

安徽省霍山县植被覆盖度动态变化及预测

程先富^{1,2}, 张方方^{1,2}, 邓良¹, 杨伟伟^{1,2}, 王诗晨^{1,2}, 徐光来^{1,2}

(1. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241003; 2. 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室, 安徽 芜湖 241003)

摘要: 基于 1994, 2000, 2006 和 2011 年 4 个时期的 Landsat TM/ETM⁺ 遥感影像数据, 应用像元二分模型和 CA—Markov 模型对安徽省霍山县植被覆盖度的时空变化进行了分析。结果表明, 霍山县植被覆盖度总体分布特征是东北部植被覆盖度较小, 南部、西北部较大; 1994—2011 年该县植被覆盖状况呈明显的上升趋势, 高植被覆盖度的面积增加了 339.91 km², 中低植被覆盖度、低植被覆盖度、裸地的面积分别减少了 116.15, 63.34 和 20.29 km²; CA—Markov 模型可较好地预测 2020 年植被覆盖度的空间分布格局; 霍山县植被覆盖状况的改善是人类活动和气候变化共同作用的结果。优化产业结构, 防治水土流失是研究区生态环境建设的重点。

关键词: 遥感; 植被覆盖度; 动态变化; 安徽省霍山县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0104-06

中图分类号: Q948, TP79

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.033

Dynamic Change and Prediction of Vegetation Coverage in Huoshan County of Anhui Province

CHENG Xian-fu^{1,2}, ZHANG Fang-fang^{1,2}, DENG Liang¹,
YANG Wei-wei^{1,2}, WANG Shi-chen^{1,2}, XU Guang-lai^{1,2}

(1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China;

2. Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention, Wuhu, Anhui 241003, China)

Abstract: Based on the American Landsat TM/ETM⁺ remote sensing image data in 1994, 2000, 2006 and 2011, using dimidiate pixel model and CA—Markov model, spatial and temporal change and its trend and influence factors on vegetation coverage in Huoshan County of Anhui Province were analyzed. The results show that vegetation coverage are smaller in northeast area, and larger in the south and northwest area. Vegetation coverage condition has a significant upward trend from 1994 to 2011. High vegetation coverage area increased 339.91 km². Middle-low vegetation coverage, the low vegetation coverage and bare land decreased 116.15, 63.34 and 20.29 km², respectively. Spatial distribution pattern of vegetation coverage in 2020 can be better predicted by using CA—Markov model. Human activity and climate change made the increase of the vegetation coverage in Huoshan County, and the effect of human activity is very obvious. Optimization of industrial structure and controlling of soil and water loss are the focus of ecological environment construction in the study area.

Keywords: remote sensing; vegetation coverage; dynamic change; Huoshan County of Anhui Province

植被覆盖度是指植被的叶、茎、枝垂直向下的投影面积占总面积的比例^[1-2], 它是衡量地表植被状况的一个最重要的指标, 是描述植被群落及生态系统的重要参数, 也是环境变化中的一个敏感因子, 常常被用作植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标^[3-5]。植被状况和植被覆盖的变化从一定程度上反映了气候变化的趋势, 是生态环境研究的热点之一^[6]。

传统的植被覆盖度监测方法是地面测量法^[7], 其具有较好的灵活性, 适用于小区域的调查研究, 在大范围内难以开展。随着遥感和 GIS 技术的发展, 应用遥感资料估算植被覆盖度的方法为大区域植被覆盖度的监测提供了可能。遥感估算植被覆盖度的方法主要有经验模型法和植被指数法^[8-9]。近年来, 国内外在植被遥感监测方面开展了大量的研究, 涌现了

收稿日期: 2013-08-12

修回日期: 2013-09-13

资助项目: 国家自然科学基金项目“流域尺度洪涝灾害风险评估方法研究: 以巢湖流域为例”(41271516); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(12YJA790016)

作者简介: 程先富(1967—), 男(汉族), 安徽省合肥市人, 博士, 教授, 主要从事自然灾害、水土保持与信息技术研究。E-mail: xianfucheng@sina.com。

许多植被覆盖变化监测的方法^[10-13],主要有回归模型法、植被指数法、分类决策树法、人工神经网络法、像元分解模型法、光谱梯度差法、FCD模型法^[14]等。在上述方法中,像元分解法最大的优点是计算模型简单可靠、输入参数通用易得,被广泛应用。不少学者对植被覆盖度动态变化进行了研究,但对植被覆盖度的预测研究不多。陈晋等^[15]使用像元分解法对北京市海淀区的植被覆盖进行了估测,总体精度可达70%左右;高志海等^[16]基于像元分解模型,估算了民勤绿洲的植被覆盖度;马娜等^[17]对内蒙古自治区正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化进行了研究,取得了较好的成果。本研究以安徽省霍山县为研究对象,利用1994—2011年4期的遥感影像资料,采用像元二分模型估算霍山县不同时期植被覆盖度,揭示其空间分布特征及动态变化,预测霍山县2020年植被覆盖度的空间分布格局,分析植被覆盖度的影响因素。为安徽省霍山县的生态县建设、水土流失治理和可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

霍山县位于大别山北麓,安徽省西部,地处北纬 $31^{\circ}03' - 31^{\circ}33'$,东经 $115^{\circ}52' - 116^{\circ}32'$ 之间,总面积 $2\,045.6\text{ km}^2$,总人口36.6万,辖16个乡镇、130个行政村。地势由西南向东北逐渐倾斜,东、南、西三面山峦重叠,北部为丘陵,地势较平坦。北亚热带温湿季风气候,四季分明,无霜期长,年平均气温 15°C ,平均无霜期220 d,年均降雨量 $1\,391\text{ mm}$,多集中在5—9月。植物主要有针叶林、竹林、阔叶林、混交林、灌木林和灌草丛。土壤类型主要有水稻土、粗骨土、紫色土、潮土、黄棕壤、棕壤、石灰土和红壤。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

采用空间分辨率为30 m的安徽省霍山县Landsat TM/ETM⁺影像数据,时间为1994年9月14日、2000年10月3日、2006年10月9日和2011年10月10日,轨道号为122/038。数字高程模型(DEM)来源于中国科学院计算机网络信息中心(<http://datamirror.csdb.cn>)国际科学数据镜像网站的SRTM DEM数据,空间分辨率为30 m。土地利用数据由Landsat TM/ETM⁺遥感影像通过选择训练区、建立解译标志,采取人机交互判读方式解译得到。土壤类型数据来自1:10万霍山县土壤图,经过数字化而得到。气象气候资料来自安徽省气象局提供的1994—2011年降水和气温数据。

2.2 研究方法

2.2.1 像元二分模型 假设一个像元的信息 S 可以分为土壤与植被两部分。即:

$$S = S_v + S_s \quad (1)$$

式中: S_v ——绿色植被所产生的信息; S_s ——土壤所产生的信息。

在混合像元中植被所产生的信息 S_v 可以表示为:

$$S_v = f_c \cdot S_{veg} \quad (2)$$

式中: f_c ——像元的植被覆盖度; S_{veg} ——像元被植被全覆所产生的信息。

同理,混合像元中裸土或无植被覆盖所产生的信息 S_s 可以表示为:

$$S_s = (1 - f_c) \cdot S_{soil} \quad (3)$$

式中: S_{soil} ——像元被土壤覆盖所产生的信息。

将公式(2)–(3)代入公式(1),可得计算植被覆盖度的公式:

$$f_c = (S - S_{soil}) / (S_{veg} - S_{soil}) \quad (4)$$

2.2.2 基于NDVI的植被覆盖度估算 根据像元二分模型,单个像元的NDVI值是有植被覆盖的NDVI与无植被覆盖的NDVI的加权平均,公式(4)经变换可得:

$$f_c = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{soil}) / (\text{NDVI}_{veg} - \text{NDVI}_{soil}) \quad (5)$$

式中: NDVI_{soil} ——裸土或无植被覆盖区域的NDVI值; NDVI_{veg} ——完全被植被覆盖的区域的NDVI值。

参考霍山县土地利用图和土壤图确定各类型的 NDVI_{veg} 和 NDVI_{soil} 值, NDVI_{veg} 和 NDVI_{soil} 分别为给定置信度的置信区间内的最大值与最小值。对于土地利用类型的NDVI分布,对像元个数以逆序求和,生成逆序的累积像元个数,用累积像元个数除以总像元个数,得逆序累积概率分布。取置信度为0.5%,则在0.5%附近的NDVI值即为 NDVI_{max} 。同理,利用土壤图和NDVI分布,根据频率统计分布,可以得到 NDVI_{min} 。通过计算得出研究区有林地、灌木林地、疏林地、高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地、水田、旱地的 NDVI_{veg} 分别为0.60,0.66,0.64,0.66,0.64,0.62,0.52和0.47;水稻土、粗骨土、紫色土、潮土、黄棕壤、棕壤、石灰土、红壤的 NDVI_{soil} 分别为0.17,0.13,0.11,0.13,0.15,0.10,-0.08和-0.09。

利用ERDAS软件的model模型中的Conditional语句制作各个 NDVI_{veg} 与 NDVI_{soil} 的参数图。将各个参数图代入公式(5),计算所有影像的植被覆盖度(f_c),参考《土壤侵蚀分类分级标准(SL190—2007)》,将研究区植被覆盖度分成6级:裸地(15%以

下)、低植被覆盖度(15%~30%)、较低植被覆盖度(30%~45%)、中植被覆盖度(45%~60%)、较高植被覆盖度(60%~75%)和高植被覆盖度(75%以上),分别记为 1,2,3,4,5 和 6。

2.2.3 元胞自动机与马尔可夫链模型 元胞自动机(CA)模型可以表示为:

$$S_{t+1} = f(S_t, n) \quad (6)$$

式中: S ——元胞有限、离散的状态集合; $t, t+1$ ——不同时刻; n ——元胞的邻域; f ——元胞转化规则。

马尔可夫链(Markov)模型^[12]可以表示为:

$$S_{t+1} = P_{ij} \cdot S_t \quad (7)$$

式中: S_t, S_{t+1} —— $t, t+1$ 时刻的系统状态; P_{ij} ——状态转移概率,可表达为:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{1n} & P_{2n} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中: $1 \leq P_{ij} < 1$, 且 $\sum P_{ij} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 。

将 Markov 模型与 CA 模型结合,在植被覆盖度栅格图中,每个像元看作一个元胞,每个元胞的植被覆盖度等级为元胞的状态。在 GIS 软件的支持下,利用转换面积矩阵和条件概率图进行运算,从而确定元胞状态的转移概率,模拟未来植被覆盖度的空间分布。

2.2.4 精度检验 为了定量评价利用 TM/ETM+ 数据反演植被覆盖度的精度,以 2011 年 10 月的野外实测值与 2011 年遥感估算的植被覆盖度值进行对比,相对误差 = [(遥感估算 - 实地测算) / 实地测算] × 100%, 平均误差 = 相对误差总和 / N , N 为实测数目。验证结果详见表 1。表 1 可以看出,总体精度达到 82.8%,说明基于 NDVI 的像元二分法估算植被覆盖度能满足区域尺度的植被覆盖度调查要求。

3 结果分析

3.1 植被覆盖度的空间分布特征

根据上面的计算公式并应用 GIS 空间分析方法,绘制出 1994,2000,2006 和 2011 年 4 期植被覆盖度空间分布图(附图 1,2000 和 2006 年略),并分别统计各个等级的分布面积(图 1)。

附图 1 显示,霍山县植被覆盖度总体分布特征是东北部植被覆盖度较小,南部、西北部植被覆盖度较大。尤其是与儿街镇、衡山镇和下符桥镇的植被覆盖度较小。17 a 来植被覆盖度整体呈 M 形增长,其中在 1994—2000 年和 2006—2011 年植被得到明显恢复和改善。

表 1 研究区 2011 年植被覆盖度估算检验表

经度	纬度	实地测算	遥感估算	相对误差/%
115°59'02"	31°08'36"	0.45	0.51	13
115°59'20"	31°07'47"	0.50	0.68	36
115°59'57"	31°09'48"	0.25	0.26	4
116°00'30"	31°11'29"	0.45	0.56	24
116°01'42"	31°13'30"	0.35	0.42	20
116°01'56"	31°15'24"	0.25	0.28	12
116°07'49"	31°20'59"	0.05	0.05	0
116°08'10"	31°24'51"	0.75	0.90	20
116°10'21"	31°24'57"	0.95	1.14	20
116°10'32"	31°22'49"	0.45	0.54	20
116°11'06"	31°22'12"	0.55	0.65	18
116°14'39"	31°23'29"	0.45	0.46	2
116°14'40"	31°23'29"	0.65	0.74	14
116°16'06"	31°21'15"	0.55	0.61	11
116°16'14"	31°21'34"	0.45	0.54	20
116°16'33"	31°23'46"	0.90	0.95	6
116°19'43"	31°27'24"	0.65	0.75	15
116°22'04"	31°29'31"	0.50	0.63	26
116°22'07"	31°18'25"	0.70	0.91	30
116°22'27"	31°20'19"	0.30	0.38	27
116°22'34"	31°21'50"	0.85	1.05	24
116°22'39"	31°19'12"	0.75	0.90	20
116°26'06"	31°23'07"	0.90	0.99	10
116°26'33"	31°27'26"	0.65	0.69	6
116°30'32"	31°22'41"	0.55	0.72	31

注:植被覆盖度估算的平均误差为 17.2%。

图 1 表明,1994 年霍山县裸地、低植被覆盖度、较低植被覆盖度、中度植被覆盖度、较高植被覆盖度和高植被覆盖度的面积分别为 105.85,92.61,174.64,82.32,671.26 和 918.92 km²,分别占总面积的 5.17%,4.53%,8.54%,4.03%,32.81% 和 44.92%。2000 年霍山县裸地、低植被覆盖度、较低植被覆盖度、中度植被覆盖度、较高植被覆盖度和高植被覆盖度的面积分别为 69.57,21.88,55.94,129.52,368.76 和 1399.93 km²,分别占总面积的 3.40%,1.07%,2.73%,6.33%,18.03% 和 68.44%。2006 年霍山县裸地、低植被覆盖度、较低植被覆盖度、中度植被覆盖度、较高植被覆盖度和高植被覆盖度的面积分别为 78.74,41.88,86.42,210.39,404.74 和 1223.43 km²,分别占总面积的 3.85%,2.05%,4.22%,10.29%,19.78% 和 59.81%。2011 年霍山县裸地、低植被覆盖度、较低植被覆盖度、中度植被覆盖度、较高植被覆盖度和高植被覆盖度的面积分别为 85.58,29.27,58.50,151.39,462.05 和 1258.81 km²,分别占总面积的 4.18%,1.43%,2.86%,7.40%,2.59% 和 61.54%。

总体上看,高覆盖度植被所占比重最大,其次是中高覆盖度和中覆盖度植被。3 者所占全县国土总面积比重均大于 70%,说明霍山县生态环境整体较好。

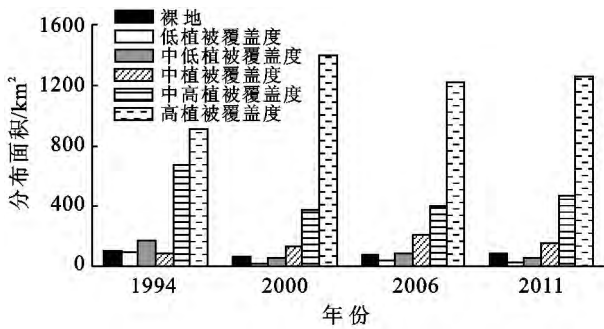


图 1 霍山县植被覆盖度的面积分布

3.2 植被覆盖度的动态变化

利用 ArcGIS 软件对 4 期植被覆盖度图进行计算,得到转移矩阵(表 2—4)。表 2 表明,1994—2000 年高植被覆盖度的面积增加了 481.01 km²,其中裸地、低植被覆盖、中低植被覆盖、中植被覆盖、中高植

被覆盖转化为高植被覆盖的面积分别为 17.46, 26.40, 70.75, 40.69 和 452.13 km²,说明霍山县 1994—2000 年植被覆盖度整体在提高。由表 3 可见,2000—2006 年高植被覆盖度的面积减少了 176.5 km²,裸地面积增加了 9.17 km²,虽然有 3.91 km² 裸地转化为中低植被覆盖;有 4.78 km² 低植被覆盖转化为中植被覆盖;有 13.28 km² 中低植被覆盖转化为中植被覆盖;有 34.36 km² 中植被覆盖转化为中高植被覆盖;有 134.00 km² 中高植被覆盖转化为高植被覆盖。但却有 236.74 km² 高植被覆盖转化为中高植被覆盖。由此可见,2000—2006 年期间霍山县植被退化较严重,整体上植被覆盖度在下降。表 4 表明,霍山县 2006—2011 年中高、高植被覆盖度的面积分别增加了 57.31 和 35.4 km²,同时裸地面积也增加了 6.82 km²,出现两极分化的趋势,但整体上植被覆盖度在缓慢上升。可见在 2006—2011 年该地区的退耕还林等生态保护措施起了积极的作用,植被得到不同程度的恢复,生态环境有一定的改善,但局部仍有恶化的趋势。

表 2 霍山县 1994—2000 年植被覆盖度转移矩阵

km²

项目	2000 年						合计	
	1	2	3	4	5	6		
1994 年	1	44.44	6.75	10.14	11.15	15.91	17.46	105.85
	2	6.71	5.48	11.88	17.68	24.46	26.40	92.61
	3	5.56	4.73	13.51	27.15	52.94	70.75	174.64
	4	1.45	1.00	4.04	10.57	24.57	40.69	82.32
	5	6.19	2.80	11.41	42.58	156.15	452.13	671.26
	6	5.22	1.12	4.96	20.39	94.73	792.50	918.92
合计	69.57	21.88	55.94	129.52	368.76	1 399.93	2 045.60	

表 3 霍山县 2000—2006 年植被覆盖度转移矩阵

km²

项目	2000 年						合计	
	1	2	3	4	5	6		
2006 年	1	55.48	2.75	3.91	3.31	2.36	1.76	69.57
	2	2.87	3.84	4.47	4.78	3.53	2.39	21.88
	3	4.80	8.36	11.08	13.28	10.80	7.62	55.94
	4	4.86	11.11	20.15	32.85	34.36	26.19	129.52
	5	5.49	10.40	27.85	74.07	116.95	134.00	368.76
	6	5.24	5.42	18.96	82.10	236.74	1 051.47	1 399.93
合计	78.74	41.88	86.42	210.39	404.74	1 223.43	2 045.60	

表 4 霍山县 2006—2011 年植被覆盖度转移矩阵

km²

项目	2011 年						合计	
	1	2	3	4	5	6		
2006 年	1	45.76	5.65	6.33	6.69	6.62	7.69	78.74
	2	8.44	7.09	7.39	6.88	6.05	6.03	41.88
	3	7.78	6.24	10.78	16.70	22.46	22.46	86.42
	4	8.14	4.34	10.98	30.80	72.84	83.29	210.39
	5	6.20	3.17	10.56	36.04	129.15	219.62	404.74
	6	9.24	2.78	12.45	54.29	224.93	919.74	1 223.43
合计	85.56	29.27	58.49	151.40	462.05	1 258.83	2 045.60	

1994—2011 年的 17 a 间,高植被覆盖度的面积增加了 339.91 km²,中低植被覆盖度、低植被覆盖度、裸地的面积分别减少 116.15,63.34 和 20.29 km²。表明 17 a 来霍山县植被覆盖状况有明显的上升趋势。

3.3 植被覆盖度分布格局预测

以霍山县 2011 年植被覆盖度格局为初始状态,时间间隔为 9 a,应用 CA—Markov 模型对 2020 年植被覆盖度格局进行预测,元胞大小为 30 m×30 m,预测结果如附图 2 所示。

根据预测,到 2020 年霍山县裸地、低植被覆盖度、较低植被覆盖度、中度植被覆盖度、较高植被覆盖度和高植被覆盖度的面积分别为 74.43,21.86,47.85,134.43,436.02 和 1 331.22 km²。结果表明,2011—2020 年植被覆盖格局继续保持 1994—2011 年的变化趋势,表现为低覆盖等级的植被面积减少,高覆盖等级的植被面积增加。总体上看,研究区植被的覆盖状况趋于比较稳定的变化。

3.4 植被覆盖度的影响因子分析

3.4.1 气候变化对植被覆盖度的影响 气候变化影响植被生境,进而影响其生长状况,其中以气温和降水影响最为直接且存在一定的累积和滞后效应^[18]。近 30 a 安徽省霍山县气候暖化趋势明显,年均温气候倾向率为 0.32 °C/10 a,高于全国(0.26±0.034) °C/10 a。霍山县位于湿润季风气候区,全年降水主要集中在 5—9 月,夏季植被覆盖对降水和气温响应存在一定的滞后期,这与许旭等^[19]的研究结果一致。气温对 NDVI 影响大于降水。NDVI 对气温和降水响应亦存在空间差异,研究区东、南、西三面环山,北部为丘陵,地势平坦。10 月从东北向西南气温逐渐减小,而降水逐步增大。气温升高加大地表蒸发,加剧了土壤水分流失,对植被生存具有抑制作用,加之 9—10 月霍山县降水充沛,温度成为影响安徽省霍山县夏季植被变化的主要因素。

3.4.2 自然灾害对植被覆盖度的影响 自然灾害对区域植被覆盖格局有重要的影响。霍山县水土流失情况严重,据统计该县水土流失面积达 679 km²,约占该县总面积的 42%,在大别山腹地地区,已退耕还林,植被得到了有效保护;但在低山丘陵区,因土层薄,土质松软,土壤持水能力低,人为活动强烈,水土流失严重,植被覆盖度较低。同时研究区地形复杂,坡度大于 25°的坡耕地面积达 417 km²,1994 年霍山县夏季发生强降水,诱发山体滑坡、崩落、泥石流等地质灾害,对植被退化产生较大的影响,导致 1994 年高植被覆盖度的面积较小,仅 918.92 km²。

3.4.3 人类活动对植被覆盖度的影响 17 a 来安徽

霍山县植被覆盖度整体呈 M 形增长,具有两次明显的恢复期。即第一次明显改善期(1994—2000 年)和第二次较明显改善期(2006—2011 年)。这与李双双等^[20]的陕甘宁地区植被恢复具有阶段性,整体呈 S 形增长的研究结果相似。人类活动作用十分明显。1994—2000 年霍山县实行生态县战略,主要在北部的与儿街镇、但家庙镇、下符桥镇、黑石渡镇的低岗丘陵区大力开展小流域综合治理,治理面积达 9 750 hm²,通过积极的整治,控制了水土流失,恢复了植被,使得 1994—2000 年霍山县高植被覆盖度的面积增加了 481.01 km²。2000—2006 年,随着该县城镇开发和基础设施建设的加快,土地开发程度逐年加大,用地类型发生了深刻的变化,原有的农田、坑塘、湿地等被工业用地和居住用地所取代,城乡、工矿、居民用地快速增加,道路、桥梁等基础建设亦占用部分农用地以及各类开发区的相继成立并建设,破坏了原有的生态环境,导致高植被覆盖度的面积减少了 176.5 km²,裸地面积增加了 9.17 km²。2006—2011 年国家“退耕还林还草”政策的实施,特别是 2007 年退耕还林工作重点由增加森林面积、恢复生态逐步转向完善退耕还林政策,有效解决好退耕农户的长远利益和生计问题。通过“成片造林、补植补造”使植被质量得到提升,使得霍山县中高覆盖度、高覆盖度的面积分别增加了 57.31 和 35.4 km²,但增幅不大且逐步趋于平稳。综上所述,造成上述植被覆盖度变化的主要驱动因素为自然因素、人为因素以及自然灾害^[21]。

4 结论

(1) 在充分考虑区域土壤类型、土地利用方式等对 NDVI 的影响的基础上,基于像元二分模型估算植被覆盖度,得到较为理想的分类结果。

(2) 从空间上看,霍山县植被覆盖度总体分布特征表现为东北部植被覆盖度较小,南部、西北部较大。从时间上看,17 a 来霍山县植被覆盖度呈 M 形增长,整体呈缓慢上升趋势。

(3) 应用 CA—Markov 模型对 2020 年植被覆盖度空间分布格局进行预测,结果表明 2020 年低覆盖等级的植被面积在减少,高覆盖等级的植被面积在增加。总体上看,研究区植被的覆盖状况趋于比较稳定的变化。

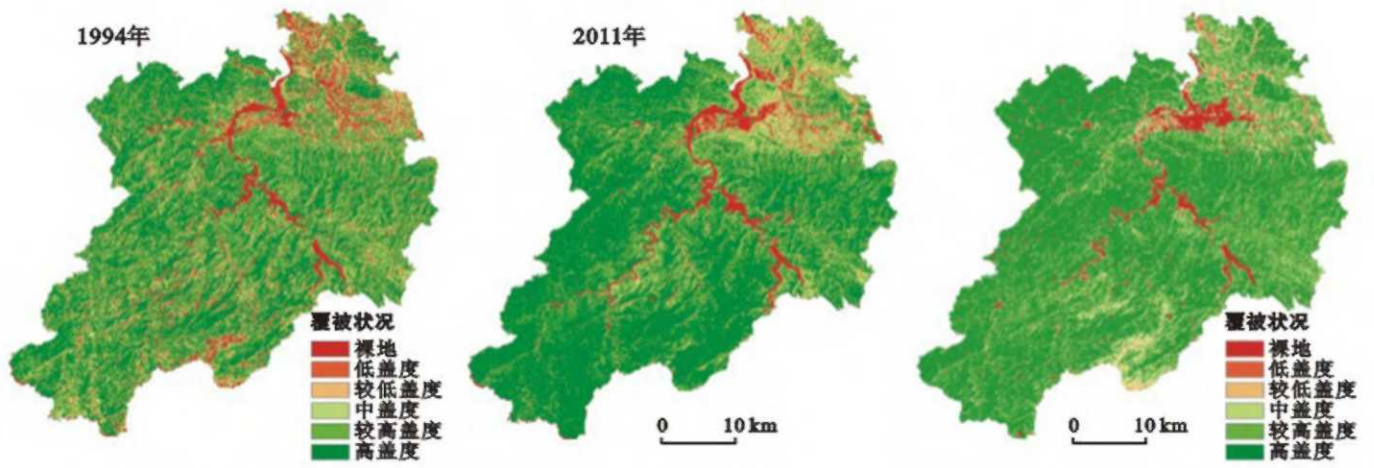
(4) 霍山县植被覆盖度的变化是由气候变化和人类活动共同作用的结果。随着城镇化水平的提高,土地利用方式的改变,人类经济活动的影响会越来越明显。优化产业结构,防治水土流失将是研究区生态环境建设的重点。

[参 考 文 献]

- [1] Anatoly A G, Yoram J K, Robert S, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(1):76-87.
- [2] 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):157-164.
- [3] Prince S D. A model of regional primary production for use with coarse resolution satellite data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1991, 12(6):1313-1330.
- [4] 甘春英, 王兮之, 李保生, 等. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J]. *地理科学*, 2011, 31(8):1019-1024.
- [5] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 新疆典型盐渍区植被覆盖度遥感动态监测:以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J]. *林业科学*, 2011, 47(7):121-125.
- [6] Carlson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62(3):241-252.
- [7] 张云霞, 李晓兵, 陈云浩. 草地植被覆盖度的多尺度遥感与实测方法综述[J]. *地球科学进展*, 2003, 18(1):85-93.
- [8] 于秀娟, 燕琴, 刘正军. 三江源区植被覆盖度的定量估算与动态变化研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(1):66-74.
- [9] 章文波, 符素华, 刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*, 2001, 37(3):402-408.
- [10] Leprieur C, Kerr Y H, Mastorechio S, et al. Monitoring vegetation cover across semi-arid regions, comparison of remote observations from various scales[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 21(2):281-300.
- [11] 张宝庆, 吴普特, 赵西宁. 近 30 a 黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(4):287-293.
- [12] 玛丽艳, 塔西甫拉提·特依拜, 买买提·沙吾提, 等. 基于 Markov 模型的植被覆盖动态变化预测研究[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(1):121-125.
- [13] 雷璇, 杨波, 蒋卫国, 等. 东洞庭湿地植被格局变化及其影响因素[J]. *地理研究*, 2012, 31(3):461-470.
- [14] 江洪, 汪小钦, 陈星. 一种以 FCD 模型从 SPOT 影像提取植被覆盖率的方法[J]. *地球信息科学*, 2005, 7(4):113-116.
- [15] 陈晋, 陈云浩, 何春阳, 等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. *遥感学报*, 2001, 5(6):416-422.
- [16] 高志海, 李增元, 魏怀东, 等. 基于遥感的民勤绿洲植被覆盖变化定量监测[J]. *地理研究*, 2012, 31(3):461-470.
- [17] 马娜, 胡云锋, 庄大方, 等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. *地理科学*, 2012, 32(2):251-256.
- [18] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 等. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. *地理学报*, 2012, 67(9):1255-1268.
- [19] 许旭, 李晓兵, 梁涵玮, 等. 内蒙古温带草原区植被覆盖度变化及其与气象因子的关系[J]. *生态学报*, 2010, 30(14):3733-3743.
- [20] 李双双, 延军平, 万佳. 近 10 年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征[J]. *地理学报*, 2012, 67(7):960-970.
- [21] 王强, 张勃, 戴声佩, 等. 三北防护林工程区植被覆盖变化与影响因子分析[J]. *中国环境科学*, 2012, 32(7):1302-1308.

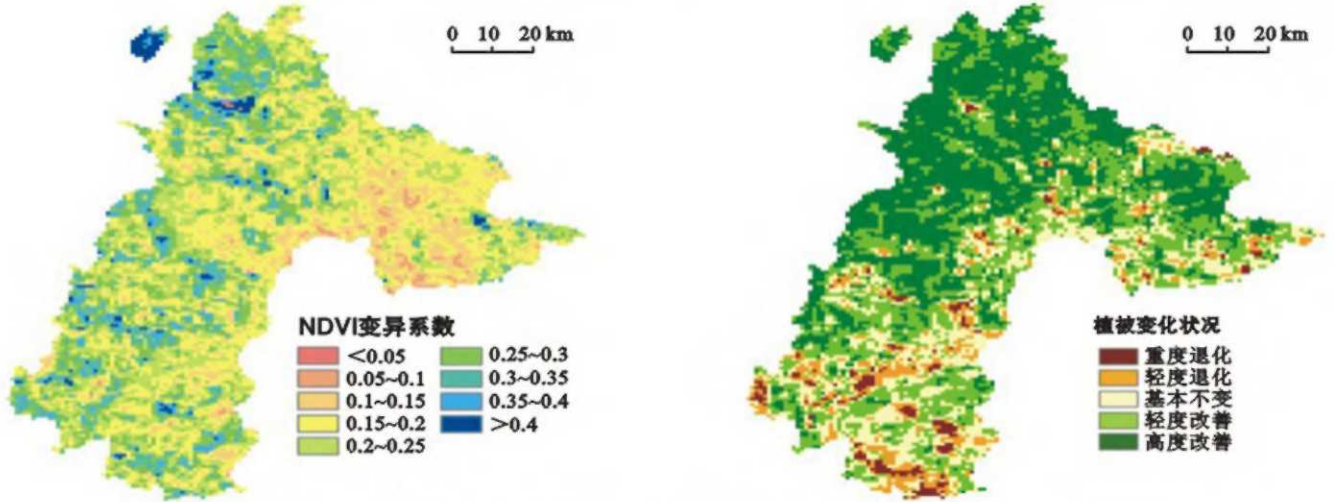
(上接第 103 页)

- [15] 李贵桐, 张宝贵, 李保国. 秸秆预处理对土壤微生物量及呼吸活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(12):2225-2228.
- [16] Bradley L, Fyles J W. A kinetic parameter describing soil available carbon and its relationship to rate increase in C mineralization [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1994, 22(2):167-172.
- [17] Albiach R, Canet R, Pomanes F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil [J]. *Bioresources Technology*, 2000, 75(1):43-48.
- [18] 许秀云, 姚贤良, 刘克樱. 长期施用有机肥对红壤性水稻土物理属性的影响[J]. *土壤*, 1996, 28(2):57-61.
- [19] 周卫军, 曾希柏, 张杨珠, 等. 施肥措施对不同母质发育的稻田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(5):1043-1048.
- [20] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. *土壤*, 1997(2):61-69.
- [21] Goyal S, Chander K, Mundra M C, et al. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29(2):196-200.
- [22] 徐阳春, 沈其荣, 冉伟. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J]. *土壤学报*, 2002, 39(1):89-96.
- [23] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1989, 21(1):471-479.

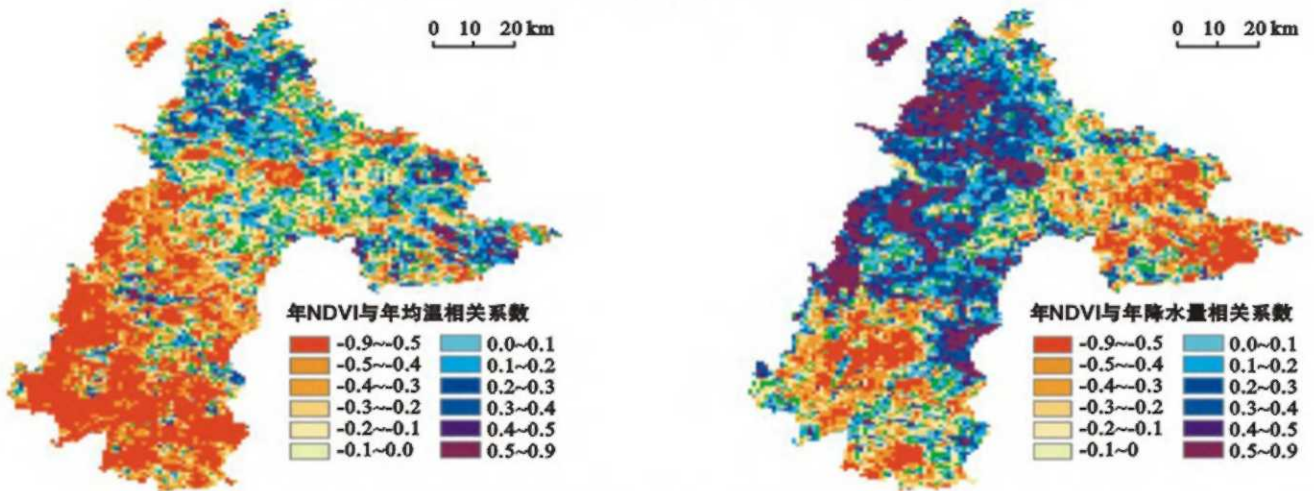


附图1 安徽省霍山县1994和2011年植被覆盖度空间分布

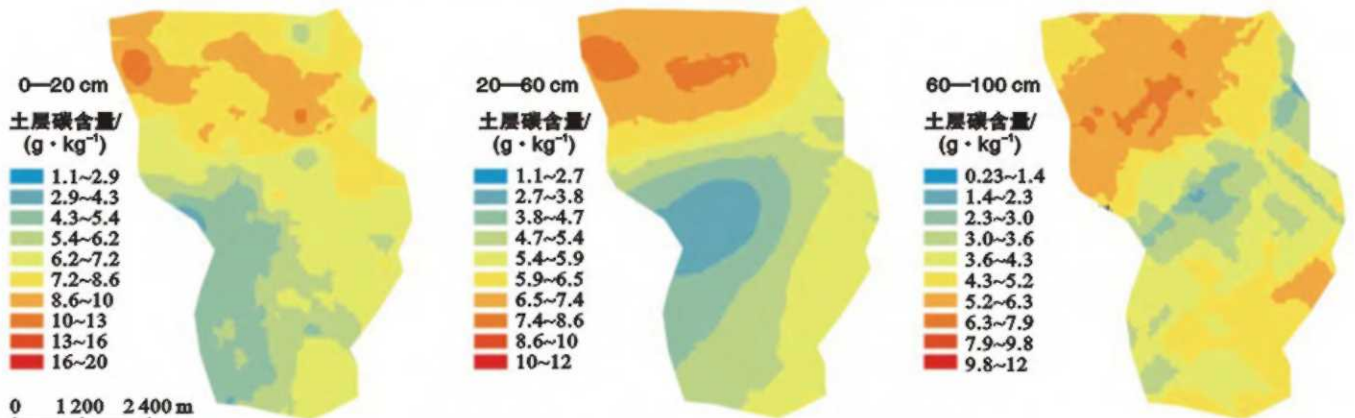
附图2 安徽省霍山县2020年植被覆盖度预测



附图3 贵州省典型喀斯特区域NDVI变异系数和植被变化状况(1999—2010年)



附图4 贵州省典型喀斯特区NDVI与年平均气温和年降水量间相关系数分布(1999—2010年)



附图5 黄花甸子流域各土层土壤有机碳含量分布