 和 ETM 影像数据，使用像元二分模型提取植被覆盖度，对庆元县 1994 – 2007 年间的植被覆盖情况及其动态变化进行了研究分析。结果表明：①庆元县的植被覆盖度水平 13 a 来保持了良好的增长势头，植被覆盖度等级以 75% ~ 100% 的高覆盖区为主体，至 2007 年高植被覆盖度区域占总体面积的 90.77%，其植被覆盖度等級间的转移方向也以中高覆盖区向高覆盖区的转变为主，其中以 1994 – 1999 年这段时期的变化最为显著。②13 a 间庆元县各坡度等级的植被覆盖度均有较大的增长幅度，其总体空间分布特征表现为植被覆盖度随地形坡度的加大而增加，地形平缓区域的变化相对明显增长幅度达 15% 以上。③对植被覆盖度时空变化进行分级统计，结果显示，1994 – 1999 年间龙溪、举水、岭头、荷地等乡镇的植被恢复情况较为明显，1999 – 2007 年间白水际、仙山等地的植被恢复情况较好，这与庆元县各时期的生态建设政策相吻合。④13 a 间 4 类植被覆盖区的景观破碎度都有不同程度的降低，高植被覆盖区在总体面积大幅提高的同时，内部斑块面积也趋于大型化，结构趋于均一化和稳定化。低、中低覆盖区的各项指数在 1999 – 2007 年间出现了轻微的退化现象。

本研究使用的遥感影像来自不同的传感器，在植被指数提取上会存在一定误差，但并不影响植被覆盖度变化的总体趋势，这一点从庆元县政府出台的相关生态建设政策及林业统计数据上基本得到验证。本研究的不足之处在于因条件限制，没有选择实测样地对植被覆盖度的估算值进行精度验证，根据唐志光等<sup>[15]</sup>在三江源自然保护区的研究结果，使用植被归一化指数  $I_{NDV}$  估算的植被覆盖度与实测值的相关系数能够达到 0.89，平均精度达到 78.53%。另外，针对  $I_{NDV}$  在高植被覆盖度区域易饱和的缺点，在今后的研究中可以尝试探索基于增强型植被指数  $I_{EV}$ ，重归一化植被指数  $I_{RDV}$  等指数的像元二分模型的应用。

#### 参考文献：

- [1] 苏伟，孙中平，李道亮，等. 基于多时相 Landsat 遥感影像的海州露天煤矿排土场植被时空特征分析[J]. 生态学报，2009，29(11): 5860 – 5868.  
SU Wei, SUN Zhongping, LI Daoliang, et al. Monitoring of temporal and spatial change of vegetation in waste dump of Haizhou opencast coal mine area using multi-temporal Landsat remote sensing images [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, 29(11): 5860 – 5868.
- [2] 莫宏伟，任志远. 陕北榆阳区 1978 年至 2005 年植被覆盖率变化分析[J]. 资源科学，2009，31(8): 1409 – 1414.  
MO Hongwei, REN Zhiyuan. Images analysis of the vegetation coverage changes in Yuyang District of northern Shaanxi Province in the recent 30 years [J]. *Resour Sci*, 2009, 31(8): 1409 – 1414.
- [3] 顾祝军，曾志远，史学正，等. 基于 ETM+图像的植被覆盖度遥感估算模型[J]. 生态环境，2008，17(2): 771 – 776.  
GU Zhujun, ZENG Zhiyuan, SHI Xuezheng, et al. A model calculating vegetation fractional coverage from ETM+ imagery [J]. *Ecol Environ*, 2008, 17(2): 771 – 776.
- [4] 马娅，匡耀求，黄宁生，等. 基于 ETM+的植被覆盖信息提取及其动态变化分析——以广州市为例 [J]. 测绘科学，2009，34(4): 114 – 116.

- MA Ya, KUANG Yaoqiu, HUANG Ningsheng, *et al.* Estimation and spatio-temporal characteristics analyses of vegetation abundances based on ETM+ images: a case study in Guangzhou [J]. *Sci Survey Map*, 2009, **34** (4): 114 – 116.
- [5] 刘勇, 岳文泽. 基于图像融合与混合像元分解的城市植被盖度提取[J]. 生态学报, 2010, **30** (1): 93 – 99.
- LIU Yong, YUE Wenze. Estimation of urban vegetation fraction by image fusion and spectral unmixing [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30** (1): 93 – 99.
- [6] 胡健波, 陈玮, 李小玉, 等. 基于线性混合像元分解的沈阳市三环内城市植被盖度变化[J]. 应用生态学报, 2009, **20** (5): 1140 – 1146.
- HU Jianbo, CHEN Wei, LI Xiaoyu, *et al.* Urban vegetation coverage change inside the third-ring road of Shenyang City [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20** (5): 1140 – 1146.
- [7] 邹蒲, 王云鹏, 王志石, 等. 基于 ETM 图像的混合像元线性分解方法在澳门植被信息提取中的应用及效果评价 [J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 2007 (2): 131 – 136.
- ZOU Pu, WANG Yunpeng, WANG Zhishi, *et al.* Accessing the linear spectral un-mixing approach for extracting vegetation information using Landsat Etm+ data in macao [J]. *J South China Norm Univ Nat Sci Ed*, 2007 (2): 131 – 136.
- [8] 胡姝婧, 胡德勇, 赵文吉. 基于 LSMM 和改进的 FCM 提取城市植被覆盖度——以北京市海淀区为例[J]. 生态学报, 2010, **30** (4): 1018 – 1024.
- HU Shujing, HU Deyong, ZHAO Wenji. Extract urban vegetation coverage based on LSMM and improved FCM: a case study in Haidian District [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30** (4): 1018 – 1024.
- [9] 孙久虎, 刘晓萌, 李佑钢, 等. 北运河地区植被覆盖的遥感估算及变化分析[J]. 水土保持研究, 2006, **13** (6): 97 – 99.
- SUN Jiuhu, LIU Xiaomeng, LI Yougang, *et al.* Estimation of vegetation fraction in Beiyunhe District by remote sensing [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2006, **13** (6): 97 – 99.
- [10] 兰明媚, 魏虹, 熊春妮, 等. 基于 TM 影像的重庆市北碚区地表植被覆盖变化[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, **31** (4): 100 – 104.
- LAN Mingjuan, WEI Hong, XIONG Chunni, *et al.* Study of changes in vegetation coverage in Beibei District of Chongqing Based on TM images [J]. *J Southwest Univ Nat Sci Ed*, 2009, **31** (4): 100 – 104.
- [11] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004, **26** (4): 153 – 159.
- LI Miaomiao, WU Bingfang, YAN Changzhen, *et al.* Estimation of vegetation fraction in the upper basin of Miyun Reservoir by remote sensing [J]. *Resour Sci*, 2004, **26** (4): 153 – 159.
- [12] MORAWITZ D F, BLEWETT T M, COHEN A, *et al.* Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound [J]. *Environ Monitor Assess*, 2006, **114** (1): 85 – 106.
- [13] 李一静, 曾辉, 魏建兵. 基于归一化植被指数变化分级的深圳市植被变化[J]. 应用生态学报, 2008, **19** (5): 1064 – 1070.
- LI Yijing, ZENG Hui, WEI Jianbing. Vegetation change in Shenzhen City based on NDVI change classification [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19** (5): 1064 – 1070.
- [14] 郭微, 江洪, 陈健, 等. 基于遥感的杭州余杭森林景观格局变化[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27** (1): 36 – 43.
- GUO Zheng, JIANG Hong, CHEN Jian, *et al.* Forest landscape analysis with remote sensing data for Yuhang [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27** (1): 36 – 43.
- [15] 唐志光, 马金辉, 李成六, 等. 三江源自然保护区植被覆盖度遥感估算[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2010, **46** (2): 11 – 16.
- TANG Zhiguang, MA Jinhui, LI Chengliu, *et al.* Estimating vegetation coverage using remote sensing data in Sanjiangyuan National Nature Reserve [J]. *J Lanzhou Univ Nat Sci*, 2010, **46** (2): 11 – 16.