



北京市植被覆盖对地形和土地利用的响应

夏天 蓝海浪 刘秀丽

The response of vegetation cover to topography and land use in Beijing

XIA Tian, LAN Hailang, LIU Xiuli

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0396>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

张家口市土地利用和土壤保持功能的变化特征

Changes in land use and soil retention functions in Zhangjiakou City

草业科学. 2020, 37(7): 1281 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0181>

基于像元二分模型的艾比湖湿地NDVI指数对微气候的响应

Ebinur Lake Wetland vegetation coverage in response to a micro-climate change

草业科学. 2017, 11(6): 1168 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0367>

基于灵活的时空融合模型的植被覆盖度与植被指数关系

Research on relationship between vegetation cover fraction and vegetation index based on flexible spatiotemporal data fusion model

草业科学. 2017, 11(2): 264 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0256>

20012016年祁连山地区植被覆盖度对干旱的响应

Response of vegetation cover to drought in the Qilian Mountains Region from 2001 to 2016

草业科学. 2021, 38(3): 419 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0318>

元上都遗址土地利用及景观格局变化

Changes in land use and landscape patterns in Xanadu site

草业科学. 2019, 36(3): 906 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0346>

河西干旱区植被覆盖度时空格局分析

Analysis of the spatio-temporal patterns of vegetation fractional coverage in the Hexi arid area

草业科学. 2019, 36(3): 623 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0236>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0396

夏天, 蓝海浪, 刘秀丽. 北京市植被覆盖对地形和土地利用的响应. 草业科学, 2023, 40(7): 1742-1753.

XIA T, LAN H L, LIU X L. The response of vegetation cover to topography and land use in Beijing. Pratacultural Science, 2023, 40(7): 1742-1753.

北京市植被覆盖对地形和土地利用的响应

夏 天¹, 蓝海浪², 刘秀丽¹

(1. 北京林业大学园林学院 / 城乡生态环境北京实验室 / 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室 / 国家花卉工程技术研究中心, 北京 100083; 2. 北京市园林古建筑设计研究院有限公司, 北京 100081)

摘要: 植被覆盖与地形、气候等自然因子密切相关, 但短期内则更受人类活动的影响。为分析北京中心城区植被覆盖时空变化及其地形分异规律以及土地利用转变对于植被覆盖度变化的影响, 本研究借助遥感技术, 通过改进后的像元二分模型获取北京市中心城区不同时间段植被覆盖以及通过监督分类获取对应的土地利用类型, 并结合数字高程模型 (DEM) 数据, 通过地理信息系统 (GIS) 对所得数据综合分析。结果表明: 研究区 1992–2020 年植被覆盖度总体上呈现出由早年的退化为主到近些年来的改善为主, 1992–2011 年低植被覆盖度不断增加, 而 2011–2020 年则是高植被覆盖度不断增加; 植被覆盖度受到地形影响显著 ($P < 0.01$)。总体上, 植被覆盖度与海拔和坡度呈正相关关系; 坡向上除平地外, 其余坡向植被覆盖度差距不大, 阴坡较高, 阳坡较低; 研究区城市扩张不断占用林地、草地和耕地, 是植被覆盖退化的主导因素, 而未利用地开发、城市郊野公园建设、退耕还林还草为植被覆盖增加的主导因素。研究可为快速城镇化地区的土地利用与生态环境协调提供有力的科学支撑。

关键词: 北京中心城区; 植被覆盖度; 像元二分模型; 地形分异; 时空演变; 土地利用覆盖; 人类活动

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2023)07-1742-12

The response of vegetation cover to topography and land use in Beijing

XIA Tian¹, LAN Hailang², LIU Xiuli¹

(1. School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University / Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment / Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation & Molecular Breeding / National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing 100083, China;
2. Beijing Institute of Landscape and Traditional and Research Co. Ltd., Beijing 100081, China)

Abstract: Vegetation coverage is closely related to natural factors such as topography and climate, but it is more affected by human factors in the short term. This study aimed to analyze the temporal and spatial variation of vegetation coverage in the central urban area of Beijing and its topographical differentiation, as well as the impact of land use transition on changes in vegetation coverage. We used remote sensing technology to obtain the data of different periods of vegetation coverage in the central urban area of Beijing through the improved pixel dichotomous model and its land-use type supervised classification method. These data, combined with digital earth model data, were comprehensively analyzed by geographic information system. The results showed that, during 1992–2020, the vegetation coverage of the study area generally showed a trend of degradation increase from 1992 to 2011, while the high vegetation coverage increased from 2011 to 2020. Vegetation coverage is significantly affected by topography and is positively correlated with elevation and slope. There is no significant difference in vegetation coverage on the slopes; vegetation coverage is higher on shady slopes and lower on sunny slopes.

收稿日期: 2022-05-10 接受日期: 2022-09-30

基金项目: 北京园林绿化增彩延绿科技创新工程—北京园林植物高效繁殖与栽培养护技术研究 (2019XKJS0324); 北京市共建项目专项 (2019GJ-03)

第一作者: 夏天 (1997-), 男, 浙江杭州人, 在读硕士生, 研究方向为景观生态。E-mail: 619584192@qq.com

通信作者: 刘秀丽 (1971-), 女, 辽宁大连人, 副教授, 博士, 研究方向为园林植物。E-mail: showlyliu@126.com

The urban expansion of the study area continues to occupy forestland, grassland, and cultivated land and is the leading factor of vegetation degradation. However, the development of unused land, urban suburban park construction, and reconversion of farmland to forestland or grassland are the leading factors of the increase in vegetation coverage. This study can provide strong scientific support for the coordination of land use and ecological environment in rapid urbanization areas.

Keywords: the central city of Beijing; vegetation coverage; pixel binary model; topographic differentiation; spatio-temporal evolution; land use cover; human activity

Corresponding author: LIU Xiuli E-mail: showlyliu@126.com

植被是陆地生态系统中不可或缺的一部分,与气候、土壤、地形、水温状况等自然环境要素密切相关^[1-3]。植被覆盖度是指某一地域植物垂直投影面积占该地域面积之比,能有效观测地表植被生长趋势,是区域生态环境监测关键性的指标之一^[4-5]。获取地表植被覆盖度及其变化信息,可以科学分析植被的时空演变规律,探究植被覆盖变化的影响因素,对评价区域生态环境有一定指导意义。

目前,国内外学者监测植被覆盖度的方法大多基于遥感技术,主要有植被指数法^[6]、人工神经网络法^[7]、混合像元分解法^[8-9]。植被覆盖与地形、气候等自然因子密切相关,但短期内则更受人为因子的影响^[10-12]。有研究发现玛纳斯河流域植被覆盖状况与高程和坡度有关^[13];内蒙古地区植被对热量变化的响应较为敏感^[14];非洲萨赫勒地区植被覆盖与降水和当地人类活动密切相关^[15]。纵观国内对植被覆盖度的研究,多是以丘陵山地或者生态环境脆弱的区域为主,而选择平原地区以及生态环境较好的城市建成区的案例较少^[16]。基于此,以城市平原低山区为研究对象,并量化土地利用行为对植被覆盖度的影响值得进一步探究。

北京作为中国快速城镇化最为典型的地区之一,人地矛盾严重影响到了区域生态的稳定性^[17],这使模拟评估生态要素及其相互之间关系已经成为研究区域生态稳定性的热点^[18]。基于此,本文借助 GIS (geographic information system, GIS) 和 RS (remote sensing, RS),分析了北京市在快速城镇化下植被覆盖时空变化特征以及植被覆盖度变化受土地利用变化的驱动,为今后协调生态环境和土地利用之间的矛盾提供有力的科学依据和理论支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京是中华人民共和国的首都,地势西北高、

东南低,具有典型的温带大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥。过去 30 年,随着北京经济社会发展,全市人口规模发生积极变化。尤其以 2000—2011 年,常住人口快速增长。常住人口从 2000 年的 1 363.6 万人增加到 2011 年的 2 018.6 万人,年均增加 59.5 万人,年均增长 3.6%。截至 2020 年全市常住人口为 2 189 万人,城镇化率为 87.5%^[19]。城市的扩张同时也影响着北京的城市生态环境,为此 2012 年北京市启动了首次百万亩平原造林工程。到 2017 年底,完成造林 117 万亩 (7.8 万 hm^2),平原森林覆盖率由 14.85% 提高到 27.81%^[20]。2018 年,北京市启动新一轮百万亩造林工程,明确了“一屏、三环、五带、九楔、多廊、多片区”的绿色空间布局。目前,全市已形成千亩以上绿色板块 250 处,万亩以上大尺度森林湿地 29 处。本研究选取北京中心城区作为研究区,北京城市总体规划 (2015—2035 年) 规定中心城区包括东城区、西城区、朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区,总面积约 1 378 km^2 。

1.2 数据来源与预处理

1.2.1 植被覆盖度遥感数据

本研究利用 1992、2001、2011 和 2020 年的 4 期 LandsatTM/OLI 卫星影像作为数据源。数据下载自地理空间数据云平台 (<http://www.gscloud.cn/>)。所选择的 4 期影像均在 7 月—9 月,这一时间段是植被生长旺盛期,不同影像提取的植被覆盖度差异较小,具有可比拟性。经裁剪后的研究区基本无云 (表 1),数据质量较好,能有效提高植被覆盖度提取效果。

1.2.2 地形数据

地形因子包括海拔、坡度和坡向。数字高程模型 (digital earth model, DEM) 数据来自于美国国家航空航天局 (NASA) 全新的全球 30 m 分辨率 DEM 数

表 1 遥感影像基本信息			
Table 1 Data source information of remote-sensing image			
遥感影像 Satellite image	轨道号 Path/row	成像日期 Date of imaging/ (YYYY-MM-DD)	云量 Cloud cover/%
Landsat-8 OLI	124/32	2020-09-20	0.20
Landsat-5 TM	124/32	2011-07-26	3.00
Landsat-5 TM	124/32	2001-08-31	0.18
Landsat-5 TM	124/32	1992-09-07	0.00

据 (<https://earthdata.nasa.gov>)。北京市中心城区大部分是平原地貌，小部分则为山地丘陵。本研究依据

研究区海拔高度，在 60 m 以下以 20 m 为间隔划分为 3 个区间，60—100 m 为 1 个区间，100—800 m 以每 100 m 为 1 个区间，800 m 以上为 1 个区间，总共分成 12 个区间。参照《水土保持综合治理规划通则 GB T15772—2008》^[21]，将研究区划分为平坡 (0°~5°)、缓坡 (5°~8°)、斜坡 (8°~15°)、陡坡 (15°~25°)、急坡 (25°~35°)、险坡 (35°以上) 6 个坡度级别；以及平地 (−1°~0°)、阴坡 (0°~45°，315°~360°)、半阴坡 (275°~315°)、半阳坡 (45°~135°)、阳坡 (135°~275°) 5 种坡向类型^[20]。北京中心城区地形因子空间分布如图 1 所示。

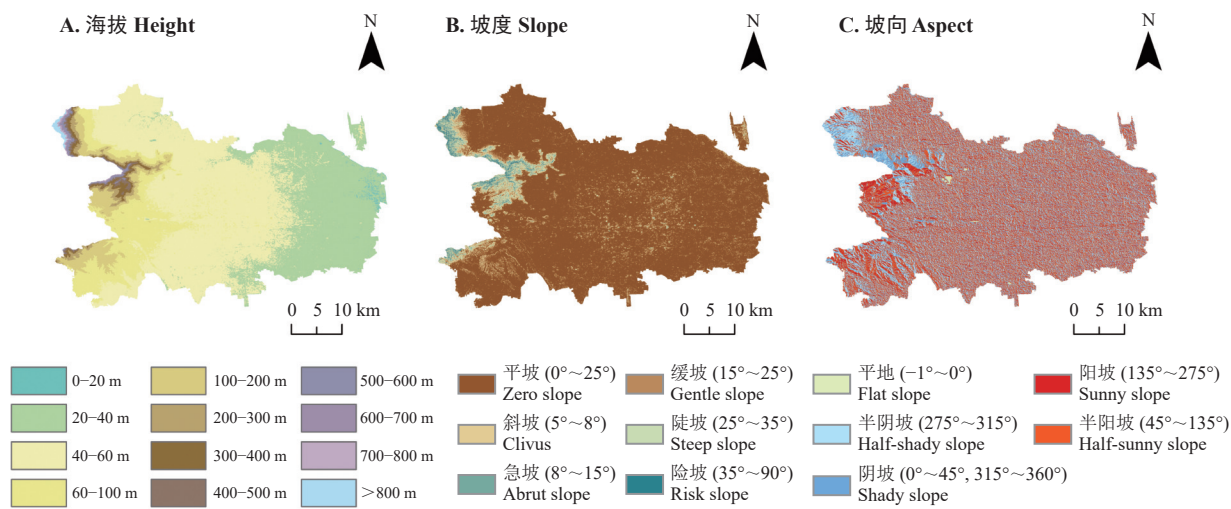


图 1 北京中心城区海拔、坡度和坡向等地形特征示意图

Figure 1 Elevation, slope, and aspect of the central urban area of Beijing are shown in the schematic diagram

1.2.3 土地利用数据

借助 eCognition 软件，通过选样本、配置最邻近特征进行监督分类，后通过目视进行手动修改来解译研究区的土地利用变化。以国土资源部组织修订的国家标准《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017) 和先前研究为参照^[22-25]，将研究区土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 类 (表 2)。并综合利用历史影像数据 (world imagery way back、USGS landlook)、现有 0.8 m 星图地球数据云高分影像 (<https://datacloud.geovisearth.com/>) 和已有地表覆盖产品：武汉大学中国逐年土地覆盖数据集 (Annual China Land Cover Dataset, CLCD)^[23] 和中国科学院空天信息创新研究院 30 m 精细地表覆盖产品 (<https://data.casearth.cn/>)，对抽样样本所在地的地表覆盖类型进行目视解译和精度评价，从

而判定所抽取的样本点基于参考数据判断样本的真实地类。

1.3 研究方法

1.3.1 像元二分模型

采用李苗苗等^[26] 像元二分改进模型估算植被覆盖度，其公式为：

$$FVC = (I_{NDVI} - I_{NDVI_{soil}}) / (I_{NDVI_{veg}} - I_{NDVI_{soil}})。$$
 (1)

式中：FVC 为植被覆盖度；I_{NDVI} 为任一像元的归一化植被指数；I_{NDVI_{soil}} 为完全是裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值，I_{NDVI_{veg}} 则代表完全被植被所覆盖的像元的 NDVI 值，即纯植被像元的 NDVI 值。归一化植被指数 I_{NDVI} 通过公式 (2)^[27] 计算。

$$I_{NDVI} = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)。$$
 (2)

式中：ρ_{NIR} 为近红外波段的反射率；ρ_R 为红光波段的

表 2 北京中心城区土地利用分类
Table 2 Land use classification in central urban area of Beijing

名称 Name	具体含义 Specific meaning	影像解译标志 Interpretation sign
耕地 Plowland	种植农作物的农田和园地 Fields and gardens where crops are grown	浅绿色, 形状规则, 一般为长条, 均匀分布 Light green, regular shape, generally long, evenly distributed
林地 Forest	天然山林、城市人工林 Natural mountain forest, urban artificial forest	深绿色, 形状不规则, 一般呈大面积分布 Dark green, irregular shape, generally distributed over a large area
草地 Grass	天然草地、城市栽培草地 Natural grassland, urban cultivated grassland	浅绿色, 形状不规则, 连片分布 Light green, irregular shape, contiguous distribution
水域 Water	天然陆地水域和水利设施用地 Land for natural land waters and water conservancy facilities	蓝色, 形状规则, 有明显边界线 Blue, regular shape, clear boundary
建设用地 Construction land	城乡居民点及其以外的工矿、交通等用地 Urban and rural residential areas and other industrial, mining, transportation lands	深紫色, 形状规则, 周边常有规则的行道树, 有明显边界线, 连片分布 Dark purple, regular shape, often regular street trees around, with obvious boundaries, contiguous distribution
未利用地 Unused land	裸石、沙地等未/难利用土地 Bare rock, sand, and other unused/difficult land	灰白色, 形状不归分, 多分布于偏远区域 Gray white, shape is not divided, distributed in remote areas

反射率。

基于研究区遥感影像 NDVI 的统计结果, 计算 NDVI 累计频率分布曲线, 分别取累积概率为 5% 和 95% 的 NDVI 值来表示纯裸土 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ ^[26-27]。

参照刘泽等^[28]对北京植被覆盖度的相关研究, 结合本研究的实际情况, 将研究区植被覆盖度在等距离间距的基础上进行调整, 划分为 5 个等级: I 级为低植被覆盖 [0, 20%], II 级为中低植被覆盖 (20%, 45%], III 级为中植被覆盖 (45%, 60%], IV 级为中高植被覆盖 (60%, 80%], V 级为高植被覆盖 (80%, 100%]。

1.3.2 基于差值法的植被覆盖衰退恢复演变信息提取

通过将两期植被覆盖度进行差值运算并分级, 用以观测植被动态变化的趋势。其计算公式为^[29]:

$$\Delta F_c = F_{ca} - F_{cb}。$$

(3)

式中: ΔF_c 为两期植被覆盖度的差值; F_{ca} 和 F_{cb} 为第 a 期 (上一期) 和第 b 期 (下一期) 植被覆盖度。基于 1992、2001、2011 和 2020 年的植被覆盖度栅格数据进行差值运算, 分析植被衰退或恢复演变特征。参考赵丽红等^[16]以及田地等^[29]对植被覆盖度衰退恢复等级的划分, 将北京市植被覆盖度分成 7 个衰退恢复等级: 严重退化、中度退化、轻微退化、稳定、轻微改善、中度改善、极度改善 (表 3)。

1.3.3 地形因子与植被覆盖度关系

借助 ArcGIS 软件中的提取分析模块, 将研究区

表 3 北京中心城区植被覆盖退化与改善分级
Table 3 Classification of vegetation cover degradation and improvement in central urban area of Beijing

等级 Degree	含义 Meaning	植被覆盖度变幅 Variation of vegetation coverage
1	严重退化 Serious degradation	(-100%, -30%]
2	中度退化 Moderate degradation	(-30%, -15%]
3	轻微退化 Slight degradation	(-15%, -5%]
4	稳定 Stabilization	(-5%, 5%]
5	轻微改善 Slight improvement	(5%, 15%]
6	中度改善 Moderate improvement	(15%, 30%]
7	极度改善 Extreme improvement	(30%, 100%)

植被覆盖度栅格数据转为点数据, 再将研究区不同地形因子的栅格数据提取至植被覆盖点数据, 最后通过 Excel 软件计算不同区间段的地形因子的植被覆盖度均值。

1.3.4 土地利用变化与植被覆盖度关系

Kappa 系数是目前被广泛应用的一种精度评价方法, 使用了更客观的指标评价影像分类的质量, 比如实际分类和参考分类之间的吻合度^[23]。采用随机点的方式, 利用随机的方法对研究区域产生

500 个样本点, 针对分类结果进行通过精度评价。结果显示, 4 期遥感影像, 总体精度分别为 76.5%、72.83%、81.56% 和 84.32%, Kappa 系数分别为 0.74、0.71、0.77 和 0.82, 按照 Kappa 系数分类精度判别标准, 土地分类结果较好, 可用于后续研究。

将 4 期土地利用结果进行叠加分析, 获得 1992—2001 年、2001—2011 年和 2011—2020 年 3 个时间段的土地利用变化, 变化类型总计为 30 种。同时与植被恢复区域 (表 3 中的 V、VI、VII) 和植被退化区域 (表 3 中的 I、II、III) 分别进行区域分析获得二者相交的面积统计, 可分析不同类型土地利用变化对植被覆盖变化的影响程度。

将植被退化/改善所占面积占同一转变类型面积比例视为贡献度, 阈值在 0~1。以 0.6 作为临界值, 贡献度在 0.6 以上表明植被覆盖度退化/改善与这一土地类型转换密切相关。同时为方便制图对转换名称进行简化, 如将“建设用地转林地”简化为“建转林”, 英文以首字母表示为 C—F。

$$C = S_1 / S_2 \quad (4)$$

式中: C 为贡献度, S_1 为植被覆盖变化类型面积 (退化或改善), S_2 为同一转变类型区域总面积。

2 结果与分析

2.1 北京市植被覆盖度时空变化特征

研究区 4 期植被覆盖度均值分别为 0.51、0.44、0.41 和 0.47, 研究区各等级植被覆盖度总体上以低植被覆盖和高植被覆盖为主。如图 2 所示, 1992 年和 2001 年城市建成区低植被覆盖高度集中, 而郊区边缘地带和低山丘陵地带高植被覆盖分布较为集中。2011 年和 2020 年城市建成区内的低植被覆盖开始破碎化, 但二者不同的是, 2011 年郊区边缘地带的高植被覆盖减少、破碎化, 2020 年则又集中起来。

1992—2020 年, 北京市中心城区各等级植被覆盖的面积变化明显不同 (图 3)。低植被覆盖面积和中低植被覆盖面积展现出先增加再降低的趋势。其中, 低植被覆盖面积在 1992—2001 年这一时期大幅增加, 由 375.58 km² 增长至 476.41 km², 增幅高达 26.85%。2001—2011 年低植被覆盖面积虽有下降, 但是降幅仅为 3.98%, 2011 年以后, 下降幅度加大

至 14.89%。中低植被覆盖面积在 2011 年以前的两个时间段大幅增加, 之后开始下降。与此相反, 中高植被覆盖面积和高植被覆盖面积则呈现出先下降后增加的趋势。其中, 在 2011—2020 年, 高植被覆盖面积更是由 228.10 km² 上升至 325.11 km², 增幅高达 42.53%。由此可以得出, 1992—2001 年是北京中心城区城市扩张的加速期, 2001—2011 年这一时间段城市扩张仍在继续, 并开始考虑城市生态建设, 但是北京中心城区大力进行城市生态建设则在 2011 年之后。

2.2 北京市植被衰退与改善特征

将研究区 1992—2001 年、2001—2011 年和 2011—2020 年植被覆盖度作差值运算, 获得北京中心城区 3 个时间段植被衰退和恢复的时空分布状况 (图 4) 和面积信息 (表 4)。1992—2001 年北京中心城区植被以衰退为主, 其中严重退化是除植被稳定类型外其他类型中面积占比最高, 达 16.86%, 植被退化类型的总面积总计达 42.17%, 植被改善的面积占比仅为 29.83%。严重退化的范围主要为城市建成区边缘即当时的北京四环路外。2001—2011 年, 退化总面积占比下降至 38.39%, 而植被改善类型的总面积占比则上升至 41.45%, 超过退化总面积。植被严重退化的范围相较前一时间段外延, 以郊区边缘地带为主, 而城市核心区内的植被则得到极度改善。2011—2020 年, 除植被稳定类型外, 被极度改善类型面积占比最高, 为 17.47%, 严重退化的面积占比最低, 仅为 6.50%。但与前一时段不同的是, 郊区边缘地带的植被得到极度改善, 而城市核心区植被状况却出现了轻微退化。

2.3 地形因子与植被覆盖度时空变化的关系

北京中心城区植被覆盖度随地形因子变化如图 5 所示。不同地形的生态环境各不相同, 从而影响植被生长状况, 使其呈现出显著的地形分异规律^[30]。植被覆盖表现出明显的垂直地带性, 在第 1 高程 (0—20 m) 到第 4 高程 (60—100 m) 植被覆盖度总体上呈现随高程增加而降低的趋势。其中, 第 1 高程的植被覆盖度最高。结合卫星影像查看, 第 1 高程主要分布在朝阳区东北部边缘 (即温榆河沿岸), 这一带水热条件良好, 人类活动较少, 故而植被覆盖度较高, 2011 年成为最低值则可能与温榆河开始开

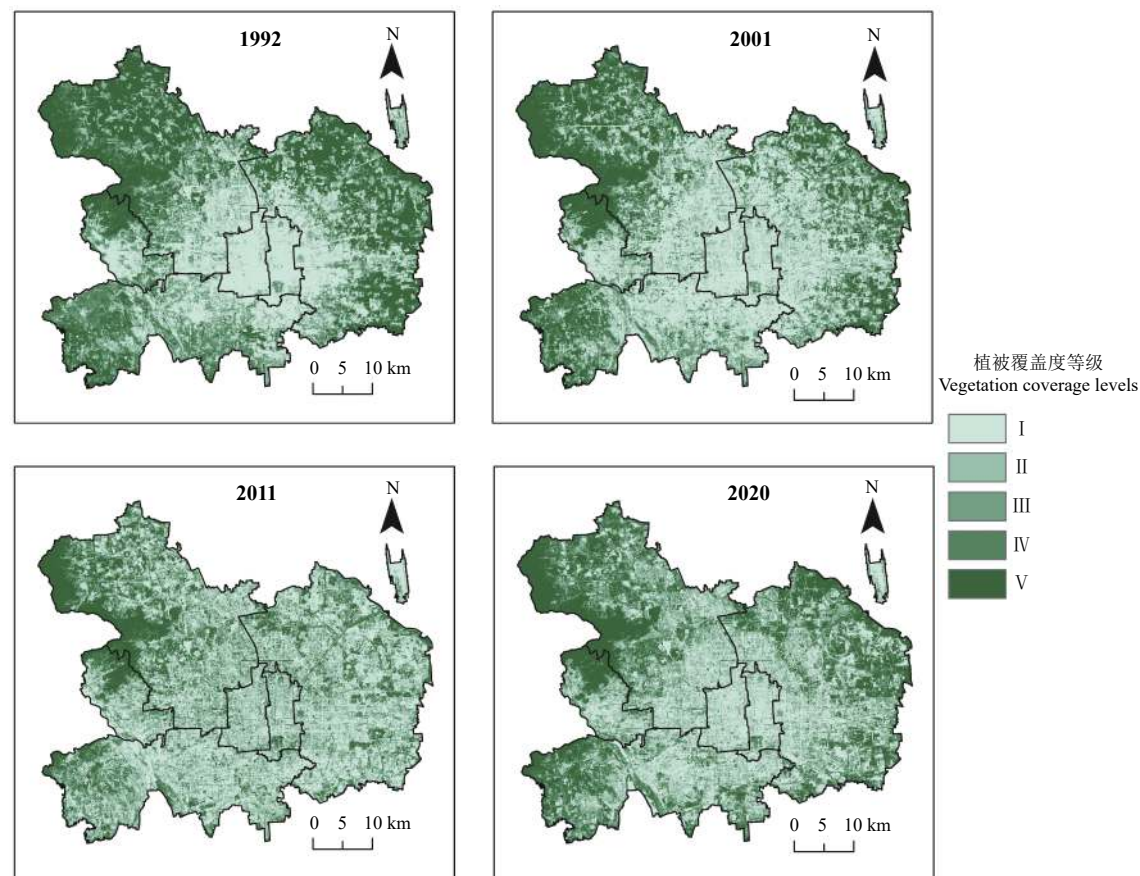


图 2 1992—2020 年北京中心城区不同等级植被覆盖时空分布图

Figure 2 Spatial and temporal distribution of vegetation cover at different levels in central urban area of Beijing from 1992 to 2020

I，低植被覆盖；II，中低植被覆盖；III，中植被覆盖；IV：中高植被覆盖；V，高植被覆盖；下同。

I, low vegetation cover; II, medium-low vegetation cover; III, medium vegetation cover; IV, medium-high vegetation cover; V, high vegetation cover.

This is applicable for the following figures and tables as well.

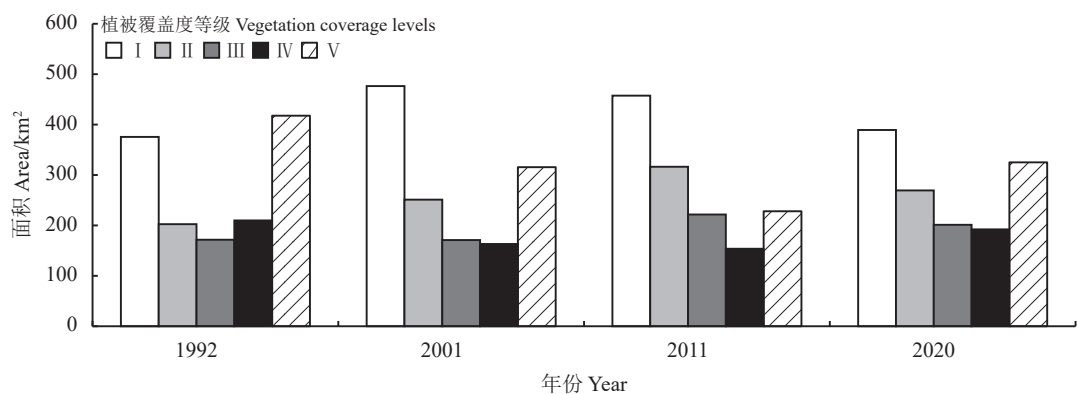


图 3 1992—2020 年北京中心城区各植被覆盖度等级面积

Figure 3 Area of different vegetation coverage levels in central urban area of Beijing from 1992 to 2020

发建设有关。第 4 高程以后，植被覆盖度与高程成正相关，其中第 5 高程 (100—200 m) 到第 6 高程 (200—300 m)，随高程增加，植被覆盖度上升幅度较大，第 10 高程 (600—700 m) 以后植被覆盖度基本保持不变。

坡度上，植被覆盖度也显示出明显的正相关关

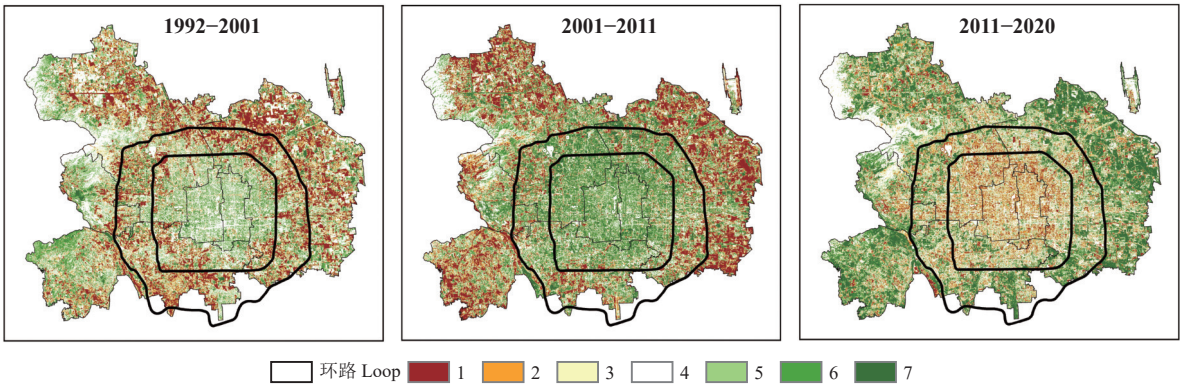


图 4 1992—2020 年北京中心城区植被退化和改善时空分布图

Figure 4 Spatial and temporal distribution of vegetation degradation and improvement in central urban area of Beijing from 1992 to 2020

1、2、3、4、5、6、7 表示植被退化与改善等级；下同。

1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7 indicate degrees of vegetation cover degradation. This is applicable for the following figures and tables as well.

表 4 1992—2020 年北京中心城区植被衰退和改善面积占比

Table 4 Proportion of vegetation decline and improvement area in the central urban area of Beijing from 1992 to 2020

等级 Degree	面积 Area/km ²			面积比例 Area ratio/%		
	1992—2001	2001—2011	2011—2020	1992—2001	2001—2011	2011—2020
1	232.21	248.88	89.57	16.86	18.07	6.50
2	162.83	139.14	166.89	11.82	10.10	12.12
3	185.76	140.72	208.93	13.49	10.22	15.17
4	385.54	277.77	337.38	27.99	20.17	24.50
5	231.29	203.81	172.56	16.79	14.80	12.53
6	126.58	201.46	161.32	9.19	14.63	11.71
7	53.06	165.49	240.62	3.85	12.02	17.47

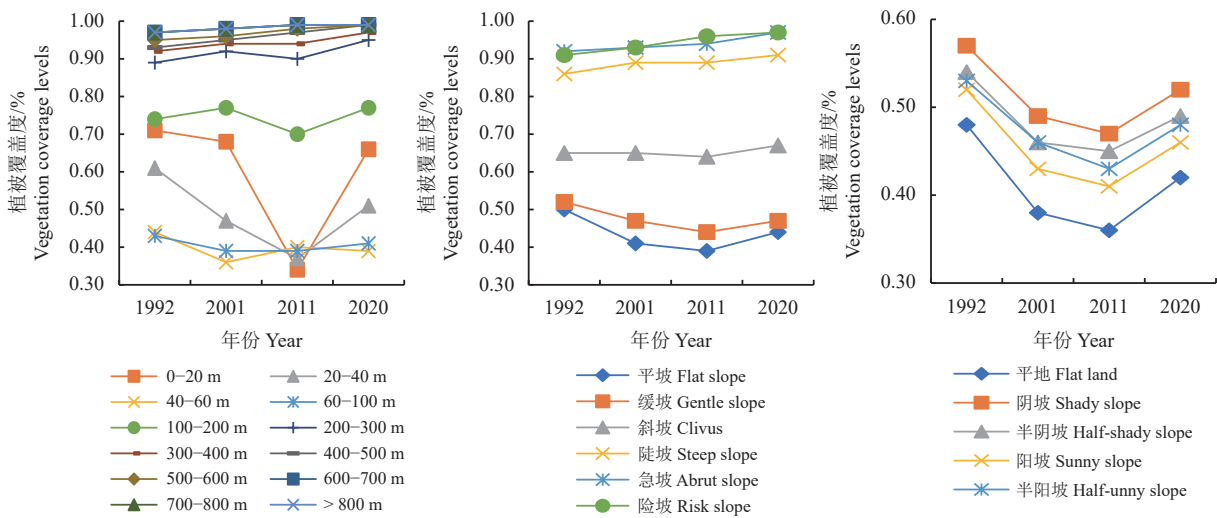


图 5 植被覆盖随地形因子的变化

Figure 5 Variation of vegetation cover with topographic factors

系。人类活动主要在平坡和缓坡上, 植被生长容易受影响, 因而植被覆盖度较低。从陡坡到急坡的增长幅度最大, 超 20%。急坡和险坡, 植被覆盖度基本保持稳定。坡向上, 植被覆盖度分布状况为阴坡 > 半阴坡 > 半阳坡 > 阳坡 > 平地, 阴坡的植被覆盖最好, 阳坡较差, 半阴坡和半阳坡相近。阴坡湿度高, 土壤较肥, 因此植被生长良好。而阳坡日照总量大, 水分蒸发大, 植被生长较差。

2.4 土地利用方式转变对植被覆盖变化的贡献度分析

1992 年北京中心城区郊区边缘地带存在大量耕地, 城市核心区建设用地高度集中; 2001 年和 2011 年城市不断扩张, 郊区边缘地带的耕地大量减少, 城市核心区内建设用地的景观格局受绿化影响逐渐破碎化; 到 2020 年, 郊区边缘地带的林地又大量增加 (图 6)。

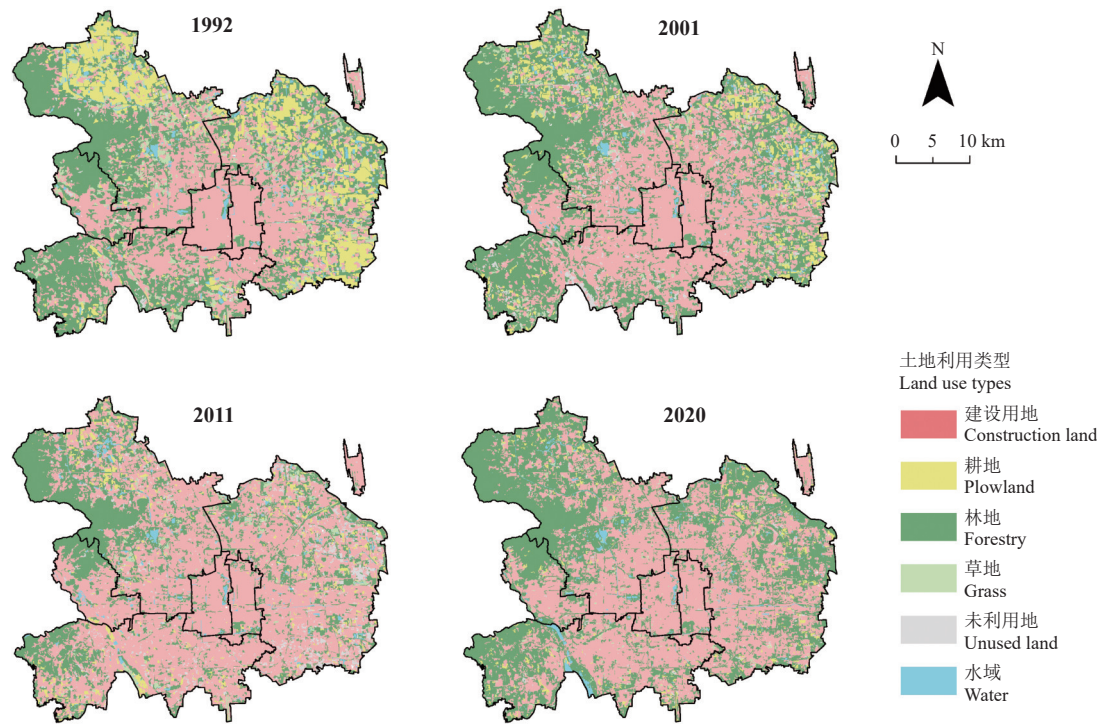


图 6 北京中心城区 1992—2020 年土地利用类型
Figure 6 Land use types in the central urban area of Beijing from 1992 to 2020

基于北京市 4 个时间段的土地利用结果, 分析土地利用方式转变对植被覆盖变化的贡献度 (图 7)。从植被退化区来看, 1992—2001 年贡献度高于 0.6 的依次为“耕转其他”和“草转其他等 9 类, 平均贡献度为 0.88。2001—2011 年为“耕转建”和“耕转其他”等 11 类, 平均贡献度为 0.80。2011—2020 年为“草转水”和“耕转水”等 6 类, 平均贡献度为 0.78。考虑到类型占比问题, 研究区植被退化主要是大量的植被转为建设用地、未利用地所造成。

而从植被改善区来看, 1992—2001 年贡献度高于 0.6 以上的土地利用转变类型依次为“其他转耕”和“水转耕”等 8 类, 平均贡献度为 0.84。2001—2011 年依次为“其他转草”和“水转林”等 9 类, 平均贡献

度为 0.82。2011—2020 年依次为“建转耕”和“其他转耕”等 10 类, 平均贡献度 0.76。改善区与退化区的土地利用变化对植被覆盖贡献度均存在一个减弱的趋势。同样考虑到转换占比, 植被改善因建设用地和未利用地转化为林草地、耕地所造成。

3 讨论与结论

3.1 讨论

虽然本研究在北京市植被覆盖时空变化特征及其对地形和土地利用的关系分析上获得一定的研究成果, 同时也存在一些问题, 值得进一步的探讨:

1) 由于本研究未采用长时间序列的遥感数

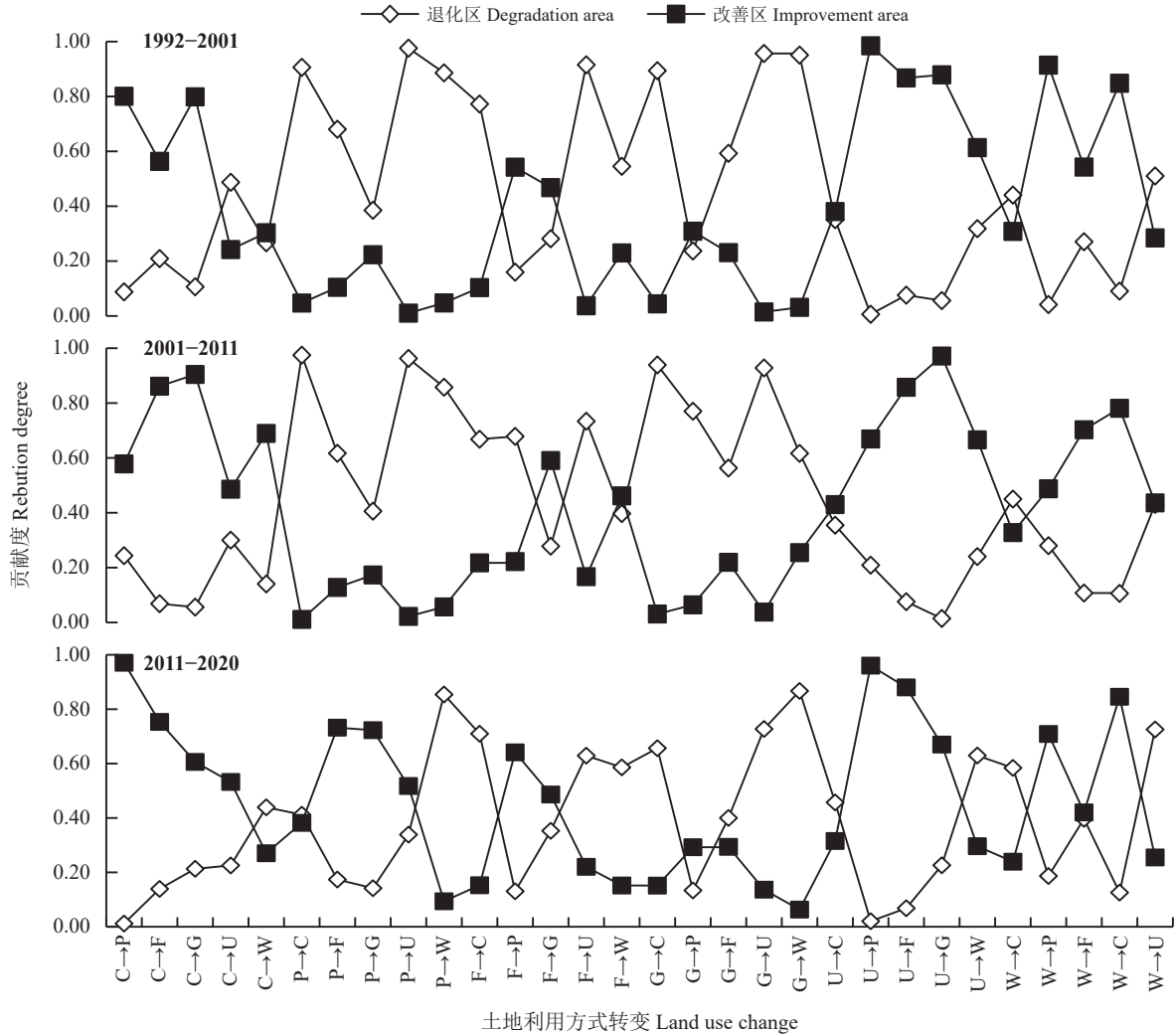


图 7 土地利用方式转变对植被覆盖度变化的贡献

Figure 7 Contribution of land use change to vegetation cover change

C→P: 建设用地→耕地; C→F: 建设用地→林地; C→G: 建设用地→草地; C→U: 建设用地→未利用地; C→W: 建设用地→水域; P→C: 耕地→建设用地; P→F: 耕地→林地; P→G: 耕地→草地; P→U: 耕地→未利用地; P→W: 耕地→水域; F→C: 林地→建设用地; F→P: 林地→耕地; F→G: 林地→草地; F→U: 林地→未利用地; F→W: 林地→水域; G→C: 草地→建设用地; G→P: 草地→耕地; G→F: 草地→林地; G→U: 草地→未利用地; G→W: 草地→水域; U→C: 未利用地→建设用地; U→P: 未利用地→耕地; U→F: 未利用地→林地; U→G: 未利用地→草地; U→W: 未利用地→水域; W→C: 水域→建设用地; W→P: 水域→耕地; W→F: 水域→林地; W→G: 水域→草地; G→U: 水域→未利用地。

C→P: construction land→plowland; C→F: construction land→forestry; C→G: construction land→grass; C→U: construction land→unused land; C→W: construction land→water; P→C: plowland→construction land; P→F: plowland→forestry; P→G: plowland→grass; P→U: plowland→unused land; P→W: plowland→water; F→C: forestry→construction land; F→P: forestry→plowland; F→G: forestry→grass; F→U: forestry→unused land; F→W: forestry→water; G→C: grass→construction land; G→P: grass→plowland; G→F: grass→forestry; G→U: grass→unused land; G→W: grass→water; U→C: unused land→construction land; U→P: unused land→plowland; U→F: unused land→forestry; U→G: unused land→grass; U→W: unused land→water; W→C: water→construction land; W→P: Water→plowland; W→F: water→forestry; W→G: water→grass; G→U: water→unused land.

据,故而仅分析了地形因子和土地利用转变对于植被覆盖的影响。而植被覆盖同时也受到气温、降水、日照等其他气候因素以及人口密度等人为因素的影响。今后可考虑同时结合长时间序列遥感数据,综合多方面条件进一步分析北京植被覆盖演变规律。为在气候、地形等自然因素影响前

提下,如何通过人为手段如土地利用模式转变、城市人口迁移提升植被覆盖度提供有力的科学支持。

2) 在数据精度问题上,由于遥感影像分辨率为 30 m,本研究部分耕地与林草地仍然存在一定的偏差。本研究通过高分辨率遥感影像和前人研究结果对土地利用结果进行人工修正,设立实地

验证点 500 个进行了精度评价,保证了结果的准确性。并且耕地和草地在整个地物分类结果中比重较小,对最终研究结果影响不大。在后续的研究中,可考虑获取更高分辨率影像和多方土地利用解译结果,完善土地利用方式转变对植被覆盖变化的贡献度分析。

3) 城市的植被覆盖度的提升容易受到城市发展政策影响较大。1992—2001 年市区绿化问题得到关注,城市公园建设,林草地增加,植被覆盖得到极度改善。1990—2003 年是北京四环路和五环路建设时期,市区内外交通大为改善,城市不断扩张,郊区大量的耕地和林地被占用,植被严重退化。2012 年以来生态文明建设进一步发展。结合北京植被覆盖度随地形因子的变化(图 5),2011—2020 年,海淀区与朝阳区的郊野公园大量建设,也是北京郊区植被覆盖度提升的重要原因之一。

4) 由贡献度分析可得,随着城市建设方式的日渐完善,北京植被覆盖变化对土地利用的响应在减弱,仅通过改变土地利用模式很难对植被覆盖度进行进一步的提升优化。今后植被覆盖的提升,可落在土地利用转变中的植物配植方式以及如何减缓植被退化上,分析植被改善/退化对不同植物配植方式的响应,以期构建出合理完善的植物配植模式,保障城镇建设和生态环境的协调发展。

3.2 结论

本研究在 1992、2001、2011 和 2020 年的 Landsat

影像的基础上,结合 GIS 和 RS 技术分析了 4 个时段北京市中心城区植被覆盖时空演变以及对地形和土地利用变化的响应,得到如下结论:

1) 北京市中心城区的植被覆盖度呈现先下降后上升的趋势。低植被覆盖在 1992—2001 年大面积增加,由 375.58 km^2 增长至 476.41 km^2 ,增幅高达 26.85%。2011—2020 年,高植被覆盖的面积大幅增加,由 228.10 km^2 上升至 325.11 km^2 ,增幅高达 42.53%。

2) 1992—2011 年北京中心城区植被以衰退为主,其中 1992—2001 年植被严重退化面积占比为 16.85%。2001—2011 年,严重退化面积占比仍高达 18.07%,但退化总面积占比由 42.17% 下降至 38.39%。2011—2020 年,植被极度改善类型占比大幅提高,达 17.47%,严重退化的面积占比降为 6.50%。

3) 植被覆盖表现出明显的地形规律。第 4 高程以后(100 m 以上),植被覆盖度随着高程增加而增加,第 10 高程(600—700 m)以后植被覆盖度基本保持不变。植被覆盖度在坡度上,植被覆盖度也显示出明显的正相关关系。而在坡向上,植被覆盖度分布状况则为阴坡 > 半阴坡 > 半阳坡 > 阳坡 > 平地。

4) 土地利用变化是影响短时间内植被覆盖变化最重要的人为因子。未利用地开发、植树造林、郊野公园建设对植被改善起到重要作用。而挖山毁林、占用耕地等行为则严重影响植被退化。因此完善土地利用相关政策,能够有效协调土地利用与生态环境保护之间的矛盾。

参考文献 References:

- [1] 邓晨晖,白红英,高山,刘荣娟,马新萍.秦岭植被覆盖时空变化及其对气候变化与人类活动的双重响应.自然资源学报,2018,33(3): 425-438.
DENG C H, BAI H Y, GAO S, LIU R J, MA X P. 2018. Spatial-temporal variation of the vegetation coverage in qinling mountains and its dual response to climate change and human activities. Journal of Natural Resources, 2018, 33(3): 425-438.
- [2] 雷璇,杨波,蒋卫国,杨一鹏.东洞庭湿地植被格局变化及其影响因素.地理研究,2012,31(3): 461-470.
LEI X, YANG B, JIANG W G, YANG Y P. Vegetation pattern changes and their influencing factors in the East Dongting Lake wetland. Geographical Research, 2012, 31(3): 461-470.
- [3] ENARUVBE G, ATAFO O. Land cover transition and fragmentation of river Ogba catchment in Benin City, Nigeria. Sustainable Cities and Society, 2019, 45: 70-78.
- [4] 齐亚霄,张飞,陈瑞,王一山.2001—2015年天山北坡植被覆盖动态变化研究.生态学报,2020,40(11): 3677-3687.
QI Y X, ZHANG F, CHEN R, WANG Y S. Vegetation coverage dynamics in the northern slope of the Tianshan Mountains from 2001 to 2015. Acta Ecological Sinica, 2020, 40(11): 3677-3687.
- [5] DINH H, IENCO D, GAETANO R, LALANDE N, NDIKUMANA E, OSMAN F, MAUREL P. Deep Recurrent Neural Networks

- for mapping winter vegetation quality coverage via multi-temporal SAR Sentinel-1. *IEEE Geoece & Remote Sensing Letters*, 2017, 15(3): 1-5.
- [6] 刘世杰, 苏舒, 梁亮, 童小华. 基于植被状态指数的干旱化特征及气候驱动因素分析: 以江苏省为例. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(12): 1927-1933.
- LIU S J, SU S, LIANG L, TONG X H. Analysis of drought characteristics and their driving factors based on vegetation condition index: A case study in Jiangsu Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(12): 1927-1933.
- [7] 张亮, 丁明军, 张华敏, 文超. 1982—2015年长江流域植被覆盖度时空变化分析. *自然资源学报*, 2018, 33(12): 2084-2097.
- ZHANG L, DING M J, ZHANG H M, WEN C. Spatiotemporal variation of the vegetation coverage in Yangtze River basin during 1982—2015. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(12): 2084-2097.
- [8] ANGELA K. Effect of the temporal resolution of NDVI data on seasonal onset dates and trends across Canadian broadleaf forests. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(6): 1564-1575.
- [9] FERNÁNDEZ-GUISURAGA J M, CALVO L, SUÁREZ-SEOANE S. Comparison of pixel unmixing models in the evaluation of post-fire forest resilience based on a temporal series of satellite imagery at moderate and very high spatial resolutions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2020, 164: 217-228.
- [10] 李钰澈, 贾坤, 魏香琴, 姚云军, 孙俊. 中国北方地区植被覆盖度遥感估算及其变化分析. *国土资源遥感*, 2015, 27(2): 112-117.
- LI Y W, JIA K, WEI X Q, YAO Y J, SUN J. Fractional vegetation coverage estimation in northern China and its change analysis. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2015, 27(2): 112-117.
- [11] 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.
- BAI J J, BAI J T, WANG L. Spatio-temporal change of vegetation NDVI and its relations with regional climate in northern Shaanxi Province in 2000—2010. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(7): 882-888.
- [12] 王建邦, 赵军, 李传华, 朱钰, 康重阳. 2001—2015年中国植被覆盖人为影响的时空格局. *地理学报*, 2019, 74(3): 504-519.
- WANG J B, ZHAO J, LI C H, ZHU Y, KANG C Y. Spatiotemporal patterns of the impact of human activities on vegetation coverage in China from 2001 to 2015. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(3): 504-519.
- [13] 覃金兰, 薛联青. 西北干旱区玛纳斯河流域植被时空变化特征及其与地形因子的空间关系. *生态环境学报*, 2020, 29(11): 2170-2188.
- QIN J L, XUE L Q. Spatial and temporal variation characteristics of vegetation in the Manas River Basin in the northwest arid region and its spatial relationship with topographical factors. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(11): 2179-2188.
- [14] 邵艳莹, 吴秀芹, 张宇清, 秦树高, 吴斌. 内蒙古地区植被覆盖变化及其对水热条件的响应. *北京林业大学学报*, 2018, 40(4): 33-42.
- SHAO Y Y, WU X Q, ZHANG Y Q, QIN S G, WU B. Response of vegetation coverage to hydrothermal change in Inner Mongolia in northern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2018, 40(4): 33-42.
- [15] BOSCHETTI M, NUTINI F, BRIVIO P A, BARTHOLOME E, STROPPIANA D, HOSCILO A. Identification of environmental anomaly hotspots in west Africa from time series of NDVI and rainfall data. *Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2013, 78(4): 26-40.
- [16] 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.
- [17] 王曦, 张怡雯. 基于Landsat影像的北京植被覆盖度变化趋势分析. *遥感技术与应用*, 2021, 36(6): 1388-1397.
- WANG X, ZHANG Y W. An analysis of change trend of fractional vegetation cover in Beijing based on Landsat imagery. *Remote Sensing Technology and Application*, 2021, 36(6): 1388-1397.
- [18] 周梦遥, 何东进, 覃德华, 游巍斌. 1995—2015年厦门市土地利用变化对植被覆盖度的影响. *森林与环境学报*, 2017, 37(4): 6.
- ZHOU M Y, HE D J, QIN D H, YOU W B. Impacts of land use change on vegetation coverage in Xiamen City from 1995 to 2015. *Journal of Forest & Environment*, 2017, 37(4): 6.
- [19] 中国新闻网. 改革开放40年北京常住人口平均每年增加33.3万人. (2018-11-01) [2022-08-23]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1615934354471398515&wfr=spider&for=pc>.

- ZHONG G X W Over the past 40 years of reform and opening up, Beijing's permanent population has increased by 333, 000 annually. (2018-11-01) [2022-08-23]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1615934354471398515&wfr=spider&for=pc>.
- [20] 新京报. 新一轮百万亩造林收官, 林海书写北京“生态答卷”. (2022-08-23)[2022-08-23]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1736428384522675527&wfr=spider&for=pc>.
- XIN J B. A new round of Afforestation of one million mu ends, and Lin Hai writes Beijing's "Ecological Answer Book". (2022-06-23) [2022-08-23]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1736428384522675527&wfr=spider&for=pc>.
- [21] 刘尧文, 沙晋明. 基于Landsat影像的多时相植被覆盖度与地形因子关系研究: 以平潭岛为例. 福建师范大学学报(自然科学版), 2016, 32(4): 89-98.
- LIU Y W, SHA J M. Multi-temporal vegetation coverage in relation to topographic factors: Based on Landsat data in Pingtan Island. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2016, 32(4): 89-98.
- [22] 杨艳萍, 陈建军, 覃巧婷, 周国清, 尤号田. 2000—2018年广西植被时空变化及其对地形, 气候和土地利用的响应. 农业工程学报, 2021, 37(17): 234-241.
- YANG Y P, CHEN J J, QIN Q T, ZHOU G Q, YOU H T. Temporal and spatial variation of vegetation and its response to topography, climate and land use in Guangxi during 2000—2018. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(17): 234-241.
- [23] YANG J, HUANG X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8): 3907-3925.
- [24] 中华人民共和国自然资源部. 土地利用现状分类 GB/T 21010—2017. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- Ministry of Natural Resources, PRC. Land-use status classification GB/T 21010—2017. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [25] 夏天, 黎璇, 何东进, 游巍斌. 福建平潭岛填海活动热岛效应的时空变异. 森林与环境学报, 2019, 39(5): 540-547.
- XIA T, LI X, HE D J, YOU W B. Spatio-temporal variability of urban heat islands due to sea reclamation in Pingtan Island, Fujian. Journal of Forest and Environment, 2019, 39(5): 540-547.
- [26] 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.
- LI M M, WU B F, YAN C Z, ZHOU W F. Estimation of vegetation fraction in the upper basin of Miyun Reservoir by remote sensing. Resources Science, 2004, 26(4): 153-159.
- [27] 贾坤, 姚云军, 魏香琴. 植被覆盖度遥感估算研究进展. 地球科学进展, 28(7): 774-782.
- JIA K, YAO Y J, WEI X Q. A review on fractional vegetation cover estimation using remote sensing. Advances in Earth Science, 2013, 28(7): 774-782.
- [28] 刘泽, 陈建平. 基于Landsat-8影像数据的北京植被覆盖度时空特征与地形因子的关系. 成都理工大学学报(自然科学版), 2022, 49(1): 119-128.
- LIU Z, CHEN J P. Relationship between temporal and spatial characteristics of vegetation coverage and topographic factors in Beijing based on Landsat-8 image data. Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 49(1): 119-128.
- [29] 田地, 刘政, 胡亚林. 福州市植被覆盖度时空特征及与地形因子的关系. 浙江农林大学学报, 2019, 36(6): 1158-1165.
- TIAN D, LIU Z, HU Y L. Spatial-temporal characteristics of vegetation coverage and the relationship to topographic factors in Fuzhou City. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2019, 36(6): 1158-1165.
- [30] 卜心国, 王仰麟, 沈春竹, 张小飞. 深圳市地形对土地利用动态的影响. 地理研究, 2009, 28(4): 1011-1021.
- BU X G, WANG Y L, SHEN C Z, ZHANG X F. Influence of landforms on the land use dynamics in Shenzhen City. Geographical Research, 2009, 28(4): 1011-1021.

(责任编辑 王芳)