

DOI: 10.5846/stxb201710171869

周婷,张勇,严力蛟.生态公益林补偿政策对植被覆盖时空格局的影响——以杭州市临安区为例.生态学报,2018,38(13): - .

Zhou T, Zhang Y, Yan L J. Effects of forest compensation policy for public welfare on the spatiotemporal patterns and dynamics of vegetation cover: a case study at Lin'an, Hangzhou City. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(13): - .

生态公益林补偿政策对植被覆盖时空格局的影响 ——以杭州市临安区为例

周 婷¹, 张 勇², 严力蛟^{1,*}

¹ 浙江大学生命科学学院生态规划与景观设计研究所, 杭州 310058

² 浙江省林业生态工程管理中心, 杭州 310020

摘要:生态补偿政策绩效评价对完善政策调控和促进植被恢复具有重要意义。分析了临安 2001—2015 年植被覆盖的时空格局和变化,建立了植被退化地区土地利用变化矩阵。同时,在 ArcGIS 软件中建立了临安地区归一化植被指数(NDVI)、国家级和省级公益林覆盖边界(重点生态公益林补偿边界)、道路、海拔、中心城镇用地边界、重点森林保护区、河流边界和地形湿度指数的多要素地理空间数据集。最后,采用多元回归模型量化了重点生态公益林补偿政策、自然因素、城市化和其他人类活动对植被覆盖变化的影响。结果表明,2001—2015 年间,临安大约有 97% 的林地呈现出不同程度的退化,其中中等退化程度的林地所占比例最高。多元线性回归模型的结果表明重点生态公益林补偿政策、海拔、河流距离、重点森林保护区距离和中心城镇距离对植被退化有抑制作用,道路和地形湿度指数对植被退化有促进作用。海拔在所有的的外部影响因素中对植被退化的影响最大。政策覆盖地区的植被退化面积在每一个退化等级上都小于无政策覆盖地区。生态公益林补偿政策的实施对加强植被的保护,限制不合理的林地利用和改善区域环境质量具有十分重要的积极作用。

关键词:生态补偿;政策绩效评价;重点生态公益林;归一化植被指数(NDVI);多元线性回归分析;植被覆盖变化

Effects of forest compensation policy for public welfare on the spatiotemporal patterns and dynamics of vegetation cover: a case study at Lin'an, Hangzhou City

ZHOU Ting¹, ZHANG Yong², YAN Lijiao^{1,*}

¹ Institute of Ecological Planning and Landscape Design, College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

² Zhejiang Forestry Ecological Engineering Management Center, Hangzhou 310020, China

Abstract: Evaluation of the effect of ecological compensation policies is important for improving policy regulations and vegetation recovery. We analyzed the spatiotemporal pattern of vegetation cover from 2001 to 2015 at Lin'an City. We established the land-use change matrix in vegetation degraded area. We created a geodatabase in ArcGIS, including the Normalized Differential Vegetation Index (NDVI), national and provincial boundary of forest compensation policy for public welfare, built-up area, road, elevation, key forest reserves, rivers, and topographic wetness index. Finally, we used the multiple linear regression analysis to estimate the effects of national and provincial forest compensation policy for public welfare, biophysical factors, urbanization, and other human activities on vegetation cover change. Our results show that, during the 2001 to 2015, approximately 97% of the vegetated areas have suffered different levels of decline or degradation, with the moderate level of degradation constituting the largest proportion. The results of multiple linear regressions suggest

基金项目:国家重点研发计划课题资助项目(2016YFC0502704);国家科技支撑计划课题资助项目(2014BAL07B02)

收稿日期:2017-10-17; **网络出版日期:**2018-10-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yanlj@zju.edu.cn

that policy, elevation, distance to river, distance to key forest reserves, and distance to the center of the town have a significantly negative correlation with vegetation degradation, whereas distance to road and topographic wetness index have a positive correlation with vegetation degradation. Elevation has the greatest effect among the external factors analyzed. Moreover, in each degradation level, the areas where the compensation policy was implemented suffered a lower degradation than the other areas did. Our findings suggest that the implementation of ecological compensation policy plays a positive role in protecting vegetation cover, restricting inappropriate utilization, and improving regional environment quality.

Key Words: ecological compensation; key forest compensation policy for public welfare; Normalized Differential Vegetation Index (NDVI); multiple regression analysis; vegetation cover change

城市化的迅速扩张以及城市发展过程中强烈的人类活动对天然林地和其他生态系统造成了严重破坏,与此同时也促进了一系列生态补偿政策的施行^[1-5]。在最近的几十年内,全球相关政府部门都积极开展保护环境以及生态系统服务的补偿政策,这些政策通过直接或间接的经济补偿或输送社会福利,激励个体、组织减少对自然资源的过度开发和利用^[6-7]。全球著名的生态补偿政策如哥斯达黎加的环境服务补偿计划,该计划对天然林保护和森林管理进行生态补偿,对当地的森林恢复起到了很大的作用^[8-9]。由于一系列政策、自然以及社会经济因素的驱动,拉丁美洲、欧洲和亚洲的一些发展中国家的植被覆盖在过去 30 年间呈现出一个逐渐上升的趋势^[7,10-12]。

中国从改革开放至今约 40 年时间内实现了经济的飞速发展,成为了世界第二大经济体。但是我国经济的增长建立在过度消耗自然资源的基础上,并且导致了地区环境的退化,1998 年在长江三角洲地区由于大面积砍伐森林而引起的特大洪涝灾害使得数以百计的公民失去了生命,造成了 2394 亿美元的经济损失^[3,5,7]。我国从 1998 年开始相继推出了一系列生态补偿措施,主要有 1998 年天然林资源保护工程、1999 年退耕还林(草)工程以及 2001 年森林生态效益补偿等^[5]。这些森林保护政策的主要目的是为了保护和重建生态敏感和脆弱地区的森林^[7]。国家林业局 2016 年的政府报告称截止到 2015 年底,林业重点生态工程共完成造林面积 284.05 万 hm^2 ,占全部造林面积的 36.98%,其中天然林资源保护工程、退耕还林工程分别占全部造林面积的 8.39% 和 8.28%^[14]。2001 年启动的森林生态效益补偿政策对国家重点生态公益林,即生态区位极为重要或生态状况极为脆弱,对国土生态安全、生物多样性保护和经济社会可持续发展具有重要作用,以发挥森林生态和社会服务功能为主要经营目的的重点防护林和特种用途林进行经济补偿^[15-16]。截止 2015 年底,国家共完成林业建设投资 320.26 亿元^[14]。

浙江省森林生态效益补偿政策的实施与全国同步,于 2000 年编制了《浙江省生态公益林体系建设总体规划》和《浙江省生态公益林建设纲要》^[17-18]。2001 年全面展开了重点生态公益林区划界定工作,重点公益林的区划包括国家级公益林和省级公益林,于 2004 年底完成全省重点生态公益林的区位界定,全省共区划界定公益林面积 307.27 万 hm^2 ,占林业用地总面积 46.9%,2005 年开始对拥有生态公益林的个体或集体发放生态补偿金^[17]。在公益林划定过程中,不同划定等级面向对象不一致,国家级和省级公益林为重点公益林,重点生态公益林为生态位极为重要或生态状况极为脆弱的地区,区位划定遵循国家级公益林优于省级公益林优于市县级公益林的原则^[16-18]。

临安地处山区,耕地面积较小以及国家对耕地的严格控制使得近几年城市发展对林地的占用加剧,林地保护压力加大^[19-20]。作为第一批全国重点森林生态补偿政策实施的试点城市,临安境内有多个国家级自然保护区和国家级森林公园,该地区生态补偿政策的实施效果对于评估政策在全国生态位敏感地区植被保护的作用具有示范意义。从 2001 年开始进行重点公益林的区划布局,到 2004 年底临安共有 30 万亩林地划入重点生态公益林保护区^[18]。本研究通过 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 植被指数计算 2001—2015 年间植被覆盖时空格局的变化,进一步分析了植被退化地区土地利用变化。在 ArcGIS10.2 软件中建立临安地区归一化植被指数 NDVI、多级公益林覆盖边界、中心城镇用地、道路、海拔、重点森林保护区、河

网分布和地形湿度指数的多要素地理空间数据集,用多元统计分析量化国家重点公益林生态补偿政策对临安植被保护的作用,以期生态补偿政策绩效的定量评价和林地保护提供依据。

1 研究区域概况

临安位于长江三角洲南端,浙江省西北部,地理位置为 118°51'E—119°52'E, 29°56'N—30°23'N,全市土地总面积 3119.09 km²。该地区属于亚热带季风气候,温暖湿润,四季分明,全年平均气温 16.4℃,月平均最低温度 4.1℃(1 月),月均最高温度 29.1℃(7 月),全年降雨量为 1629 mm,整个县区以山地为主,海拔高度为 -6 m 至 1758 m。临安是太湖流域和钱塘江支流分水江水系的源头,水系流向复杂。其野生植物资源丰富,全市林地总面积占国土总面积的 83.58%,森林覆盖率达到 78.01%,是首批全国生态建设示范市(图 1)。

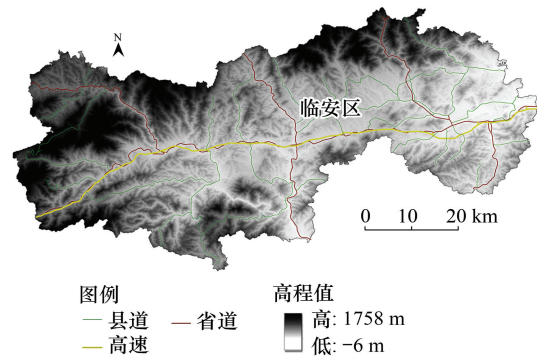


图 1 研究区地理位置及高程图

Fig.1 Geographical location and elevation of the study area

2 研究方法

2.1 临安植被覆盖变化趋势分析

本研究采用 16d 一期 250 m 精度的 MODIS3Q 合成的归一化植被指数 NDVI 数据,数据来源于美国航空航天局。为了与国家级公益林实施的时间保持一致,研究时间定为 2001—2015 年,下载每一年 16d 一期的 NDVI 影像数据。采用目前国际上通过的最大值合成法(Maximum Value Composites, MVC),对每年的 NDVI 数据分别进行最大化处理^[21]。采用普通最小二乘法(Ordinary Least Squares)建立一元线性回归模型,模拟 15 年间 NDVI 数据在每个栅格上的变化趋势,对每个栅格的斜率进行 T 检验,取 $P < 0.05$ 的栅格作为植被覆盖变化研究对象。MODIS3Q 影像的处理过程在 ENVI 5.1 软件中进行。将最终得到的植被覆盖变化值在 ArcGIS 10.2 软件中绘制植被覆盖时空格局的变化图(图 2)。

2.2 植被退化区域的土地利用变化分析

根据临安 2001—2015 年植被覆盖时空格局变化图,我们发现植被退化的区域占到了临安林地总覆盖面积的 97%,而植被覆盖增加的区域只占林地总面积的 3%,临安整个地区的植被覆盖呈下降趋势,所以本研究在植被退化区域展开对土地利用变化的分析,下面的相关研究也在临安植被退化区域开展。在 ArcGIS 10.2 软件中用空间叠加分析将植被退化地区的栅格分别和 2001 年、2015 年一级分类土地利用图进行空间叠加(临安 1:10 万土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心)。计算 2001 年到 2015 年植被退化区域的土地利用变化,制作土地利用变化矩阵表(表 1),行名为 2015 年土地利用类型,列名为 2001 年土地利用变化类型。

表 1 临安 2001—2015 年植被退化区域土地利用变化矩阵

Table 1 Land use change matrix in vegetation degraded area at Lin'an in 2001—2015

土地利用类型 Land-use type	建成区 Built-up land	耕地 Cropland	草地 Grassland	未利用土地 Unused land	水体 Waterbody	林地 Woodland	合计/% Total change rate
建成区 Build-up area	5.600	7.594	0.062	0.000	0.105	0.538	13.899
耕地 Cropland	0.020	33.132	0.004	0.000	0.055	0.065	33.277
草地 Grassland	0.000	0.016	3.459	0.000	0.000	0.063	3.538
未利用土地 Unused land	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.001	0.023
水体 Waterbody	0.000	0.339	0.000	0.000	10.754	0.017	11.110
林地 Woodland	0.000	0.049	0.022	0.000	0.000	38.081	38.153
合计 Total change rate/%	5.620	41.131	3.548	0.022	10.915	38.765	100.000

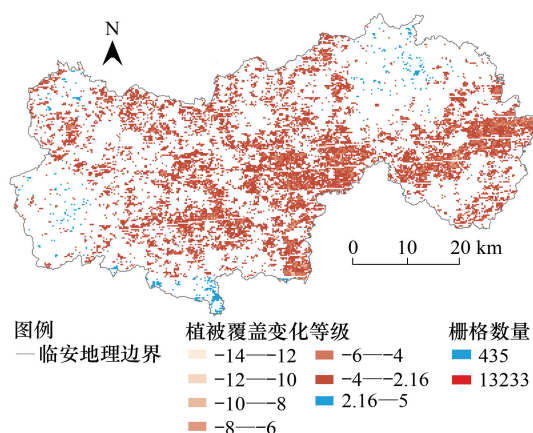


图2 2001—2015 植被覆盖时空格局和变化图

Fig.2 Spatiotemporal patterns and dynamics of vegetation cover between 2001 and 2015

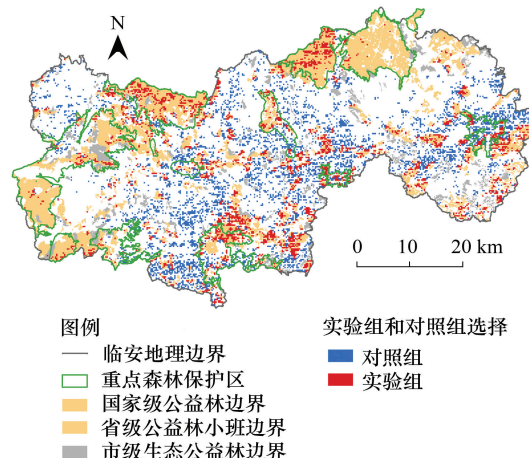


图3 政策覆盖地区和未覆盖地区的样方

Fig.3 Randomly selected samples inside and outside policy implementation areas

2.3 影响植被退化多要素空间数据集

2.3.1 实验组和对照组的选择

根据浙江省林业厅提供的临安国家级公益林、省级公益林以及市县级公益林区划边界图,在 ArcGIS 10.2 软件中制作公益林矢量边界图。根据植被覆盖时空格局图在植被退化地区随机选取落在政策边界内的栅格作为本研究的实验组,政策覆盖边界外的栅格为对照组。在植被退化区域随机分别选取实验组和对照组各 10% 的栅格数量。实验组栅格的选取确保栅格面积的 90% 以上都落在每块完整地公益林林斑内,在政策未覆盖区随机选取相同栅格个数作为政策的对照组 (图 3)。

2.3.2 多要素空间数据集的建立

本研究在 ArcGIS 10.2 软件中根据临安地理矢量边界图制作 250 m 精度的网格矢量图,网格大小与 MODIS3Q 遥感影像栅格大小一致,通过地理配准使网格矢量图与 NDVI 栅格图在空间地理位置上保持一致。根据重点生态公益林实施的时间(本研究以 2005 年为政策实施的起始年份,即公益林区划完成和开始实施经济补偿的起始年份)和 NDVI 数据得到政策覆盖区和未覆盖区 2001—2004 和 2005—2015 年平均 NDVI 的差值。通过美国航空航天局收集临安 30 m 精度的高程数据,根据高程数据计算地形湿度指数 (Topographic Wetness Index) [22]。计算公式如下:

$$W = \ln(\alpha / \tan \beta) \quad (1)$$

式中, W 为地形湿度指数; α 为单元栅格的汇流面积 (m^2/m); β 为局部坡度,在计算式坡度值转化为弧度值。将公益林保护政策边界图,地形湿度指数,每个栅格 NDVI 初始值和政策实施前后的 NDVI 差值,通过 ArcGIS 10.2 空间连接工具和 250 m 精度的网格矢量图进行空间连接和赋值。根据临安 2015 年 1:10 万土地利用地形图提取每个乡镇中心城镇用地面积。计算中心城镇用地、道路、主要水系及临安重点森林保护区距离实验组和对照组栅格的直线距离。

2.4 植被变化和相关影响因素的多元回归分析

通过 ArcGIS 10.2 制作的空间数据库,提取 2001—2004 年植被 NDVI 均值作为植被覆盖初始值,政策实施前后的 NDVI 差值作为植被覆盖变化值;实验组和对照组距离重点森林保护区、主要建成区、主要河流水系及道路的距离;实验组和对照组每个栅格的海拔值和地形湿度指数值。其中,公益林政策边界覆盖的栅格记为 1,政策未覆盖地区栅格记为 0。对海拔 (m)、距离道路 (m)、建成区 (m)、水系 (m) 和重点森林保护区的距离 (m) 作对数处理。本研究的因变量为政策实施后 11 年平均值与政策实施前 4 年的平均值之差,自变量为植被覆盖初始 NDVI,国家级公益林补偿政策,海拔 (m)、道路和中心城区距离 (m)、重点森林保护区的距离

(m),地形湿度指数。在本研究中我们用多元回归模型评估政策的实施、自然地理因素、城市化和人类活动因素对临安植被退化的影响,用线性回归方法对植被退化的影响因素进行分析,多元线性回归分析的过程在 Stata 14 软件中进行。

3 结果

3.1 植被覆盖时空格局和变化

植被覆盖时空格局和变化图(图 2)揭示了临安 2001—2015 年植被覆盖随时间的变化,植被覆盖变化等级数值为负数意味着植被覆盖在 15 年间呈退化趋势,数值大小代表植被退化程度的高低;正值代表植被在 15 年间是增长趋势。临安 15 年间栅格斜率为负值的个数为 13233 个,栅格斜率为正值的个数为 435 个,植被退化的面积约占临安林地总面积的 97%。通过植被变化空间图和杭徽高速的空间叠加我们可以清楚地发现高速公路周边地区的植被退化等级和退化密度远高于其他临安其他地区。临安东南地区的植被退化程度高于西北地区。

3.2 植被退化地区土地利用变化

2001—2015 年,临安植被退化地区土地利用变化最强烈的表现为耕地和建成区之间的转化。共有 7.594%的耕地在 15 年内陆续转化为建成区。林地和建成区面积之间的转化率位于第二,共有 0.538%的林地面积转化为建成区面积。根据土地利用变化的结果,在一定程度上我们可以推断临安植被退化的重要原因之一可能在于城市化背景下,城市扩张的加剧导致了近郊或远郊地区耕地和农田的占用。

3.3 影响植被退化的多元回归分析

植被退化影响因素多元回归分析的结果表明(表 2)海拔($P < 0.001$)、距离河流距离($P < 0.01$)、中心城镇用地($P < 0.001$)、重点森林保护区的距离($P < 0.001$)和重点公益林保护政策($P < 0.001$)对植被退化呈显著负相关,这说明这些影响因素对植被覆盖上升具有积极影响。地形湿度指数和道路的距离($P < 0.001$)与植被退化呈显著正相关,修建道路会引起植被的退化。根据距离道路和中心城镇的距离所反映出对植被退化的不同影响,我们发现人类活动对植被的影响是双向性的,中心城区的人类活动会对植被起到一定的修复作用。标准化系数的值表示每个自变量对因变量的影响程度的高低,海拔、距离森林重点保护区和中心城镇的距离对植被的变化具有显著影响,道路、生态补偿政策和河流对植被覆盖的影响位居其后。模型的拟合度 R^2 为 0.342。

表 2 植被退化影响因素多元回归分析

Table 2 Coefficients of factors associated with vegetation cover loss			
变量 Variables	回归系数 Coefficients	标准化系数 Standardized coefficients	稳健标准差 Robust standard errors
海拔 m Elevation	-0.040***	-0.513	-0.037
地形湿度指数 Topographic Wetness Index	0.390***	0.001	0.002
距离重点森林保护区的距离 m Distance to key forest reserves	-0.006***	-0.262	-0.005
距离中心城镇用地距离 m Distance to the center of the town	-0.006***	-0.202	-0.005
道路距离 m Distance to road	0.003***	0.079	0.004
重点生态公益林补偿政策 Key forest compensation policy for public welfare	-0.004***	-0.059	-0.005
距离河流的距离 m Distance to river	-0.000**	-0.028	-0.000
植被覆盖初始值 Initial NDVI	0.010*	0.026	0.027

该多元回归模型的因变量为政策实施前后植被覆盖 NDVI 的差值,自变量为海拔、距离重点森林保护区的距离、距离中心城镇用地距离、道路距离、重点生态公益林补偿政策、距离河流的距离和植被覆盖初始值。其中海拔、距离重点森林保护区的距离、距离中心城镇用地距离、重点生态公益林补偿政策、距离河流的距离和植被退化呈显著负相关。地形湿度指数、道路距离对植被退化具有显著的正效应。该模型的拟合度 R^2 为 0.342。*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ 。

4 讨论

4.1 经济发展与林地保护的权衡

在改革开放至今的近 40 年内,中国经历了一场史无前例的人口迁移运动,中国的城市人口比例从 1978 年的 18% 上升到 2016 年的 56%,快速城市化的过程中所产生的一些环境问题至今仍未解决^[2-3,23-24]。植被作为城市生态系统内众多组成要素之一,影响着城市的可持续发展以及城市中生活的每一位人的生活质量。在最近的几十年间,越来越多的国家和政府逐渐意识到植被保护对地区发展的重要性,各国政府逐渐实施一系列森林保护政策,欧洲、拉丁美洲的部分发达国家以及包括中国在内的亚洲主要的发展中国家都相继推出了各自的植被保护政策,加入了植被恢复的队伍^[7,11,25-27]。长三角城市群作为中国城市化发展最为快速的地区,其在快速城市化进程中土地利用的变化十分剧烈,其中大量耕地和林地转化为城市建设用地^[27-31]。

临安区位于浙江省浙西北山地水源涵养林保护区,境内有天目山和清凉峰两处国家级自然保护区,还有青山湖国家级森林公园,大明山省级风景名胜区等,生态位十分敏感^[20]。近年来,通过珍稀濒危动植物资源,湿地资源清查、建设古树名木拯救保护与发展项目等,临安区的森林、湿地得到一定的恢复和发展。在这样一个背景下,临安 2001—2015 年植被覆盖变化的定量分析的结果仍然显示临安植被退化地区的面积约占林地总面积的 97% (图 4),虽然从植被覆盖变化等级区间中我们可以看出大部分的栅格退化程度都一般,退化程度十分严重的栅格占比不高,但是总的退化趋势仍然不容乐观。通过临安土地利用变化矩阵我们也发现了在过去 15 年内城市发展对耕地和林地资源的占用确实是城市扩张过程中存在的问题(表 1)。

在查阅了相关研究论文及政府文件后我们发现临安植被在 15 年间呈现出退化趋势可能有以下几点原因:

第一,城市发展对生态资源的需求越来越大。近十年间临安区的林地保护在一系列政策的驱动下取得了一定的成效,但是城市化的快速扩张使得人们对林地资源的需求大于供给,国家近些年加大了对耕地的政策保护,林地在一定程度上成为了耕地开发的替代品。近几年来无论是城市扩展,工业发展还是交通建设,对林地的占用量越来越大,林地保护压力大。

第二,临安林地结构不尽合理。主要表现为:林种结构中用材林比例偏多,经济林比例偏少;林龄结构上幼龄林占绝对优势,成熟林、过熟林面积和蓄积明显偏少,由于竹林面积大,可供采伐利用的成熟林、过熟林资源偏少。

第三,林地保护利用管理有待进一步规范。虽然临安在 2007 年就编制了《临安市林地保护利用规划》,但长期以来,由于人们对林地保护利用认识上存在差距,在一定程度上影响了林地的保护和管理,节约用地、集约用地的理念还有待深化。

经济发展与环境保护的权衡是一个重要而困难的问题,我国正处于一个快速城市化阶段,将经济发展置于优先地位的同时也要正确看待经济发展带来的环境问题。林地作为林业发展重要的物质基础,也是有效控制森林资源消耗、促进其生态防护效益,实现国民经济健康可持续发展的重要保障。所以,制定有效的林地保护政策是生态林业建设的基础,也是林业经济可持续发展的基础。

4.2 环境因子对植被变化的影响

山区物种丰富,生态系统类型多样,海拔梯度由于包含了温度、湿度、光照等诸多环境因子的剧烈变化而成为研究植物对气候变化响应的重要因素。在植被覆盖变化影响因素的多元回归分析中,海拔对临安的植被生长具有正效应。海拔是一个重要的地形因子,温度受海拔的影响最大,一般温度会随着海拔升高而降低,从而对植物生长产生影响^[30,32]。由于气温和土壤相关性极为显著,因此土壤温度随着海拔升高也逐渐降低。土壤温度影响土壤化学过程的速度,也影响到凋落物的分解速率,因此影响到可提供给植物的有效营养元素的供给^[33]。所以,高海拔过低的土壤温度不利于土壤有机质的转化,这也是高海拔植物生长受限的一个重要原因^[34]。

通过临安整个地区的高程数据(图1)和临安植被覆盖变化时空格局图(图2)我们发现临安植被退化区域集中在海拔较低的区域,虽然海拔是限制植物生长的一个重要地形因子,但是临安高海拔地区的植被大部分都被列入了国家重点生态公益林保护区,人类活动对这些区域的影响非常小,植被退化最严重地区的海拔高度小于500 m,这些地区植被生长的自然环境优于高海拔地区,但是植被会频繁受到人类活动的影响,因此对于临安而言,高海拔意味着低影响和政策保护,所以海拔在临安地区的植被覆盖增加是有积极作用的。水分是影响植物物候期生长最主要的自然因子之一^[33]。作物生长发育受水分强烈影响,充足的水分条件可以促进植被的生长^[34]。水分也会影响土壤湿度,土壤的湿度影响到凋落物的分解速率,这也解释了为何距离河流越近的地区的植被退化程度低。地形湿度指数是对研究地区各点潜在土壤水分含量和径流产生潜在能力的量化,地形湿度指数越大,土壤越容易达到饱和而产流,径流对冲刷掉土壤内含有的养分和有机质,从而影响植被的生长状况^[22,35]。

4.3 城市化及人类活动对植被变化的影响

道路和中心城区的面积作为人类活动高度相关的一个重要因素对植被的生长具有重要的影响^[7,36]。道路影响其周围的物理化学环境,物理化学环境的改变会造成道路周边小气候和小环境的改变。周边的化学环境由于道路释放的化学物质而改变,如重金属、臭氧和营养物,以致植物受到胁迫,这些理化因子的分布规律和分布距离会影响植物受到胁迫的程度^[37]。本研究结果显示距离道路的距离越近植被退化越严重,该结果和上述研究结果一致。中心城镇用地面积的扩张也是和人类活动密切相关的一个城市化指标,本研究结果显示距离城市中心区越近,植被退化越低。相关研究发现,植被退化的趋势总体上是沿着农村到城市的梯度逐渐增加,但是越往城市中心区,植被的退化程度会下降,城市中心区由于文化、经济和其他社会要素的作用往往具有较高的植被覆盖^[38-39]。通过临安中心城镇植被覆盖变化(图4)我们发现临安中心城镇所在区域的植被覆盖状况良好,植被覆盖退化的栅格数量很少,即使是临安区中心锦城街道周边的植被退化也不明显。

4.4 重点生态公益林补偿政策的效应

植被的生长状况受到人类活动、自然、社会因素等的影响^[7]。政策作为间接驱动因子影响着植被覆盖变化,政策可以影响人类活动和管理措施,通常可以扭转生态系统的退化趋势^[40-41]。在植被退化影响因素的多元回归分析中我们发现政策确实促进了临安地区植被的恢复。除了重点生态公益林外,临安重点森林保护区的植被也得到了恢复。为了进一步探究政策在植被变化空间格局上产生的影响,我们分析了政策覆盖和未覆盖地区植被覆盖的空间格局(图5),通过该空间分析我们发现公益林覆盖区的植被退化栅格数量远远小于政策未覆盖地区。虽然临安2001—2015年植被覆盖总体呈现下降趋势,但是公益林补偿政策覆盖地区的植被下降速度和下降面积比例远低于政策未覆盖地区,可见政策补偿对临安植被保护具有重要作用。

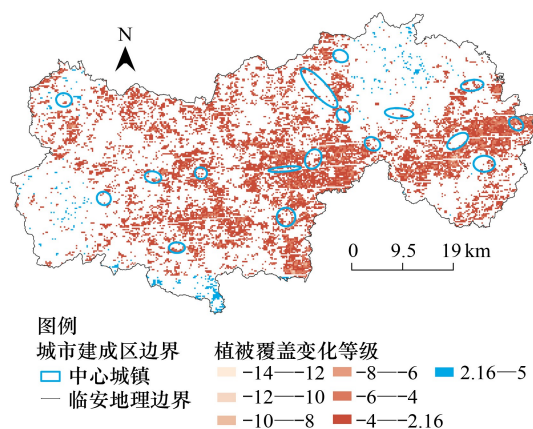


图4 临安中心城镇植被覆盖变化格局图

Fig.4 Patterns of vegetation cover change in urban area at Lin'an

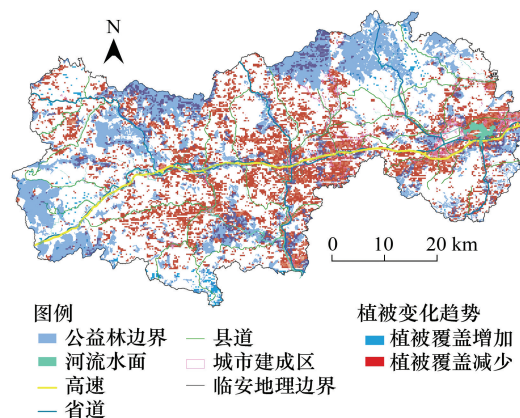


图5 政策覆盖和未覆盖地区植被覆盖变化对比图

Fig.5 The comparison of vegetation cover changes inside and outside policy implementation areas

结合国家林业局《国家级公益林管理办法》政策文件和本文对重点生态公益林的量化结果,针对临安 2001—2015 年植被退化可能存在的原因,本研究针对临安的植被恢复和后续政策的有效实施提出以下两点建议:

第一,重点生态公益林的管理应该根据生态位的敏感程度和生态地位的重要性进行分级保护和管理,在不破坏森林生态系统的前提下,保护植被的过程中也应该提倡合理利用。

第二,严格鉴定和区分部分经济林和用材林。地方各级林业主管部门在公益林区划过程中要严格把关,对于部分经济林和用材林应该提倡科学经营,发展林业经济。尤其是竹林,应该制定择伐和疏伐规则,在保护林业资源的基础上也可以提高当地村民的经济收入,提高村民参与植被保护的积极性。

5 结论

本文通过 NDVI 植被指数量化了临安 2001—2015 年植被变化的趋势,15 年间临安 97% 的林地都遭受到不同程度的退化,植被退化区域土地利用变化转移矩阵揭示了临安最为剧烈的土地利用变化为耕地和林地转化为建成区用地。通过植被在政策实施前后的 NDVI 差值和政策、自然因素和人类活动因子之间建立多元回归模型,本研究发现公益林补偿政策、海拔高度、河流距离、中心城镇距离促进植被生长,道路和地形湿度指数对植被覆盖变化呈现负相关。通过对比政策覆盖与未覆盖地区植被覆盖变化和各自占林地总面积的比例我们发现重点生态公益林覆盖区的植被退化栅格数量远远小于政策未覆盖地区。公益林补偿政策的实施对加强植被的保护,限制不合理的林地利用具有十分重要的积极作用。

参考文献 (References):

- [1] Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [2] Foley J A, DeFries R, Asner G P, Barford C, Bonan G, Carpenter S R, Chapin F S, Coe M T, Daily G C, Gibbs H K, Helkowski J H, Holloway T, Howard E A, Kucharik C J, Monfreda C, Patz J A, Prentice I C, Ramankutty N, Snyder P K. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [3] Song W, Deng X Z. Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China. *Science of the Total Environment*, 2017, 576: 705-719.
- [4] Carr D L. Forest clearing among farm households in the Maya biosphere reserve. *The Professional Geographer*, 2005, 57(2): 157-168.
- [5] 欧阳志云, 郑华, 岳平. 建立我国生态补偿机制的思路与措施. *生态学报*, 2013, 33(3): 686-692.
- [6] Ferraro P J, Kiss A. Direct payments to conserve biodiversity. *Science*, 2002, 298(5599): 1718-1719.
- [7] Li Y, Viña A, Yang W, Chen X D, Zhang J D, Ouyang Z Y, Liang Z, Liu J G. Effects of conservation policies on forest cover change in giant panda habitat regions, China. *Land Use Policy*, 2013, 33: 42-53.
- [8] Pattanayak S K, Wunder S, Ferraro P J. Show me the money: do payments supply environmental services in developing countries? *Review of Environmental Economics and Policy*, 2010, 4(2): 254-274.
- [9] Pagiola S, Arcenas A, Platais G. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. *World Development*, 2005, 33(2): 237-253.
- [10] Baptista S R, Rudel T K. A re-emerging Atlantic forest? Urbanization, industrialization and the forest transition in Santa Catarina, southern Brazil. *Environmental Conservation*, 2006, 33(3): 195-202.
- [11] Mather A S. Recent Asian forest transitions in relation to forest-transition theory. *International Forestry Review*, 2007, 9(1): 491-502.
- [12] Mather A S. The forest transition. *Area*, 1992, 24(4): 367-379.
- [13] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, Lu F, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F, Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [14] 国家林业局. 2013 中国林业发展报告. 北京: 中国林业出版社, 2013.
- [15] 李士生, 陆猷峰, 周子贵. 公益林管理指南. 北京: 中国林业出版社, 2010: 1-86.
- [16] 蒋爱军, 饶日光, 闫宏伟, 柯善新. 国家级公益林管理现状与对策. *林业资源管理*, 2012, (2): 1-4, 17-17.

- [17] 邱瑶德, 李土生, 应宝根. 公益林区划布局. 北京: 中国林业出版社, 2011: 26-29.
- [18] 李土生, 陆献峰, 周子贵. 公益林管理指南. 北京: 中国林业出版社, 2010: 40-46.
- [19] 翟文侠, 黄贤金. 我国耕地保护政策运行效果分析. 中国土地科学, 2003, 17(2): 8-13.
- [20] 方锐根, 邱尧荣. 浙江省临安市林地保护利用规划(2010—2020年). 临安: 浙江省临安市林业局, 2013.
- [21] Planque C, Carrer D, Roujean J L. Analysis of MODIS albedo changes over steady woody covers in France during the period of 2001-2013. Remote Sensing of Environment, 2017, 191: 13-29.
- [22] 张彩霞. 基于 DEM 的地形湿度指数提取与应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006: 75-76.
- [23] Forman R T, Wu J G. Where to put the next billion people. Nature, 2016, 537(7622): 608-611.
- [24] Wu J G. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. Landscape Ecology, 2013, 28(6): 999-1023.
- [25] Brandt J S, Butsic V, Schwab B, Kuemmerle T, Radeloff V C. The relative effectiveness of protected areas, a logging ban, and sacred areas for old-growth forest protection in southwest China. Biological Conservation, 2015, 181: 1-8.
- [26] Rudel T K, Coomes O T, Moran E, Achard F, Angelsen A, Xu J C, Lambin E. Forest transitions: towards a global understanding of land use change. Global Environmental Change, 2005, 15(1): 23-31.
- [27] Sudha P, Ravindranath N H. A study of Bangalore urban forest. Landscape and Urban Planning, 2000, 47(1/2): 47-63.
- [28] 国务院. 国务院关于长江三角洲城市群发展规划的批复. 财会学习, 2016, (11): 4-4.
- [29] 刘士林, 刘新静. 中国城市群发展报告 2016. 上海: 东方出版中心, 2016: 11-36.
- [30] Yang X J. China's rapid urbanization. Science, 2013, 342(6156): 310-310.
- [31] Liu J Y, Xu X L, Zhuang D F, Gao Z Q. Impacts of LUCC processes on potential land productivity in China in the 1990s. Science in China Series D: Earth Sciences, 2005, 48(8): 1259-1269.
- [32] 徐雨晴, 陆佩玲, 于强. 气候变化对植物物候影响的研究进展. 资源科学, 2004, 26(1): 129-136.
- [33] Körner C. Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. 2nd ed. New York: Springer, 2003.
- [34] Criddle R S, Hopkin M S, McArthur E D, Hansen L D. Plant distribution and the temperature coefficient of metabolism. Plant, Cell & Environment, 1994, 17(3): 233-243.
- [35] Oomes M J M, Olff H, Altena H J. Effects of vegetation management and raising the water table on nutrient dynamics and vegetation change in a wet grassland. Journal of Applied Ecology, 1996, 33(3): 576-588.
- [36] Deljouei A, Abdi E, Marcantonio M, Majnounian B, Amici V, Sohrabi H. The impact of forest roads on understory plant diversity in temperate hornbeam-beech forests of Northern Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 2017, 189(8): 392.
- [37] 李月辉, 胡远满, 李秀珍, 肖笃宁. 道路生态研究进展. 应用生态学报, 2003, 14(3): 447-452.
- [38] 孟飞, 刘敏, 张心怡. 基于 RS 和 GIS 的上海市植被覆盖变化特征研究. 遥感信息, 2006, (4): 53-56.
- [39] 武佳卫, 徐建华, 谈文琦. 上海城市热岛与植被覆盖的关系研究. 遥感技术与应用, 2007, 22(1): 26-30.
- [40] 赵士洞, 张永民. 生态系统与人类福祉——千年生态系统评估的成就、贡献和展望. 地球科学进展, 2006, 21(9): 895-902.
- [41] Yang W, Liu W, Vi ña A, Tuanmu M N, He G M, Dietz T, Liu J G. Nonlinear effects of group size on collective action and resource outcomes. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(27): 10916-10921.