

长株潭核心区植被覆盖度动态监测与分析

李毅¹, 杨仁斌¹, 伍格致², 毕军平³, 易敏³, 胡文敏¹

(1. 湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128; 2. 湖南农业大学商学院, 湖南长沙 410128;
3. 湖南省环境监测中心站, 湖南长沙 410004)

摘要:以2000年Landsat5、2013年Landsat8两个时相遥感影像,利用像元二分法模型反演获得2个时期的植被覆盖度,并通过研究区域内2期植被覆盖度的时空变化特征、近13年的区域植被覆盖度转移矩阵、植被改善/退化状况及驱动力,定量分析了长株潭核心区13年植被覆盖度的时序变化和空间分布特征。研究结果表明:长株潭核心区近13年植被覆盖度保持总体稳定并有所改善,平均覆盖度由2000年的0.5739上升到2013年的0.6015,植被退化区主要集中在长沙、株洲、湘潭3市城区及周边区域,另外长株潭核心区植被覆盖度也有小幅下降;长株潭核心区植被覆盖与气候变化有一定关联,但人口增长、土地利用类型变化、城市化进程以及政策等人为因素是影响植被覆盖变化的主要因素。

关键词:遥感监测;植被覆盖度;长株潭核心区

中图分类号:X835

文献标识码:A

Monitoring and Analysis of Vegetation Fractional Cover in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Core Region Based on Remote Sensing Data

LI Yi¹, YANG Ren-bing¹, WU Ge-zhi², BI Jun-ping³, YI Min³, HU Wen-min¹

(1. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; 2. College of Business, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; 3. Hunan Environmental Monitoring Center Station, Changsha 410019, Hunan, China)

Abstract: Based on current status and temporal dynamics of the vegetation fractional cover in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan (CZT) core region, the factors leading to the change and the direction of the evolution of the vegetation fractional cover were discussed. The Landsat 5/8 data in 2000 and 2013 were used to derive the vegetation fractional cover in CZT core region. And through image analyzing and processing, the NDVI values of pure vegetation and pure soil in such two periods were obtained. Then the vegetation fractional cover distribution maps in 2000 and 2013 were got by conducting the pixel dichotomy model. At last, the temporal and spatial changes of vegetation fractional cover, such as transfer matrixes, the vegetation improvement/degradation and the driving forces which lead to such changes were analyzed. The conclusions of quantitative analysis showed that the mean vegetation fractional cover of CZT core region has been improved from 0.5739 in 2000 to 0.6015 in 2013. Most of vegetation degradation occurred in Changsha, Zhuzhou, Xiangtan and the surrounding area. In particular, the vegetation fractional cover in Green-core of CZT declined a little bit. The driving forces analysis showed that the changes of vegetation fractional cover in CZT core region were correlated with the climate change, while the population growth, land-use change, urbanization and policy were the key factors influencing the vegetation fractional cover.

Key words: remote sensing; vegetation fractional cover; Changsha-Zhuzhou-Xiangtan core region

收稿日期:2014-11-10

基金项目:环保部“全国生态环境十年(2000—2010)变化遥感调查与评估项目——湖南专项”(专题编号:STSN-05-18)

作者简介:李毅(1979—),男,汉族,湖南耒阳人,讲师,在读博士,主要研究方向为土地利用变化、环境系统评价。E-mail:yibsen@163.com.

植被对能量平衡、生物化学循环和区域微气候起着重要调控作用^[1-4]。近13年来,由于全球气候变化及人类活动影响,长株潭核心区植被覆盖随之发生了较大变化,因此定量测定研究区内植被覆盖度,分析植被覆盖度动态变化情况,对探究引起变化的原因及评估植被演化的方向有着重要的现实意义^[5-7]。

局部植被盖度测定可通过地面实际测量获取,但区域级的植被覆盖测量通常采用遥感方法估算^[8-10]。当前,像元分解法、经验模型法和植被指数法是常用植被盖度遥感估算方法,其中像元分解法中的像元二分模型因其不依赖于实测数据、原理可靠、计算简单且精度较高被广泛应用^[11-12]。马娜等^[13]利用像元二分法对内蒙古正蓝旗植被覆盖度进行测量,其总体精度达到64.3%;陈晋等^[14]使用像元分解法对北京市海淀区的植被覆盖进行了估测,其总体精度达70.0%;黄秋燕等^[15]用像元二分模型估算都安县植被盖度并实地调查对估算结果进行验证,总体精度达82.1%。像元二分法在以上区域实际应用中均取得了较好的成果^[16-18],因而本文将采用该方法进行研究。

本文应用美国陆地卫星遥感数据,运用像元二分法建立长株潭核心区植被覆盖度模型,并对区域2000年、2013年的植被覆盖进行了对比,分析长株潭地区植被覆盖度在13年中的动态变化,并进行驱动力分析,为地方政府准确掌握区域生态变化态势、评估“两型”社会建设提供参考。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域

长株潭3市城市群核心地区(简称长株潭核心区)主要包括:长沙市辖区和长沙县暮云镇、黄兴镇、榔梨镇、黄花镇、星沙镇、跳马乡、干杉乡、安沙镇、北山镇等9镇,面积2 893 km²;湘潭市辖区和湘潭县易俗河一河口地区(含易俗河镇域、河口镇域、梅林桥镇域),面积870 km²;株洲市辖区和株洲县淥口地区(含淥口镇、雷打石镇、南阳桥乡、白关镇),面积736 km²,长株潭核心区总面积约为4 500 km²。介于112°36′~113°16′ E,27°36′~28°33′ N,地处长江中游以南、南岭以北,处在湖南省中东部丘陵区,长株潭3市沿湘江呈“品”字形分布,两两相距不足40 km,已形成一个结构紧凑的城市群,区域内地势起伏较小,海拔大多在50 m以下,地貌以山地、丘

陵、岗地和山间平原为主,自东、西部向中部倾斜,向北逐级降低。土地类型以红壤、水稻土为主,土层较深,河网密布。长株潭核心区地处低纬度,属较典型的大陆性中亚热带季风湿润气候,四季分明,热量充足,降水丰沛;春温多变,夏秋多晴;严冬期短,暑热期长。区域内年均气温16~18℃,无霜期270~290 d,年平均光照时数1 640~1 700 h,年均降水量1 414 mm左右。长株潭核心区自然条件优越,经济发展迅速,是湖南省经济发展的核心增长极,也是中国经济潜在“第五增长极”,在中部地区及全国都占有举足轻重的地位,是传统的人口密集区和土地高度集约化利用区。

1.2 研究数据

本研究的遥感数据分别为2000、2013年两时相各2景Landsat5与Landsat8影像,影像数据的具体特征见表1。

社会经济数据来源于湖南省统计年鉴(2001),2000年和2013年长沙市、株洲市、湘潭市国民经济和社会发展统计公报。气象数据来源于长株潭3市气象部门。

表1 本研究所选取影像数据特征

影像时期	日期	行列号	数据类型
2000	20000913	123/040	Landsat 5
	20000913	123/041	
2013	20130917	123/040	Landsat 8
	20130917	123/041	

2 模型与方法

像元二分法模型,假定一个像元的表面由有植被覆盖部分和无植被覆盖部分两部分组成,同样遥感传感器观测的光谱信息也由这两个部分因子合成,各因子所占比重为各自的面积在像元中所占的比率,也可以把植被覆盖度作为植被的权重看待^[11-14]。

2.1 植被指数选取与像元二分模型

当前常用的植被覆盖度遥感监测指标主要有:NDVI、MVI、PVI、SAVI、GEMI等,其中归一化植被指数(NDVI)因其对土壤背景的变化反应灵敏、检测范围宽、受太阳光照差异和地形差异影响小等优点而被广泛应用^[8-16]。

像元二分模型的基本原理:一个像元的NDVI也可分解为有植被覆盖部分地表与无植被覆盖部分地表两部分。因此,计算植被覆盖度的公式为^[19]:

$$F_c = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (1)$$

式(1)中, $NDVI_{soil}$ 表示无植被覆盖区域 $NDVI$ 值, $NDVI_{veg}$ 表示有植被全覆盖像元的 $NDVI$ 值, 即为纯植被覆盖像元的 $NDVI$ 值。

$NDVI_{soil}$ 对于无植被覆盖区域表面, 理论上接近零, 但实际操作中 $NDVI_{soil}$ 的变化范围通常在 $-0.1 \sim 0.2$ 区间。 $NDVI_{veg}$ 为全植被覆盖像元的最大值, 但由于植被类型的影响, $NDVI_{veg}$ 值也是随时间和空间而变化。因此, 一般把土地利用类型图作为计算 $NDVI_{soil}$ 、 $NDVI_{veg}$ 的基础。

一般情况下, $NDVI_{soil}$ 与 $NDVI_{veg}$ 取给定置信度的置信区间内的最大与最小值, 以消除遥感影像噪声所带来的误差^[11]。通过对 $NDVI$ 数据的分析, 结合长株潭核心区的植被覆盖情况, 根据频率统计表, 选取土地利用类型单元内累积频率为 99.50% 的 $NDVI$ 为 $NDVI_{veg}$, 土地利用类型单元内累积频率为 0.50% 的 $NDVI$ 为 $NDVI_{soil}$ 。然后代入公式(1)通过波段运算得出每一个像元的植被覆盖度。

2.2 植被覆盖度分级

根据长株潭核心区植被实际情况, 结合计算得出的植被覆盖度 (F_c), 将区域内植被覆盖度分为 6 级, 分别为: 低植被覆盖度 ($F_c < 10\%$)、较低植被覆盖度 ($10\% \leq F_c < 30\%$)、中等植被覆盖度 ($30\% \leq F_c < 50\%$)、较高植被覆盖度 ($50\% \leq F_c < 70\%$)、高植被覆盖度 ($70\% \leq F_c < 90\%$)、全植被覆盖度 ($90\% \leq F_c \leq 100\%$)。

3 结果与分析

3.1 两期植被覆盖度的时空变化分析

根据上述分级标准, 长株潭核心区 2 个时期各级别的实际面积和所占百分比如表 2 所示。长沙市部分、株洲市部分、湘潭市部分以及长株潭绿心区的植被覆盖度空间分布统计如表 3 所示。

由表 2、3 可以看出: 其一, 长株潭核心区近 13 年植被覆盖度总体有所上升, 由 2000 年的 0.573 9 上升到 2013 年的 0.601 5, 说明长株潭城市群“两型”社会建设成果比较明显。其二, 长株潭核心区近 13 年低植被覆盖区、中等和较高植被覆盖区呈上升趋势, 由 2000 年所占面积的 7.69%、14.95%、21.33% 上升到 2013 年所占面积的 8.45%、17.92%、32.05%; 高植被覆盖区、全植被覆盖区呈下降趋势, 分别由 2000 年所占面积的 31.28%、14.17% 下降到了 2013 年的 25.25%、9.39%。其三, 长株潭核心区各部分植被覆盖度有所变化, 但总体比较稳定, 其中: 长沙市部分植

被覆盖度由 2000 年的 0.571 2 上升到 2013 年的 0.596 7, 株洲市部分植被覆盖度由 2000 年的 0.531 3 上升到 2013 年的 0.630 7, 湘潭市部分植被覆盖度由 2000 年的 0.614 0 下降到 2013 年的 0.608 9, 长株潭绿心植被覆盖度由 2000 年的 0.595 5 下降到 2013 年的 0.580 8。

表 2 长株潭核心区两期植被覆盖度分级统计结果

年份	等级	面积/km ²	百分比/%	平均植被覆盖度
2000	低植被覆盖	339.93	7.69	0.573 9
	较低植被覆盖	467.90	10.58	
	中等植被覆盖	660.95	14.95	
	较高植被覆盖	943.29	21.33	
	高植被覆盖	1 383.31	31.28	
	完全植被覆盖	626.77	14.17	
2013	低植被覆盖	373.41	8.45	0.601 5
	较低植被覆盖	307.04	6.94	
	中等植被覆盖	792.39	17.92	
	较高植被覆盖	1 417.57	32.05	
	高植被覆盖	1 116.79	25.25	
	完全植被覆盖	415.37	9.39	

表 3 长株潭核心区各部分两期平均植被覆盖度统计

区域	2000 年	2013 年	13 年变化
长沙市部分	0.571 2	0.596 7	0.025 5
株洲市部分	0.531 3	0.630 7	0.099 4
湘潭市部分	0.614 0	0.608 9	-0.005 1
长株潭绿心	0.595 5	0.580 8	-0.014 7

3.2 13 年植被覆盖度变化转移矩阵

通过以下公式计算一个时期到另外一个时期像元所属的植被覆盖度类型没有发生变化的比例^[11], 公式为:

$$P = \sum_{i=1}^n p_{ij} \quad (2)$$

式(2)中, P 表示一个时期到另外一个时期像元所属植被覆盖度类型没有发生变化的百分比, p_{ij} 为转移矩阵中第 i 行、第 j 列的数值, n 为覆盖度分级分类数。计算长株潭核心区植被覆盖度从 2000 至 2013 年的变化转移矩阵, 如表 4。

从表 4 可以看出: $P = 42.76\%$, 这表明在 2000 至 2013 年间, 42.76% 的植被覆盖区类型基本上没有发生变化, 总体而言, 长株潭核心区总体植被保持稳定。在发生变动的区域中, 从低植被覆盖变为较低植被覆盖的百分比为 10.22%, 另外从较高植被覆盖、中等覆盖、较低覆盖转变为低覆盖的百分比分别为 1.92%、3.31%、6.85%, 其他类型变化不大。

表4 2000—2013年长株潭核心区植被覆盖度转移矩阵

%

2013年	2000年						总和
	低植被覆盖	较低植被覆盖	中等植被覆盖	较高植被覆盖	高植被覆盖	全植被覆盖	
低植被覆盖	24.43	6.85	3.31	1.92	0.52	0.21	37.24
较低植被覆盖	10.22	9.84	4.43	2.56	0.47	0.43	27.95
中等植被覆盖	3.10	3.42	4.84	4.11	1.72	0.51	17.70
较高植被覆盖	1.01	1.28	1.18	2.01	2.96	0.71	9.15
高植被覆盖	0.56	0.89	0.93	1.84	0.69	0.88	5.79
全植被覆盖	0.12	0.14	0.22	0.32	0.42	0.95	2.17
总和	39.44	22.42	14.91	12.76	6.78	3.69	100.00

3.3 植被改善与退化分析

通过2000年、2013年植被覆盖度影像差值运算,得到区域内2期植被覆盖度的改善或退化结果(见图1),图中像元变化大于5%的表示植被改善区,像元变化小于-5%的表示植被退化区,像元变化在-5%至5%之间的表示植被基本保持稳定。

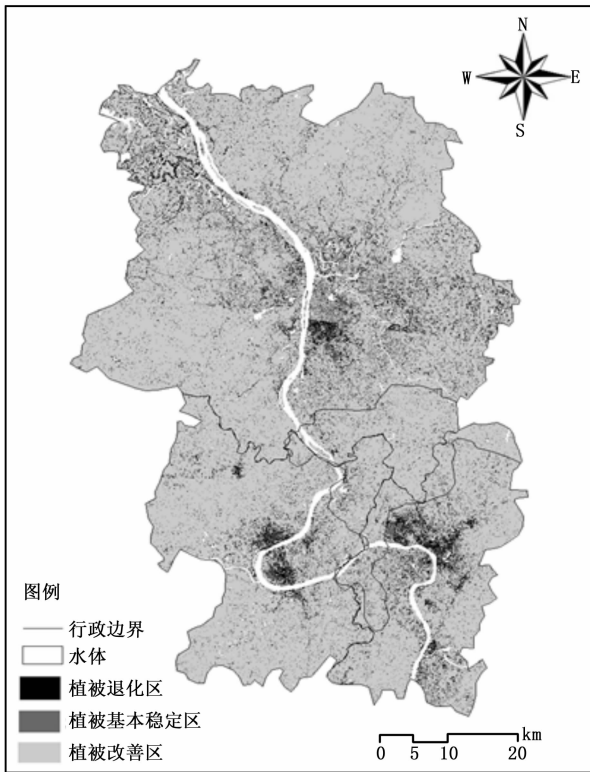


图1 长株潭核心区植被退化/改善区域分布图

根据统计得出,2000至2013年间,植被改善区面积所占百分比为47.97%,植被退化区所占面积百分比为13.74%,植被基本保持稳定区所占面积百分比为38.29%,统计表明:长株潭核心区植被总体保持稳中向好,但也有小部分区域植被退化比较明显。通过图1可以发现:植被退化区主要集中在长沙、株洲、湘潭三市城区及周边,另外长株潭绿心区植被覆盖也有小幅降低,而这些地区是长株潭城

市进程中的重要建设区,这也说明植被退化与城市快速扩张有关。

3.4 植被变化驱动力分析

3.4.1 气候条件对植被覆盖度的影响 夏季是植被生长旺盛期,夏季的温度和降水是影响植被覆盖变化的一个重要因素。从长株潭地区的夏季平均气温趋势图和趋势线(图2)可以看出,长株潭地区2000至2013年夏季的平均气温总体呈稳定上升趋势,平均气温的持续攀升加剧了研究区地表水分的蒸发,进而引发区域干旱,影响植物生长,导致植被覆盖度的变化。降水是补充土壤水分主要来源,夏季是长株潭地区降水的主要季节,其降水的多少及其变化直接影响土壤水分的变化,而土壤水分的变化又影响植物生长变化,从长株潭地区夏季平均降水量趋势图和趋势线可以看出,2000至2013年长株潭地区夏季平均降水量总体呈下降趋势,降水的逐年减少,也将影响着植物的生长,进而引起植被覆盖度的变化。但实际上,2000年至2013年长株潭核心区总体植被覆盖并没有出现较大退化,这只能说明气候条件与植被有关但并不是影响本区域内植被覆盖度的决定因素。

3.4.2 人口因素对植被覆盖度的影响 剧烈的人类活动直接、迅速地影响了研究区表植被覆盖,人口的快速增长又是人类活动加剧的重要原因。根据湖南省统计年鉴(2001)和长沙市、株洲市、湘潭市(2000、2013年)国民经济和社会发展统计公报资料,2000年长株潭地区总人口1239.25万人,其中:长沙市613.87万人、株洲市358.18万人、湘潭市267.20万人;2013年长株潭地区总人口1400.74万人,其中:长沙市722.14万人,株洲市398.60万人,湘潭市280.00万人;长株潭地区总人口增加了161.49万人,增幅为13.03%,其中:长沙市人口增加了108.27万人、增幅为17.64%,株洲市人口增加40.42万人、增幅为11.28%,湘潭市人口增加了12.80万人,增幅为4.79%,人口的快速增加,推动

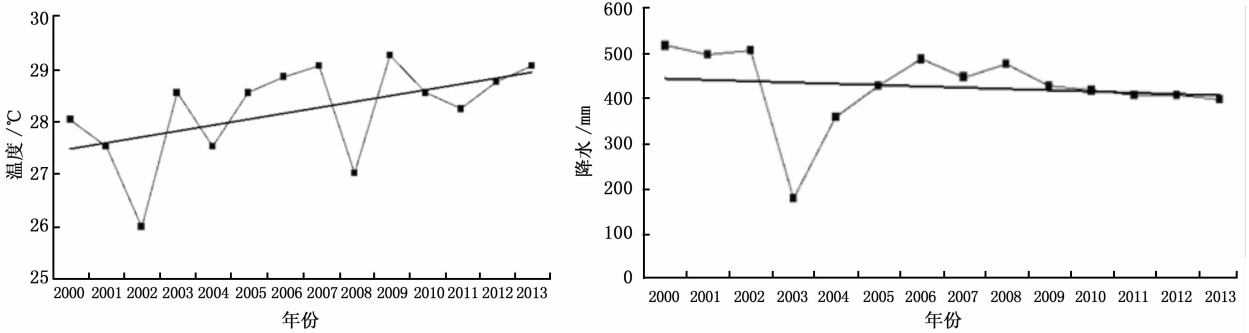


图2 长株潭核心区夏季平均气温、平均降水量变化

了城市化进程,加大了环境压力,导致植被覆盖度也发生相应的变化。

3.4.3 土地利用类型变化对植被覆盖度的影响

经过现场核查,在对预判结果进行实地校核和抽样验证的基础上,建立耕地、林地、水体、建设用地等4类土地利用类型的解译标志,采用人机交互与监督分类的方法对2000年Landsat5影像、2013年Landsat8影像进行分类,分别获取2000和2013年土地利用信息如表5,总体精度分别为81.28%,84.23%。

由表5可以发现:2000、2013年耕地、林地面积均出现大幅减少趋势,减少的百分比分别为-23.13%、-17.17%;水体出现小幅减少,减少百分比为-1.67%;建设用地出现剧烈增长,增幅达到159.84%,这说明城市扩张非常明显,而城市建设用地的增加必将破坏植被覆盖。

表5 长株潭核心区土地利用类型变化

研究指标	林地	水体	耕地	建设用地
2000年面积/km ²	1 846.75	196.86	2 506.36	560.88
2013年面积/km ²	1 529.56	193.58	1 926.56	1 457.41
变化值/km ²	-317.19	-3.28	-579.80	896.53
变化率/%	-17.17	-1.67	-23.13	159.84

3.4.4 城镇化进程对植被覆盖度的影响 大规模、快速的城镇化进程是导致植被覆盖退化的一个重要原因。城市空间上的扩张必然占用耕地、林地、水体等土地类型,这直接导致该地区内植被覆盖发生锐减。长沙市辖区、株洲市辖区、湘潭市辖区、长沙县等区域人为干扰比较强烈,植被覆盖度下降较多。另外,长株潭城市群内公路、铁路的网络结构及网络密度较高,是中南地区基础设施最为完善、交通最为密集的地区之一。在2000—2013年13年间,长株潭地区建成了京广高铁、京珠高速、长永高速、沪昆高速、长潭西高速等高速铁路及高速公路。这些交

通项目的建成是以占用大量的林地、耕地为代价的,同时也造成了区域内水土流失、生态环境的破坏,给区域植被生长带来较大负面影响。

3.4.5 政策对植被覆盖度变化的影响 长株潭城市群自2007年被国家发展改革委批准为全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革试验区,湖南省政府先后出台了《湖南省长株潭城市群区域规划条例》、《湖南省长株潭城市群生态绿心地区保护条例》、《湖南省长株潭城市群区域规划条例实施细则》等政策法规,加大了对研究区内森林植被保护力度,设立了开发建设限制区,提高了区内林草覆盖率,改善了区域生态环境,增强了区内涵养水源、防止水土流失的生态功能,实现区内植被健康生长,最终形成一个良性的循环过程。因此,这也是长株潭核心区近13年城区面积大幅度扩张,但区域内植被覆盖度保持总体稳定的一个重要原因。

4 主要结论和问题

本研究利用2000、2013年的Landsat5, Landsat8影像,以像元二分法模型反演得出长株潭核心区植被覆盖度,并进行定量分析,研究结果表明:其一,长株潭核心区总体植被覆盖保持稳定并有所改善,植被退化区主要集中在长沙市、株洲市、湘潭市等三市的城区及城郊,另外长株潭绿心区植被也有小幅下降;其二,通过驱动力分析发现长株潭核心区植被覆盖与气候变化有一定关联但人口增长、土地利用变化、城市化进程以及政策等人为因素是影响植被变化的主要因素;其三,研究结果对合理推进研究区域城镇化进程,建设“两型社会”具有一定的参考价值。

本研究利用像元二分法模型对2000、2013年长株潭核心区植被覆盖度进行了计算,得到了长株潭核心区植被覆盖度的空间格局和变化动态,但也存在一些需要改进的地方。主要有:首先利用像元二

分法模型计算植被覆盖度,纯植被和裸土像元完全来自遥感影像信息,并没有进行实地测量验证,而植被与裸土 *NDVI* 值的确定是植被覆盖度反演的关键,因此有必要进一步加强实地调查验证反演结果。其次植被覆盖度驱动分析主要采用定性为主辅以定量的方法,下一步应重点考虑采用定量方法分析植被覆盖变化的关键因素。再次本文仅选取了 2000 年和 2013 年两个时间节点,研究时段内部更精细变化过程尚不清楚,未来在数据可得的情况下,可对研究区开展更长时段、更精细时间尺度的植被覆盖度格局及动态变化进行深入分析,以便完整分析长株潭核心区生态系统演化趋势。此外,今后还可以进一步探讨植被覆盖与城市群水热平衡、区域微气候以及环境健康之间的相关分析等^[21-24]。

参考文献:

- [1] Detwiler R P, Hall C A. Tropical forest and the global cycles[J]. *Science*, 1988, 239(4835): 42-47.
- [2] Gutman G, Ignalov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. *Int J Remote Sens*, 1998, 19(8): 1533-1543.
- [3] Guli Jiapaer, Xi Chen, Anming Bao. A comparison of methods for estimating fractional vegetation cover in arid regions [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, 151(12): 1698-1710.
- [4] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 等. 土地利用变化对陆地生态系统碳贮量的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1385-1390.
- [5] 易浪, 任志远, 张 翀, 等. 黄土高原植被覆盖变化与气候和人类活动的关系[J]. *资源科学*, 2014, 36(1): 168-176.
- [6] 历 华, 柳钦火, 邹 杰, 等. 基于 MODIS 数据的长株潭地区 ND-BI 和 NDVI 与地表温度的关系研究[J]. *地理科学*, 2009, 29(2): 118-123.
- [7] 历 华, 曾永年, 负培东, 等. 基于 MODIS 数据的长株潭地区城市热岛时空分析[J]. *测绘科学*, 2007, 32(5): 109-111.
- [8] 孙 禹, 哈斯·额尔敦, 社会石, 等. 植被盖度在土壤侵蚀模数计算中的应用[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(5): 191-195.
- [9] 高国林. 长江干流宜宾段植被覆盖变化遥感分析[D]. 成都: 四川师范大学, 2013.
- [10] 卢善龙, 吴炳方, 闫娜娜, 等. 河川径流遥感监测研究进展[J]. *地球科学进展*, 2010, 25(8): 42-48.
- [11] 田海静, 曹春香, 戴晟懋, 等. 准格尔旗植被覆盖度变化的时间序列遥感监测[J]. *地球信息科学学报*, 2014, 16(1): 130-137.
- [12] 罗慧芬, 苗 放, 叶成名, 等. 汶川地震前后茂县植被覆盖度变化研究[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(3): 208-211.
- [13] 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): 126-131.
- [14] 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): 17-23.
- [15] 黄秋燕, 于 刚, 丁 琳. 都安县植被覆盖度动态变化的遥感反演及驱动力分析[J]. *南方国土资源*, 2008(9): 36-39.
- [16] 王 浩, 李文龙, 杜国祯, 等. 基于 3S 技术的甘南草地覆盖度动态变化研究[J]. *草业学报*, 2012, 21(3): 29-40.
- [17] 党 青, 杨武年. 近 20 年成都市植被覆盖度动态变化检测及原因分析[J]. *国土资源遥感*, 2011, 23(4): 124-128.
- [18] 陈 骏, 沈盈佳, 曾建军, 等. 基于 RS 的昆明市植被覆盖度变化动态分析[J]. *林业调查规划* 2013, 38(5): 14-17.
- [19] 郭芬芬, 范建容, 严 冬, 等. 基于像元二分模型的昌都县植被盖度遥感估算[J]. *中国水土保持*, 2010(5): 69-71.
- [20] 陈 巧, 陈永富, 鞠洪波. 基于 3S 技术的天保区植被变化监测方法研究[J]. *林业科学研究*, 2013, 26(6): 736-743.
- [21] 董喜春, 汤剑平, 王 元, 等. 长江中下游地区城市化进程中地表植被变化气候效应的数值模拟[J]. *气象科学*, 2008, 28(2): 33-40.
- [22] 刘 越, Shintaro Goto, 庄大方, 等. 城市地表热通量遥感反演及与下垫面关系分析[J]. *地理学报*, 2012, 67(1): 103-114.
- [23] 吴建强, 黄沈发, 黄宇弛, 等. 污染负荷及植被生物量变化对缓冲带污染物净化效果的影响[J]. *环境工程学报*, 2008, 2(10): 131-135.
- [24] 徐赛萍, 沙晋明, 刘玉琴, 等. 城市热岛效应对植被生态环境质量的响应研究——以福州市马尾区为例[J]. *福建师范大学学报: 自然科学版*, 2014, 30(3): 137-146.