

DOI: 10.5846/stxb201506291344

赵丽红,王屏,欧阳勋志,吴志伟.南昌市植被覆盖度时空演变及其对非气候因素的响应.生态学报,2016,36(12):3723-3733.

Zhao L H, Wang P, Ouyang X Z, Wu Z W. An analysis of the spatio-temporal variation in fractional vegetation cover and its relationship with non-climate factors in Nanchang City, China. Acta Ecologica Sinica 2016, 36(12): 3723-3733.

南昌市植被覆盖度时空演变及其对非气候因素的响应

赵丽红^{1,2}, 王 屏², 欧阳勋志^{1,*}, 吴志伟³

1 江西农业大学林学院,南昌 330045

2 江西农业大学国土资源与环境学院,南昌 330045

3 中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110016

摘要: 植被是陆地生态系统的重要组成部分,植被覆盖在空间上的差异是气候和人类活动交互作用的结果。随着城市扩张,人类活动的加剧及不合理的土地利用方式导致了生态问题,对植被覆盖有重大影响。基于地形调节植被指数的像元二分模型,利用 3 期 landsat-5 TM 影像图分析南昌市植被覆盖度时空演变特征,并结合 DEM 数据分析植被覆盖度及变化的地形梯度分异规律,利用 3 期土地利用图量化植被覆盖度变化对土地利用方式转变的响应。结果显示:1) 研究区 2001—2010 年植被覆盖度从 0.54 下降为 0.42,总体上呈退化趋势,2005 年之后植被退化有所减缓;2) 植被覆盖度的地形梯度变化显著。植被覆盖度与高程呈高度的正相关性,在坡度 0—22° 梯度带呈现较高的正相关,在坡度 22—40° 梯度带呈现较高的负相关。80% 以上植被覆盖变化集中在海拔 30 m 以下、坡度 4° 以下的区域;3) 植被覆盖度变化是地形与土地利用综合作用的结果。在平原低丘区,土地利用行为是植被覆盖变化的主导因素。城市的建设和扩张导致占用耕地、林地和草地,以及大面积的撂荒、伐林等土地活动对植被覆盖退化的贡献率为 50% 以上,是植被覆盖退化的主要原因,而退耕还林还草、废弃地复垦、后备资源开发为植被覆盖增加的主要原因。可为平原低丘区生态环境监测和构建环境友好型土地利用模式提供科学依据。

关键词: 植被覆盖度; 时空演变; 地形梯度; 土地利用; 南昌市

An analysis of the spatio-temporal variation in fractional vegetation cover and its relationship with non-climate factors in Nanchang City, China

ZHAO Lihong^{1,2}, WANG Pin², OUYANG Xunzhi^{1,*}, WU Zhiwei³

1. College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

2. College of Land Resource and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

3. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

Abstract: Vegetation is an important component of the terrestrial ecosystem, and its spatio-temporal variations are determined by the interactions of various natural and human factors. Generally, climatic factors (e.g., temperature and precipitation) regulate the growth and spatial distribution patterns of vegetation across a landscape in the long term, whereas non-climatic factors, such as human activities, determine the changes in vegetation cover in the short term. The “returning farmland to lake” and “returning farmland to forest” projects implemented since 1998 have led to many ecological and environmental problems in Nanchang city. Previous studies have suggested that exploring the effects of non-climatic factors (e.g., topography and land use behavior) on vegetation cover can provide scientific bases and references for ecological and environmental monitoring in a low hilly plain region (e.g., Nanchang city). In this study, employing a dimidiate pixel model and three Landsat-5 TM images, we investigated the spatio-temporal variations in fractional vegetation cover from

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360181, 31160159); 江西省高校人文社科项目(GL1323)

收稿日期: 2015-06-29; 修订日期: 2016-02-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: oyxz_2003@hotmail.com

<http://www.ecologica.cn>

2001 to 2010 in Nanchang city. The topography-adjusted vegetation index was used to derive the dimidiate pixel model. The fractional vegetation cover was calculated based on Landsat-5 TM images in 2001, 2005, and 2010. A digital elevation model (DEM) was used to investigate the effects of terrain factors on fractional vegetation cover. In addition, three periods of land use maps were used to characterize the response of fractional vegetation cover change to land use change based on the “overlap” and “zonal statistics” tools in ArcGIS. The results showed that: 1) the mean values for fractional vegetation cover in Nanchang city were 0.54, 0.45, and 0.42 in 2001, 2005, and 2010, respectively. Overall, the fractional vegetation cover decreased from 2001 to 2010, and this trend was retarded after 2005. Spatially, locations with high fractional vegetation cover were clustered at the center of Nanchang city. Specifically, the fractional vegetation cover degenerated obviously in Xinjian County, Anyi County, and Jinxian County from 2001 to 2005. From 2005 to 2010, the fractional vegetation cover declined in Nanchang County, Jinxian County, and Xihu District and significantly increased in other counties, especially in Anyi County and QinShanhu and DongHu districts. 2) Relationships between fractional vegetation cover and terrain were significant. Specifically, the fractional vegetation cover was positively correlated with elevation and a slope gradient of 0—22 degrees and negatively correlated with a slope gradient of 22—40 degrees. More than 80% of the vegetation cover changes occurred in areas with an altitude of <30 m and a slope of <4 degrees. 3) The change in fractional vegetation cover resulted from the interactions of terrain and land use. Land use played a predominant role in altering vegetation cover, especially in the low hilly plain areas. Converting cultivated land, forest land, and grassland to developed land, abandoning cultivated land, and cutting forestland were the main causes of vegetation cover degradation (accounting for 50%). The policies of speeding up of urbanization in the low hilly plain area and the returning of farmland to forest and grassland, reclaiming land, and developing reserved land resources were the main causes for the vegetation cover increase.

Key Words: fractional vegetation cover; spatio-temporal variation; terrain gradient; land use; Nanchang city

植被是陆地生态系统的重要组成部分,具有截留降雨、减少雨滴击溅、减缓地表径流、保土固土等功能,是土壤侵蚀与水土流失的主要监测因子^[1]。植被覆盖度是反映生态系统变化的重要参数,是评价一个地区生态系统是否健康、生态环境质量是否良好的重要指标^[2-3]。当前国内外学者普遍基于遥感手段,利用模型法^[4-6]、植被指数法^[7-8]和像元分解模型法^[9-14]等方法进行植被覆盖度的反演,评价区域的生态环境^[8]。而像元分解模型法实质上是对植被指数法的改进,为当前的主流方法。综观国内对植被覆盖度的研究,多采用国外的研究方法,选择区域大都为丘陵山地区,具有水土流失严重,生态环境质量差的特征,如齐清^[15]、张宝庆^[1]、李旭谱^[16]、廖清飞^[17]、秦超^[18]、严恩萍^[19]、李恒凯^[14]等分别以黄土高原、西北五省、青海省东部农业区、陕西省、京津地区、江西赣州市为研究区,进行植被覆盖时空演变遥感监测与分析。研究表明植被覆盖变化与气候、地形有显著的相关性,气候因素在长时间序列上对植被的生长和分布起着主要作用,但短期内植被覆盖的变化主要受人类活动的影响^[20]。目前在人类活动对植被覆盖变化的影响研究方面欠缺,特别是平原低丘区的毁林开荒、退耕还林、开发建设等土地利用活动对区域植被覆盖的影响。土地利用方式的转变对土壤的主要理化特性皆有影响^[21-22],毁林开荒、围湖造田、建设用地占耕地等土地利用方式会严重破坏土壤,影响生物多样性和生态系统生产力^[23]。当然一些土地利用方式也有利于水土流失的治理和植被的恢复,如退耕还林。因此以平原低丘区为研究区,量化研究人类活动(土地利用行为)对植被覆盖度的影响显得尤其重要。

南昌市位于江西省中部偏北,处赣江、抚河尾间,鄱阳湖之滨,是江西省省会,是鄱阳湖生态经济区的核心城市,推动着全省经济发展和城市化进程。南昌市以地丘、岗地和冲积平原地貌为主,平均海拔为 25 m,降雨量充沛,土地利用以耕地和林地为主,水土流失问题比较严重。1998 年南昌市实施了“平垸行洪、退田还湖”以及“退耕还林”、“一大四小”工程,另一方面随着城市的扩张,人类活动的加剧及不合理的土地利用方式导

致了诸多生态问题,加剧了城市的水土流失。因此在这段时期南昌市的植被覆盖如何变化?植被覆盖变化呈现怎样的地形梯度规律?植被覆盖变化与土地利用行为有何关系?基于此背景及目的,本文以 GIS 和 RS 为技术支撑,分析南昌市在城市扩张下的植被覆盖时空变化特征,尤其是分析土地利用方式的转变对植被覆盖度变化的驱动,为今后建立友好型土地利用模式,协调新型城镇化下社会经济建设与生态环境保护的矛盾提供参考。

1 研究数据及方法

1.1 数据来源

本研究时间尺度为 10 年(2001—2010 年),所采用的遥感数据为 landsat-5 TM 影像图,空间分辨率为 30 m,数据来源于“地理空间数据云”遥感数据共享平台(<http://www.gscloud.cn/>)。为便于进行时空变化分析,选择地面站接收时间为 2001 年、2005 年和 2010 年,条带号为 121 和 122,行编号为 40。3 期影像数据平均云量均低于 10%,数据质量良好,且所选择的 3 期数据时相为 6 月,处于植被生长旺季,具有可比拟性,能满足研究需求。另 30 m 的 DEM 和对应的 3 期土地利用现状图皆来源于南昌市土地利用规划数据库,用于提取地形及土地利用信息,以分析植被覆盖对地形和土地利用方式等非气候因素的响应。

1.2 数据预处理

在 ENVI 5.1 平台对获取遥感影像图进行预处理。辐射定标与大气校正是数据预处理关键,首先将灰度值转化为辐射亮度值或反射率,在此基础上进行大气校正,去除大气对地面地物辐射反射的影响,还原地物本身的反射光谱特征。对校正后的图像进行重投影,将“WGS-84”转换为“西安 80”地理坐标系。运用“Seamless Mosaic”工具对进行无缝拼接,再以南昌市行政界线为掩膜文件进行裁剪,最终获取南昌市 2001 年、2005 年和 2010 年遥感影像图。在 ArcGIS 10.2 平台对 DEM 图和土地利用现状图进行重投影,投影为西安 80 坐标,建立空间数据库。

1.3 植被覆盖度估算方法

1.3.1 地形调节植被指数计算

本文引用江洪等^[24]的研究,用红光波段构建阴影植被指数(SVI),与归一化植被指数(NDVI)进行线性组合,构建地形调节植被指数(TAVI)。

$$SVI = (MR - BR) / BR \quad (1)$$

$$TAVI = NDVI + f(\Delta) \times SVI \quad (2)$$

式中, BR 表示红光波段, MR 表示红光波段的最大值, $f(\Delta)$ 表示地形调节因子。 $f(\Delta)$ 的确定至关重要,可从 $f(\Delta)$ 为零开始进行优化匹配,当阳坡的最大 TAVI 与阴坡的最大 TAVI 值相当或近似时,则该时的 $f(\Delta)$ 为最优值。

1.3.2 基于 TAVI 的像元二分模型法

像元二分模型假设像元信息分为植被部分所贡献的信息(S_{veg})和由无植被覆盖部分(S_{soil})所贡献的信息两部分^[25]。假设混合像元中植被覆盖的面积比例即为该像元的植被覆盖度(FVC),而土壤覆盖的面积比例则为 $1-FVC$,则有:

$$FVC = (S - S_{soil}) / (S_{veg} - S_{soil}) \quad (3)$$

当遥感信息 S 选择为 TAVI 时,公式(3)可以表示为:

$$FVC = (TAVI - TAVI_{soil}) / (TAVI_{veg} - TAVI_{soil}) \quad (4)$$

式中, S_{soil} 为裸土或无植被覆盖区的植被指数值, S_{veg} 表示纯植被像元的植被指数值。植被覆盖类型是随景观类型而变化的^[25],可将土地利用类型作为计算 $TAVI_{soil}$ 和 $TAVI_{veg}$ 的基础。按不同土地类型提取相对应的 $TAVI_{veg}$ 和 $TAVI_{soil}$ 值,根据经验进行估计, $TAVI_{veg}$ 与 $TAVI_{soil}$ 分别取累积频率 95% 与 5% 时对应的值。

1.4 植被覆盖度对非气候因子响应分析方法

对 3 期植被覆盖度图进行差值运算,从 DEM 数据中提取高程和坡度,再对其进行重分类划分梯度带。运

用“分区统计”方法对植被覆盖度图、植被覆盖变化差值图进行统计,分析不同梯度带的植被覆盖度变化规律。将3期土地利用图进行叠加分析,获取2001—2005年和2005—2010年两时段的土地利用变化图斑,将其与植被覆盖变化差值图进行交叉面积统计,以分析植被覆盖变化对土地利用方式转变的响应。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖度时空演变特征

按上述方法估算出2001年、2005年和2010年植被覆盖度,按照等级划分标准^[14]得到3期植被覆盖度等级图(图1)和两时段的植被覆盖度变化等级图(图2)。

统计各等级的植被覆盖度面积(表1)及覆盖度变化面积(表2)。

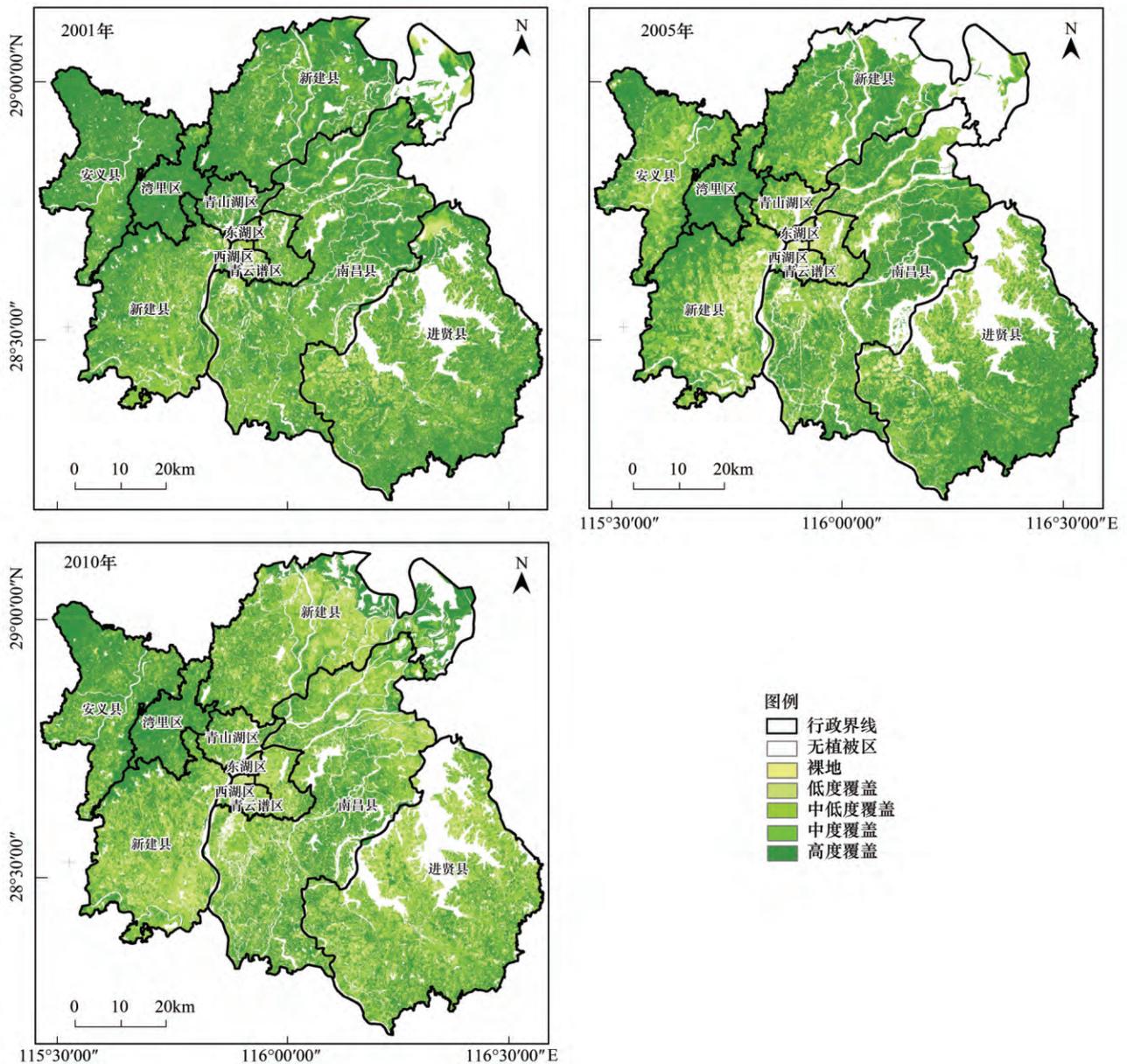


图1 研究区植被覆盖度分布

Fig.1 FVC in the study area

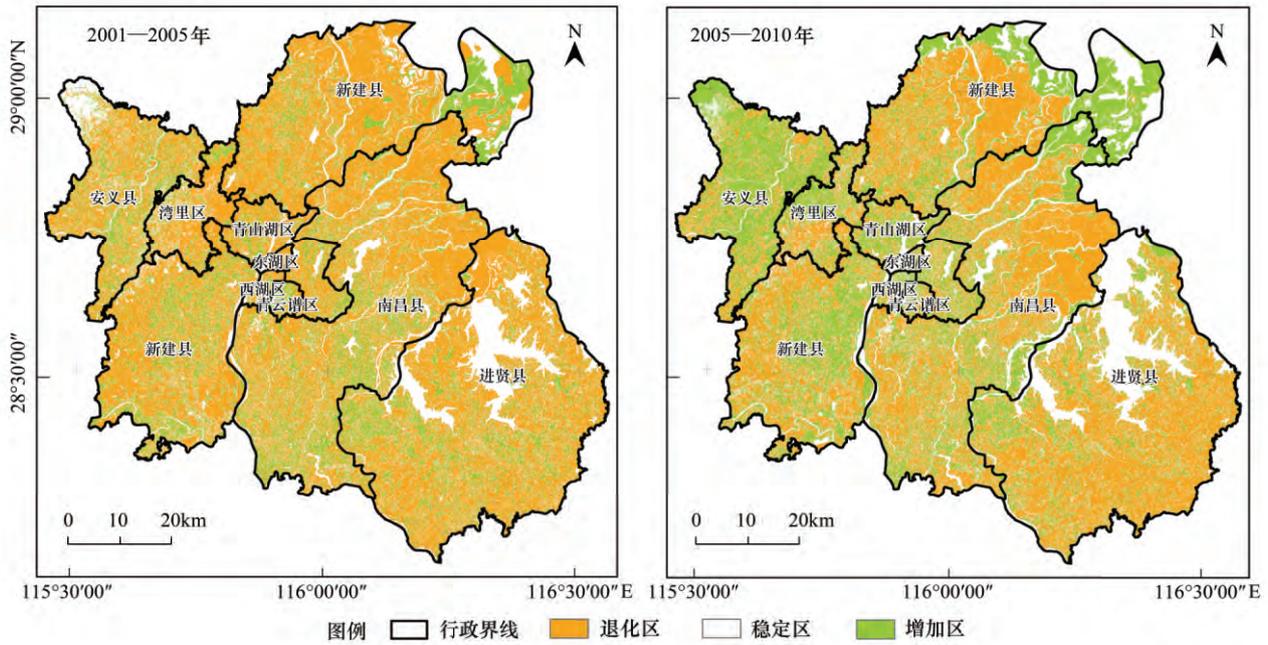


图 2 研究区植被覆盖度变化

Fig.2 The variation of FVC in study area

表 1 分级标准及植被覆盖度等级面积比例

Table 1 Grading standards and percentage of total area of FVC

植被覆盖度等级 FVC rank	阈值区间 Threshold interval	面积比例 Area percentage / %			2001—2005 年 变化幅度 / % Rangeability (2001—2005)	2005—2010 年 变化幅度 / % Rangeability (2005—2010)
		2001 年	2005 年	2010 年		
无植被 Non-vegetation	≤ 0	15.52	21.96	17.68	6.43	-4.28
裸地 Bare land	$0 < FVC < 0.1$	1.73	2.68	3.40	0.95	0.72
低度覆盖 Low coverage	$0.1 \leq FVC < 0.3$	6.72	9.91	16.04	3.19	6.13
中低度覆盖 Low to moderate coverage	$0.3 \leq FVC < 0.45$	11.13	12.83	17.91	1.70	5.08
中度覆盖 Moderate coverage	$0.45 \leq FVC < 0.6$	16.69	15.93	16.54	-0.76	0.61
高度覆盖 Height coverage	$FVC \geq 0.6$	48.21	36.69	28.44	-11.51	-8.26

表 2 植被覆盖度变化级别面积比例

Table 2 Percentage of total area for the variation grading of FVC

植被覆盖度变化级别 Variation grading of FVC	阈值区间 Threshold interval	2001—2005 年变化幅度 / % Rangeability(2001—2005)	2005—2010 年变化幅度 / % Rangeability(2005—2010)
严重退化 Serious degradation	$-1.0 \leq x \leq -0.3$	27.09	19.64
退化 Degradation	$-0.3 < x \leq -0.1$	23.09	18.20
轻微退化 Slight degradation	$-0.1 < x \leq -0.05$	5.99	5.25
稳定 Stability	$-0.05 < x \leq 0.05$	21.41	23.97
轻微增加 Slightly increase	$0.05 < x \leq 0.1$	4.12	5.04
增加 Increase	$0.1 < x \leq 0.3$	10.68	14.25
剧烈增加 Sharp increase	$0.3 < x \leq 1$	7.62	13.64

<http://www.ecologica.cn>

研究区 2001 年、2005 年和 2010 年的植被覆盖度均值分别为 0.54、0.45 和 0.42，植被覆盖度呈现下降趋势，2005 年之后下降幅度稍小。从表 1 和图 1 可知南昌市植被覆盖度以中度覆盖和高度覆盖为主，主要分布在新建县、南昌县、进贤县、安义县和湾里区。10 年间南昌市植被覆盖度呈现由高度覆盖向中低度覆盖、低度覆盖演变的特点，植被覆盖呈退化趋势。植被高度覆盖占总面积比由 48.21% 降为 28.44%，中度覆盖区比较稳定，面积百分比在 16% 左右，中低度覆盖和低度覆盖区面积由 11.13%、6.71% 上升为 17.91% 和 16.04%。从表 2 可知，两时段植被退化区面积占总面积比分别为 56.17% 和 43.09%，其中以严重退化为主，但 2005 年后退化有所减缓；植被覆盖稳定区面积比分别占 21.41% 和 23.97%；植被覆盖增加面积比由 22.41% 上升为 32.94%。从空间分布来看(图 2) 植被退化与增加呈现空间聚集特征。2001—2005 年植被覆盖退化以新建县、安义县、进贤县最为明显。2005—2010 年除南昌县、新建县、进贤县和西湖区仍呈一定退化趋势外，其它区域植被覆盖均从低度覆盖向高度覆盖转变，植被覆盖有所提高，以安义县、青山湖区和东湖区最为明显。

自 1998 年起为维护区域的生态安全，南昌市实施了“平垸行洪、退田还湖”等工程，在一定程度上增加了水域面积，另一方面受降水影响，河流湖泊蓄积量增加，水域面积增加。2005—2010 年之间，特别是 2007—2009 年间，南昌市年降水量与近 30 年偏差值在 -400 mm 左右。此外三峡水库建成之后，水库下游的径流过程发生改变，鄱阳湖水位也在一定程度上受到影响。受这些因素影响，研究区鄱阳湖水体萎缩，转变为滩地和荒草地。随着对湿地保护力度的加大，河流湖泊周边植被发育良好，植被覆盖呈剧烈增加趋势。

2.2 植被覆盖度的地形梯度变异规律

2.2.1 植被覆盖度的高程梯度变化

南昌市为低丘平原地貌，将 0—60 m 以 10 m 为间距分成 6 个梯度带，60—100 m 划为一个梯度带，100—500 m 以 100 m 为间距分成 4 个梯度带，500 m 以上划为一个梯度带，共划分为 12 个梯度带。分别对 3 期植被覆盖度及两时段植被覆盖变化等级进行统计(图 3) 植被覆盖表现出明显的垂直地带性，呈梯度变化，即随着高程的增加植被覆盖度也有所增加。高程 30 m 以下的植被覆盖度在 0.4 左右，且随高程增加而缓慢增加；30—60 m 梯度带植被覆盖度随高程增加，上升幅度有所提高；100—200 m 梯度带植被覆盖度上升较大，300 m 以上植被覆盖度变化不大，稳定在 0.75 左右。将高程与 3 期植被覆盖度进行相关性分析，相关系数分别为

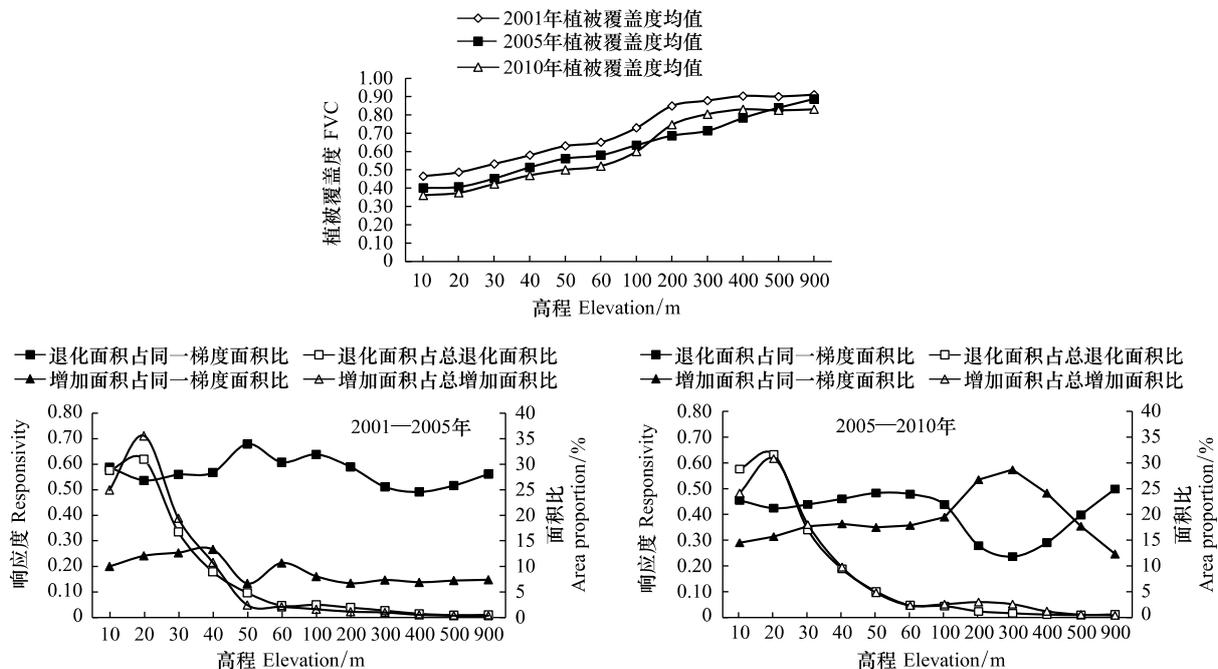


图 3 植被覆盖度随高程梯度变化

Fig.3 The change of FVC with slope elevation

0.94、0.97、0.95, 结果表明植被覆盖度与高程呈高度正相关。2001—2005 年植被覆盖退化与增加随高程变化上下波动, 无显著相关。高程梯度带内植被覆盖退化面积占总覆盖退化面积比例、植被覆盖增加面积占总增加面积比例随高程增加而降低, 75% 植被覆盖变化区域集中在高程 30 m 以下。2005—2010 年, 在 100 m 以上植被覆盖退化占同一梯度面积比急剧下降, 植被覆盖增加占同一梯度面积比急剧上升, 但在 500 m 以上呈反向变化。

2.2.2 植被覆盖度的坡度梯度变化

南昌市坡度范围为 0—40°, 其中 0—6° 区域占 85%, 16° 以上占 5%。根据研究区地形特点, 以 2° 为间隔进行坡度梯度带划分, 共划分 20 个带。分别对 3 期植被覆盖度和两时段植被覆盖变化级别进行统计, 得出结果如图 4。坡度在 0—10° 梯度带植被覆盖度略有下降, 主要是该梯度区域地势较平缓, 为人类活动的主要区域, 植被生长受人为干扰较严重; 10—22° 梯度带植被覆盖度开始增加。在 10—16° 梯度带增加速度较快, 主要是因为受人为干扰较小, 土地利用方式单一, 主要为林地。16—22° 梯度带植被覆盖度增加较缓慢, 达到最高值; 22—24° 梯度带植被覆盖度开始下降, 在 38° 以上急剧下降。将坡度与 3 期植被覆盖度进行相关分析, 在坡度 0—22° 梯度带呈较高的正相关, 相关系数分别为 0.89、0.88 和 0.91; 在坡度 22—40° 梯度带呈很高的负相关, 相关系数分别为 -0.97、-0.98 和 -0.98。85% 植被覆盖变化区域集中在 4° 以下, 随坡度增加人类活动干扰减少, 植被退化程度有所减缓。坡度 12° 以上植被增加随坡度梯度上升明显, 植被退化随坡度梯度上升而减缓。2005—2010 年植被覆盖增加速度大于植被覆盖退化速度, 但由于发生面积较小, 不能逆转整个研究区植被覆盖退化的趋势。

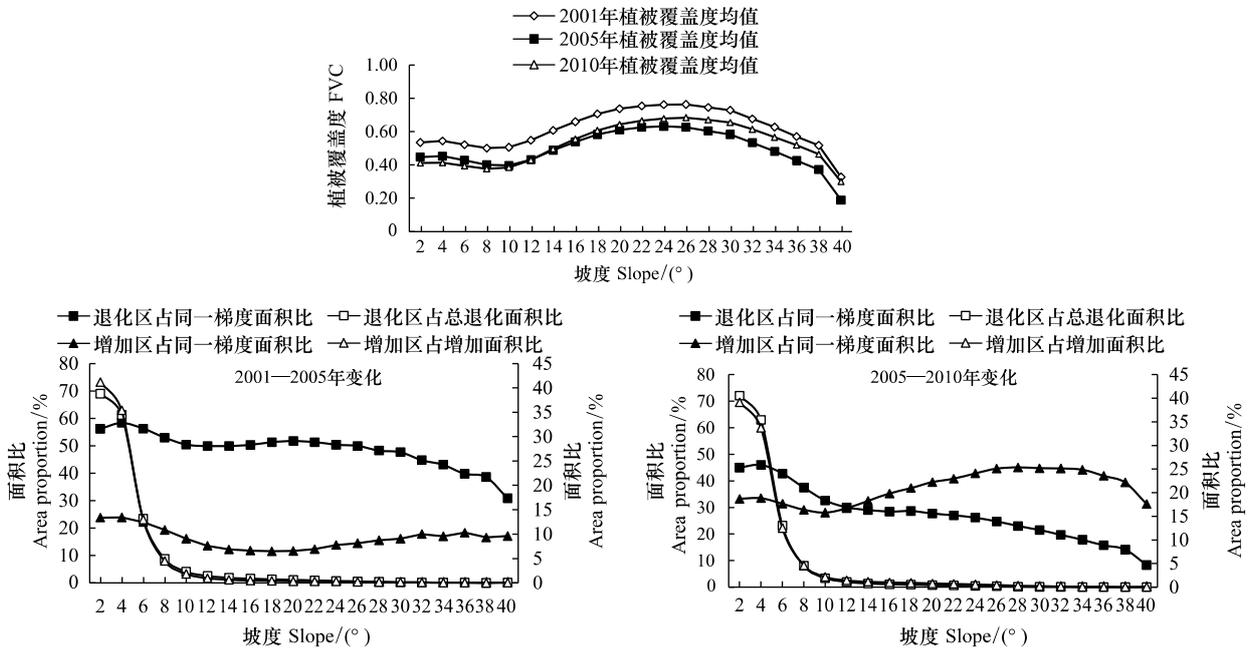


图 4 植被覆盖度随坡度梯度变化
Fig.4 The change of FVC with slope

2.3 植被覆盖度对土地利用方式转变的响应分析

将 3 期土地利用类型图进行叠加分析, 确定土地利用方式的转变类型为 27 类。将植被覆盖变化类型(退化 and 增加) 面积占同一转变类型区域面积比定义为响应度, 阈值范围为“0—1”, 趋近于 1 说明响应度大, 反之响应度小。结果如图 5。为便于统计与制图, 对土地转换类型名称进行简化, 如将“林地转耕地”简化为“林转耕”, “建设用地转草地”简化为“建转草”, “水域转其它土地”简写成“水转其它”, 其它名称亦同。

经统计近 60% 的植被覆盖度变化区域的土地利用方式均发生转变。植被覆盖度退化对土地利用方式转变的响应强度为“其它转草”>“林转荒草”>“耕转荒草”>“耕转水”>“草转建”>“林转建”>“草转水”>“林转

其它”>“林转耕”>“耕转建”>“其它转建” 响应度均在 0.5 以上,其它转换类型植被覆盖度退化较少。“其它转草”表现为园地转草地,虽响应强度大,但占总退化面积比例不大;研究区以耕地和林地为主,结合响应度可知植被覆盖退化主要是由于大量的耕地、林地转荒草地和建设用地的所致,此外“草转建”及“林转耕”也有较大影响。植被覆盖度增加对土地利用方式转变的响应强度为“草转林”>“荒草地转林”>“建转草”>“建转耕”>“水转耕”>“耕转林”>“其它转林”>“水转草”,响应度均在 0.5 以上,其它转换类型植被覆盖度增加较少。

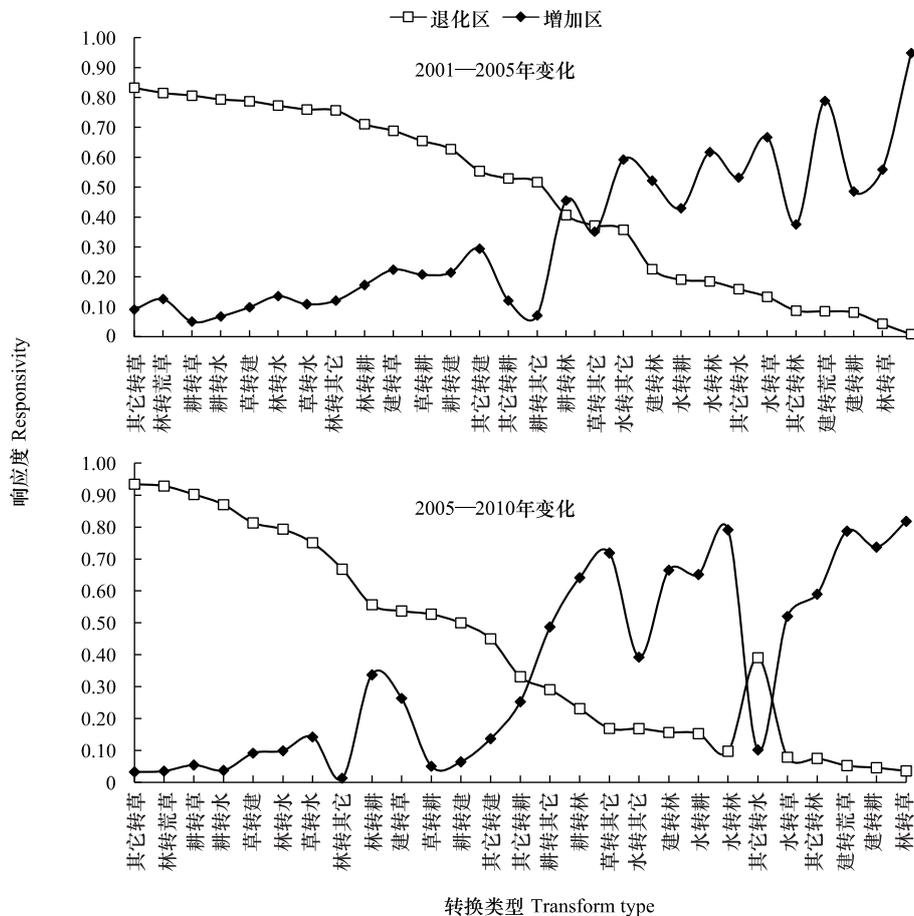


图5 土地利用方式转变类型下的植被覆盖度变化响应
Fig.5 The response of FVC change with land use change

结合土地利用方式和相关政策,将土地利用方式转变归并为“建设占用”、“土地开发”、“土地复垦”、“退耕还林”、“退田还湖”、“围湖造田”、“毁林开荒”、“撂荒”等八种类型。在 GIS 下运用空间分析模块中的区域统计进行面积制表,统计八种土地利用变化方式下的植被覆盖变化面积,将植被覆盖变化类型(退化和增加)面积占同一类型区域面积比表征植被覆盖变化对土地利用方式转变类型的响应程度。毁林开荒、建设占用、退田还湖、撂荒等土地利用行为导致植被退化的面积分别占同一类型区域的面积比分别为 69%、52%、49%和 48%,而其它土地利用变化类型导致植被覆盖退化的面积比较小;土地开发、退耕还林、土地复垦、围湖造田等土地利用变化类型导致植被覆盖增加的面积分别占同一类型区域的面积比分别为 80%、73%、61%和 72%,其它类型植被覆盖增加较少。

3 讨论

3.1 植被覆盖度遥感估算方法的可靠性

根据测算原理不同植被覆盖度的估算方法多样。传统的方法虽然精度高但是耗时耗力,适用于小范围植

被覆盖度的测算。运用遥感手段进行植被覆盖度的调查成为当前主流,其具有范围广、效率高的特点。采用像元二分法进行植被覆盖度的提取较普遍,主要是像元二分模型计算较简单,削弱了土壤背景、植被类型和大气对植被指数的影响,具有推广性。植被覆盖度遥感监测最关键的是植被指数的选择与植被指数转换方法^[26]。目前应用较广的仍是 NDVI,但其消除土壤背景影响的能力较差,易达到饱和^[26],主要是由于山体阴影造成的。多个研究^[24, 27-28]验证得出 TAVI 通过波段的线性组合即可消除地形干扰,不需要高精度的 DEM 数据,没有其他的限定条件,具有较高的实用意义^[28]。

本研究为更好的突出 TAVI 抗地形影响效果,选取了湾里区部分山地为样区进行验证(图 6)。从图 6 中很易目视判别,与 NDVI 相比 TAVI 很好的消除了地形纹理。山体阳坡的 TAVI 值低于 NDVI 值,而阴坡的 TAVI 值明显高于 NDVI 值,阴坡阳坡的 TAVI 值非常近似。结果充分说明 TAVI 有效的对山体阴坡信息进行了补偿,而对山体阳坡信息进行了抑制,与现实的植被指数较贴近,为植被覆盖度测算的精度奠定了基础,且这一结果与江洪^[24]、刘亚迪^[28]的研究结论一致。通过植被覆盖度变化对非气候因素的响应分析可说明像元二分模型可准确模拟植被覆盖度的变化趋势。但该方法受遥感影像分辨率、植被类型和植物群落垂直尺度异质性影响^[12],所以遥感监测结果不能完全代替地面调查结果,如何充分利用高分影像图提高植被覆盖度估算模型精度也成为当下研究的重点与热点^[12]。

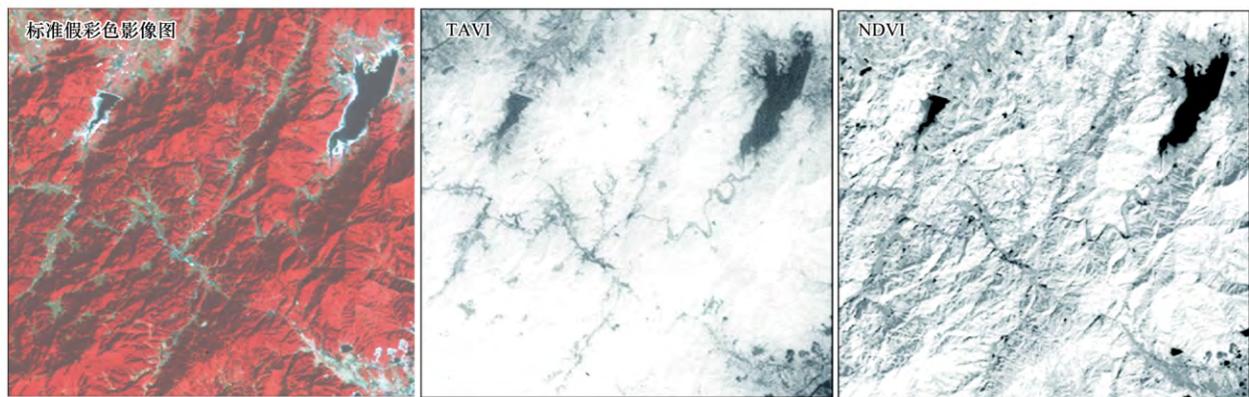


图 6 样区影像、TAVI 和 NDVI 对比

Fig.6 The contrast of image ,TAVI and NDVI in the sample area

3.2 平原低丘区植被覆盖变化的驱动力

植被覆盖变化及其在空间上的差异性是一个自然和人类活动交互作用的过程,气候对植被覆盖的影响主要表现为气温与降水对植被生长的影响^[20]。一般来说气候与地形有较大的相关性,研究区属平原低丘区,除山地外,区域的气候差异不大。2007—2009 年南昌市降水量与以往偏差 -400 mm,降水量对植被覆盖影响具有滞后性,对丘陵区影响不大,但对滨湖区滩涂区域有影响,体现在由于河流湖面萎缩导致的裸露滩涂的植被覆盖增加。本文仅分析在不考虑气候因素影响下,人类活动与地形对植被覆盖度变化的影响。结果表明植被覆盖度与地形梯度呈高度正相关,坡度 22° 以下呈正相关,坡度 22° 以上呈负相关,这与李恒凯^[14]、廖清飞^[17]等的研究结论一致。呈现该变化特征的原因为南昌市地处亚热带,年平均降水量 1515—1595 mm,雨量充沛,山区降雨量频繁。随着坡度增加,受水力侵蚀导致水土流失增强,造成土壤养分的流失,植被覆盖度急剧下降。研究区的植被覆盖退化受自然水土流失影响仅表现在陡坡,但这部分面积所占比重较小,仅为 0.2%。80% 以上植被覆盖变化集中在海拔 30 m 以下、坡度 4° 以下的区域,是人类主要活动区域,为人们进行各项生产生活的主要场所,特别是城市的扩张对生态的干扰极大,造成较严重的城市人为水土流失。

3.3 土地利用方式转型对植被覆盖变化的驱动占主导

研究区 70% 以上的面积在高程 30 m、坡度 4° 以下,为人类生产活动的主要区域,显然以人为主导的资源开发与土地利用等活动是植被覆盖变化的主要原因。城市的建设和扩张导致占用耕地、林地和草地,以及大

面积的撂荒和伐林,这些土地利用方式是植被覆盖退化的主要原因。毁林开荒导致了土壤侵蚀性退化,使水土流失加剧,生物多样性和生态系统的多样性逐步消失,主要分布在新建县、湾里区、安义县和进贤县的丘陵山区。撂荒主要分布安义县、新建县南部和进贤县的西部。滥开滥垦的耕地撂荒,如毁林开荒后的撂荒和围湖造田后的撂荒使得原有的植被很难在短时间内得到恢复,导致地表裸露,易发生沙化和荒漠化,主要分布在沿湖沿江的南昌县北部、新建县北部和南部,以及进贤县的低丘区。

退耕还林还草、废弃地复垦、后备资源开发是植被覆盖增加的主要原因。退耕还林在研究区的丘陵山区均有分布。2002—2007年南昌市完成退耕还林工程 21451 hm²,完成 9053.33 hm²坡耕地和沙化耕地的退耕还林,主要分布在新建县、安义县、进贤县和湾里区。退耕还林工程的实施,特别是对荒滩地、低产农田实施退耕还林,调整了土地利用结构和产业结构,如进贤县前坊镇万亩油茶丰产林基地、架桥乡的千亩吴茱萸药材基地和新建县生米镇的千亩杨树工业原料林基地等。坡地开发为林地可以控制水土流失,但是滩涂开发区土壤砂性重,结构差,植被少,易形成水土流失。

对 3 期土地利用图进行叠加后获取土地利用类型转移矩阵,结果显示研究区 2001—2005 年耕地面积减少 119966.3 hm²,主要转变为建设用地、林地和荒草地,林地面积减少 45352.74 hm²,主要转变为耕地、荒草地和建设用地。说明随着城市化进程的加快,出现大量建设占用、乱采乱挖等现象,同时也存在生态退耕、毁林开发和耕地撂荒并存的不合理土地利用模式。这些土地利用方式致使人为水土流失日趋严重。据统计,研究区水土流失面积占区域总面积的 18.8%,其中进贤县、新建县和安义县水土流失较严重。城市的水土流失也不容忽视,这直接导致了 2001—2005 年植被覆盖的严重退化。研究区 2005—2010 年耕地减少 63866.38 hm²,主要转变为林地、建设用地和荒草地,林地减少 30451.38 hm²,主要转变为耕地和建设用地。说明城市扩张占用耕地和林地现象依然存在,生态退耕、毁林开发和耕地撂荒并存的矛盾仍然突出,这也是 2005—2010 年间植被覆盖持续退化的原因。随着第二轮土地规划工作的开展与实施,建设环境友好型的土地利用模式成为工作的重中之重。研究区加大了生态退耕力度,通过土地整治增加耕地面积 56557.61 hm²,林地面积增加 39181.43 hm²。这些举措都有利于植被覆盖度的增加和植被质量的提高,在一定程度上减缓了植被覆盖的退化。另一方面针对人为水土流失情况,2005 年以来南昌市加大了对水土流失的治理,以青山湖为试点进行了城市水土流失治理。安义县被列为长江流域生态修复工程试点县,经过十年的治理生态修复区内森林覆盖率均增加了 5%,水土流失治理程度达到 90%以上^[29],因此青山湖区、安义县和主城区植被覆盖均有明显提高。

4 结论

本文采用 TAVI 像元二分模型对南昌市植被覆盖度进行了动态监测。2001—2010 年近 10 年南昌市植被覆盖度总体呈持续下降的趋势,表现为从高度覆盖向中低度覆盖、低度覆盖转化的特征,植被覆盖以高度覆盖为主,且表现出明显的地形梯度规律。研究结果表明抗地形调节植被指数具有较好的抗地形效果,消除了地形对植被光谱信息的影响,提高了植被覆盖度估算的精度。像元二分模型可准确模拟植被覆盖度的变化趋势。短期内植被覆盖度的变化反应了人类活动的作用,表现为土地利用行为对植被覆盖的影响。量化植被覆盖度对土地利用方式转变的响应,丰富了植被覆盖度变化的驱动研究。退耕还林、土地开发复垦和围湖造田等土地利用行为对植被覆盖增加有较大贡献,而毁林开荒、建设占用和撂荒等土地利用行为对植被覆盖退化贡献较大。因此在平原丘陵区应制定合理的土地利用模式以保障城镇建设与生态环境的协调发展。

由于本文未采用长时间序列的遥感数据,故未分析气候因素对植被覆盖度的影响。今后可考虑采用短周期的长时间序列遥感数据,结合气候因素进行更深入的研究。另可进一步探讨如何构建友好型的土地利用模式,以提高植被质量和减缓植被的退化,为区域的生态环境建设及城市可持续发展提供科学依据。

参考文献(References):

- [1] 张宝庆,吴普特,赵西宁.近 30a 黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析.农业工程学报,2011,27(4):287-293.
- [2] 史冲.植被指数在植被覆盖度测算中的应用.北京测绘,2014,(2):94-97.

- [3] Cuo L , Lettenmaier D P , Mattheussen B V , Storck P. Hydrologic prediction for urban watersheds with the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model. *Hydrological Process* , 2008 , 22(21) : 4205-4213.
- [4] Van de Voorde T , Vlaemincx J , Canters F. Comparing different approaches for mapping urban vegetation cover from Landsat ETM+ data: A case study on Brussels. *Sensors* , 2008 , 8(6) : 3880-3902.
- [5] Boyd D S , Foody G M , Ripple W J. Evaluation of approaches for forest cover estimation in the Pacific Northwest , USA , using remote sensing. *Applied Geography* , 2002 , 22(4) : 375-392.
- [6] 陈晓光, 李剑萍, 韩颖娟, 李志军, 陈葆德. 宁夏近 20 年来植被覆盖度及其与气温降水的关系. *生态学杂志* , 2007 , 26(9) : 1375-1383.
- [7] North P R J. Estimation of f_{APAR} , LAI , and vegetation fractional cover from ATSR-2 imagery. *Remote Sensing of Environment* , 2002 , 80(1) : 114-121.
- [8] 罗亚, 徐建华, 岳文泽. 基于遥感影像的植被指数研究方法述评. *生态科学* , 2005 , 24(1) : 75-79.
- [9] Jiménez-Muñoz J C , Sobrino J A , Plaza A , Guanter L , Moreno J , Martínez P. Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area. *Sensors* , 2009 , 9(2) : 768-793.
- [10] Johnson B , Tateishi R , Kobayashi T. Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sensing* , 2012 , 4(9) : 2619-2634.
- [11] 刘琳, 姚波. 基于 NDVI 象元二分法的植被覆盖变化监测. *农业工程学报* , 2010 , 26(S1) : 230-234.
- [12] 王朗, 傅伯杰, 吕一河, 曾源. 生态恢复背景下陕北地区植被覆盖的时空变化. *应用生态学报* , 2010 , 21(8) : 2109-2116.
- [13] 张号, 屈建军, 张克存. 绿洲植被覆盖度遥感信息提取——以敦煌绿洲为例. *中国沙漠* , 2015 , 35(2) : 493-498.
- [14] 李恒凯, 刘小生, 李博, 李发帅. 红壤区植被覆盖变化及与地貌因子关系——以赣南地区为例. *地理科学* , 2014 , 34(1) : 103-109.
- [15] 齐清, 王天明, 寇晓军, 葛剑平. 泾河流域植被覆盖时空演变及其与降水的关系. *植物生态学报* , 2009 , 33(2) : 246-253.
- [16] 李旭谱, 张福平, 胡猛, 魏永芬. 基于 SPOT NDVI 的植被覆盖时空演变规律分析——以西北五省为例. *干旱地区农业研究* , 2012 , 30(5) : 180-184 , 199-199.
- [17] 廖清飞, 张鑫, 马全, 姚瑶, 于东平. 青海省东部农业区植被覆盖时空演变遥感监测与分析. *生态学报* , 2014 , 34(20) : 5936-5943.
- [18] 秦超, 李君轶, 陈宏飞, 包珺玮, 宋光飞. 陕西省植被覆盖时空演变特征及其与气候因子的关系. *中国农业气象* , 2015 , 36(1) : 108-114.
- [19] 严恩萍, 林辉, 党永峰, 夏朝宗. 2000-2012 年京津风沙源治理区植被覆盖时空演变特征. *生态学报* , 2014 , 34(17) : 5007-5020.
- [20] 白建军, 白江涛, 王磊. 2000-2010 年陕北地区植被 NDVI 时空变化及其与区域气候的关系. *地理科学* , 2014 , 34(7) : 882-888.
- [21] 刘艳丽, 李成亮, 高明秀, 张民, 赵庚星. 不同土地利用方式对黄河三角洲土壤物理特性的影响. *生态学报* , 2015 , 35(15) : 5183-5190.
- [22] 李鉴霖, 江长胜, 郝庆菊. 缙云山不同土地利用方式土壤有机碳组分特征. *生态学报* , 2015 , 35(11) : 3733-3742.
- [23] 刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 秦建新. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析——以湖南省为例. *地理研究* , 2015 , 34(4) : 691-700.
- [24] 江洪, 汪小钦, 吴波, 陈芸芝. 地形调节植被指数构建及在植被覆盖度遥感监测中的应用. *福州大学学报: 自然科学版* , 2010 , 38(4) : 527-532.
- [25] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 周为峰. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算. *资源科学* , 2004 , 26(4) : 153-159.
- [26] 陈晋, 陈云浩, 何春阳, 史培军. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用. *遥感学报* , 2001 , 5(6) : 416-422.
- [27] 江洪, 毛政元, 汪小钦. 地形调节植被指数及其在森林动态监测中的应用. *北京林业大学学报* , 2011 , 33(5) : 8-12.
- [28] 刘亚迪, 汪小钦, 江洪. 基于地形调节植被指数估算长汀县植被覆盖度. *国土资源遥感* , 2015 , 27(1) : 164-171.
- [29] 徐宇, 彭云辉. 南昌市水土保持工作现状与建议. *江西水利科技* , 2008 , 34(3) : 224-226.