

DOI: 10.5846/stxb201907201536

达瓦扎喜, 王静, 张志明, 秀措, 赵秀玲, 王嘉丽, 周伟奇. 高原河谷城镇化对植被覆盖度的影响. 生态学报, 2020, 40(17): 6025-6036.

Dawa Z X, Wang J, Zhang Z M, Xiu C, Zhao X L, Wang J L, Zhou W Q. Impact of urbanization of plateau valley on vegetation coverage. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(17): 6025-6036.

## 高原河谷城镇化对植被覆盖度的影响

达瓦扎喜<sup>1,2</sup>, 王 静<sup>2</sup>, 张志明<sup>1</sup>, 秀 措<sup>1</sup>, 赵秀玲<sup>2</sup>, 王嘉丽<sup>2</sup>, 周伟奇<sup>2,3,\*</sup>

1 云南大学生态与环境学院, 昆明 650504

2 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

3 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要:**以典型的高原河谷城市——西宁市为例, 定量分析了 2000—2015 年研究区景观格局及植被覆盖度的时空演变, 揭示了高原河谷地区的城镇建设对植被覆盖度的干扰过程及生态环境质量的影响。结果表明: (1) 2000—2015 年间, 西宁市城镇面积增幅为 25.99%, 总体城镇化率为 4.76%, 各区县城镇化水平差异较大; (2) 西宁市平均植被覆盖度呈增加趋势但不显著 ( $P < 0.57$ )。植被覆盖度以中和高植被覆盖度为主, 空间上呈现“东西低—南北高”的分布特征, 退耕(牧)还林(草)区的植被覆盖度显著增加 ( $P < 0.01$ ), 说明生态恢复工程效果显著; (3) 区县尺度上, 城镇化速率与中高覆盖植被面积变化呈显著负相关 ( $P < 0.01$ ), 区县内生态质量有所下降, 城镇发展程度和区位条件的差异是影响中高覆盖度植被变化的主要因素; (4) 网格尺度上, 建成区及其周边区域的低覆盖植被面积呈显著增加趋势 ( $P < 0.01$ ), 表明城镇内部区域生态质量有所改善。研究结果对保护和提高西宁市生态环境质量及合理推进城镇建设等方面具有重要意义。

**关键词:**高原城镇化; 植被覆盖度; 像元二分法; 高原河谷城市; 生态质量; 谷歌地球引擎

## Impact of urbanization of plateau valley on vegetation coverage

DAWA Zhaxi<sup>1,2</sup>, WANG Jing<sup>2</sup>, ZHANG Zhiming<sup>1</sup>, XIU Cuo<sup>1</sup>, ZHAO Xiuling<sup>2</sup>, WANG Jiali<sup>2</sup>, ZHOU Weiqi<sup>2,3,\*</sup>

1 School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming 650504, China

2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** This paper took a typical plateau river valley city — Xining City as an example and quantified the spatiotemporal patterns of urban expansion and vegetation cover from 2000 to 2015. We then analyzed the impact of urban construction on vegetation coverage and the quality of the ecological environment. The results showed that: (1) From 2000 to 2015, the area of build-up lands increased by 25.99%, whereas the urbanization rate was 4.76%. Meanwhile, the urbanization levels of different districts and counties varied widely; (2) There was a slight but insignificant increasing trend in vegetation coverage ( $P < 0.57$ ). The city was dominated by Medium-High and High vegetation coverage, in which spatially distributed characteristics are “east-west low and north-south high”. The vegetation coverage in the area of returning farmland (grazing) to forest (grass) has increased significantly ( $P < 0.01$ ), suggesting the restoration project achieved significant effects; (3) On the district or county scale, the urbanization change rate and the medium-high coverage vegetation change trend showed a significant negative correlation ( $P < 0.01$ ). Different degree of urban development and location conditions are the main factors affected the medium-high coverage vegetation; (4) On the grid-scale, the area of low-cover vegetation in the built-up area and its surrounding areas showed a significant increase ( $P < 0.01$ ), indicating that the quality of the ecological

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41771203)

收稿日期: 2019-07-20; 网络出版日期: 2020-07-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wzhou@cees.ac.cn

environment in urban areas has improved; The research results are of great significance for protecting and improving the quality of the ecological environment of Xining City and for rationally advancing urban construction.

**Key Words:** Plateau urbanization; vegetation coverage; pixel dichotomy; plateau valley type city; ecological quality; Google earth engine

城市化(城镇化)是表征区域社会发展的重要指标,其中城市参与了推动区域经济发展的重要过程。城镇化往往伴随着城市及其周边区域生态环境的变化,其中植被的变化广受关注,这是因为植被在区域气候调节、水土保持及防风固沙等方面起着主导作用,在生态系统中的地位极其重要<sup>[1-3]</sup>。大量研究显示,城镇化导致的经济飞速发展、人口剧增、建设用地扩张以及资源消耗,侵占了大量耕地、森林和草地资源,对植被覆盖度产生显著影响,导致区域生态环境质量严重下降<sup>[4-5]</sup>。

伴随城镇化进程中社会经济发展以及城市建设用地的扩张,近几年许多国内外学者将植被覆盖度作为研究城镇化和生态环境质量之间关系的重要指标之一<sup>[6]</sup>。当前研究是基于遥感数据反演的归一化植被指数(Normalized differential vegetation index, NDVI)、增强型植被指数(Enhanced vegetation index, EVI),主要通过植被指数回归法和像元二分法(混合像元分解法)计算得到植被覆盖度(Fractional vegetation cover, Fc)<sup>[7]</sup>。像元二分法模型可以有效滤除 NDVI 或 EVI 极值噪点,并有效表征植被信息的值域。因此,植被覆盖度较植被指数更加能够良好地表征植被覆盖的信息。城镇化对植被覆盖的影响,既有负面影响也有正面作用。一方面,城镇快速发展并伴随人口剧增、建设用地扩张导致植被损失和破坏<sup>[8-12]</sup>;另一方面,随着社会发展,城镇区域具备相应能力和条件,通过城市绿地建设与管理、退耕(耕)还林(草)、天然林保护等重要生态环保工程,增加区域植被覆盖度,进而改善生态环境,提高区域生态质量<sup>[13-16]</sup>。

西宁市地处青藏高原东北缘的河湟谷地,是典型的高原河谷型城市<sup>[17-18]</sup>,其独特的地域环境使得该区域的高原河谷生态系统非常脆弱,植被生长代谢缓慢,自然恢复力极低。随着西部大开发以及“青海省四区两带一线规划纲要”等相关政策的不断推进实施以及交通条件的改善,近年来该市的城镇化水平得到极大提升,城市建设用地增长迅速,而城市扩张对本地生态环境也形成了压力<sup>[19]</sup>。目前在高原地区开展的大部分对植被覆盖变化的研究主要关注于气候变化对其影响<sup>[20-23]</sup>,而对城镇化因素的研究较少,如何将高原河谷地区的城镇化进程与生态环境变化有机结合起来成为当前急需解决的重要问题。为此本文将分别回答①“如何将高原河谷地区的城镇化进程与生态环境变化有机结合起来?”②“高原河谷城镇化对不同覆盖度植被的影响如何?”③“不同尺度下高原河谷建设用地变化与植被覆盖变化之间是怎样的关系?”三个科学问题。

本文选取青藏高原典型河谷型城市——西宁市为研究区,基于 Google Earth Engine 平台和 GIS/RS 技术,分析了 2000—2015 年西宁市城镇化和植被覆盖度的时空演变特征,并从区县尺度与格网尺度,探讨了西宁市城镇化对植被覆盖度的影响。研究结果可以为西宁市乃至高原河谷地区城镇建设与生态环境协调发展提供依据,同时有助于加深对高原河谷型城镇区域植被变化特征及主要影响因素的分析,对促进“西部大开发”和建设“兰西城市群”的顺利发展,合理规划高原河谷型城镇及改善该区域城镇生态与人居环境等方面具有重要的现实意义。

## 1 研究区概况

西宁市位于 36°14'—37°24' N, 100°53'—101°55' E, 是青海省省会,地处青藏高原东北部的黄河支流湟水河谷地,是黄土高原与青藏高原的地理接壤,农牧区及汉、藏文化的交融地带。西南与海南藏族自治州毗邻,东与平安县接壤,西与海晏县交界,北与门源和互助县相接。现辖大通回族土族自治县、湟中、湟源三县和城东、城中、城西、城北四个区以及正在建设的西宁(国家级)经济技术开发区、城南新区(属城中区)、海湖新区(图 1)。平均海拔 2295 m,四面环山,全市地貌以浅山丘陵和川水河谷阶地为主,受地形、海拔及水、热条件

影响,形成了川水、脑山及浅山等生态区域。西宁市属大陆性高原半干旱气候,以寒冷、干旱为主,年均温 6.1℃,年均降水量 400 mm,独特的气候属性导致当地河谷地带植被覆盖较低,植被生长缓慢。西宁市作为一座青藏高原区域性现代化中心城市,也是青藏高原对外联系的门户、青海省的交通枢纽和省内外物资的集散地,随着近几年该区域城镇化进程加快,在一定程度上对本地生态环境造成了扰动。

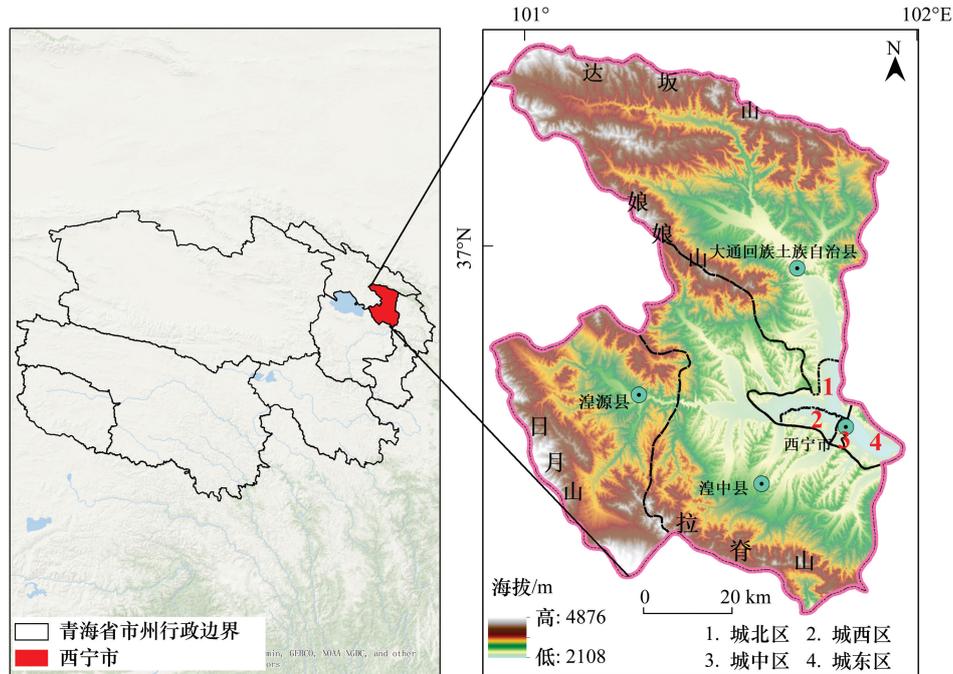


图1 研究区概况图

Fig.1 Overview of the study area

## 2 数据与方法

### 2.1 数据源与处理

本研究主要应用了土地覆盖数据和 EVI(Enhanced Vegetation Index) 遥感数据。其中土地覆盖数据来源于中国科学院生态环境研究中心全国土地覆盖与利用数据产品,土地覆盖分类精度为 80% 以上。EVI 较 NDVI 对高覆盖植被更具有敏感性、降低土壤背景影响、抗大气气溶胶等优势,同时可以更好地识别西宁市周边的耕地区域<sup>[24-25]</sup>,本文将采用 EVI 计算植被覆盖度。EVI 指数基于 Landsat TM/OLI 遥感影像,通过 Google earth engine 云计算平台进行除云、全年最大值运算、镶嵌、重投影和裁剪等流程获取了 16 天合成最大值 EVI,时间分辨率为 1 年(2000—2015 年),空间分辨率为 30m。

### 2.2 城镇化时空变化趋势分析

城镇化实质是一个土地可利用功能的变性过程<sup>[26]</sup>,土地城镇化是城镇化过程的一个重要表征,一般以建设用地或建设用地面积占研究区总面积比重来计算城镇化水平<sup>[27]</sup>。本文以建设用地面积占比表征城镇化水平,表达式为:

$$UR = \frac{S_{\text{人工表面}}}{S_{\text{总}}} \times 100\% \tag{2}$$

式中, $S_{\text{建设用地}}$  为研究区建设用地或建设用地面积, $S_{\text{总}}$  为研究区总面积, $UR$  为城镇化率。

此外,本研究采用建设用地面积变化率来表征城镇化速率,表达式为:

$$UCR = \frac{(S_{2015} - S_{2000})}{S_{2000}} \times 100\% \tag{3}$$

### 2.3 植被覆盖度及其变化趋势特征分析

植被覆盖度是指植被冠层在地面上的垂直投影面积与土地面积的百分比,是生态环境质量评价的重要手段<sup>[28-30]</sup>。为定量解析西宁市 2000—2015 年植被覆盖度的时空演变特征,本研究通过 Landsat-EVI,采用像元二分模型估算植被覆盖度<sup>[31]</sup>,并划分了覆盖等级。其公式为

$$Fc = \frac{EVI - EVI_{soil}}{EVI_{veg} - EVI_{soil}} \quad (4)$$

式中, $EVI_{veg}$ 是纯植被覆盖像元值,因受植被类型的影响,其值在不同的时空尺度上会发生改变,可结合土地利用图计算不同土地利用类型的  $EVI_{veg}$ ;  $EVI_{soil}$ 为纯土壤像元的 EVI 值。 $EVI_{soil}$ 的理论值应该接近零,但由于大气影响及地表温度、湿度、粗糙度、土壤类型等条件的不同, $EVI_{soil}$ 会随着时间和空间而变化<sup>[32]</sup>。因此,采用一个固定的  $EVI_{soil}$ 值是不可取的,通过对 Landsat 数据提取的 EVI 植被指数进行直方分布图分析,在 EVI 频率累积表上取一定频率的  $EVI_{soil}$ 和  $EVI_{veg}$ 。本文分别选取了 5%和 95%的置信度作为  $EVI_{soil}$ 和  $EVI_{veg}$ 的值。根据水利部 1996 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-96),同时参照邻市兰州市植被等级划分结果<sup>[33]</sup>,将西宁市植被覆盖度划分为四个等级:低植被覆盖度( $0 < Fc \leq 15\%$ )、中植被覆盖度( $15\% < Fc \leq 40\%$ )、中高植被覆盖度( $40\% < Fc \leq 70\%$ )和高植被覆盖度( $Fc > 70\%$ )。

本文基于像元对研究区植被覆盖度与年份进行回归分析,提供空间演变规律的指示信息,定量分析植被覆盖度时空变化趋势,探讨研究区近 15 年生态质量的时空变化差异。

$$Slope_{Fc} = \frac{n \sum_{i=1}^n i Fc_i - \sum_{n=1}^n i \sum_{i=1}^n Fc_i}{\sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (5)$$

式中, $n$ 为研究年数,本文  $n=16$ ;  $i$ 为 1- $n$  年的年序号;  $Fc_i$ 为第  $i$  年某像元植被覆盖度值;  $a$ 是研究区内植被覆盖度变化斜率,反映了在研究期间植被覆盖度的变化趋势。当  $Slope_{Fc} > 0$  时,表示植被覆盖度增加,即植被改善;当  $Slope_{Fc} = 0$  时,表示植被覆盖度没有发生变化;当  $Slope_{Fc} < 0$  时,则表示植被覆盖度降低,代表植被退化。同时,斜率绝对值越大,植被覆盖度增加的幅度越大,反之则增加的幅度越小。以  $Slope_{Fc}$ 作为植被覆盖度的变化斜率,对斜率的显著性检验采用  $t$  检验法,显著性水平设置为 0.05(表 1)。

表 1 植被覆盖度趋势变化分级表

Table 1 Gradation table of vegetation coverage trends

变化斜率 Slope	a>0	a<0	a=0	a>0	a<0
显著性 Significance	$P < 0.05$	$P < 0.05$	-	$P > 0.05$	$P > 0.05$
变化级别 Class	显著增加	显著减少	未变化	增加不显著	减少不显著

### 2.4 城镇化与植被覆盖度的关系分析

本研究分别以区县、格网尺度及格网下的缓冲区为研究单元,采用线性回归模型解析城镇化率对平均植被覆盖度、城镇化速率对各等级植被覆盖面积变化率的影响,进而探讨西宁市在城镇化过程中城市建设对生态质量的影响。具体而言,格网尺度上选择了 900 m×900 m 的格网窗口覆盖了整个研究区,分析了小尺度城镇化速率与各等级植被覆盖度面积变化率之间的关系;缓冲区划分主要以 2015 年建成区边界为基准,建成区以内为城内,建成区依次外扩 3 km 和 6 km 为城中、城外(根据建成外扩与邻近区县相邻的程度而设),最终划城内、城中和城外三个等级缓冲区,分析不同城镇化速率与不同等级植被覆盖度变化趋势的关系,揭示不同城镇化率对生态质量的影响。

## 3 结果分析

### 3.1 西宁市城镇化时空演变特征

西宁市建设用地主要集中在辖区东部的河谷地带(图 2),建设用地面积从 2000 年的 248.36 km<sup>2</sup>增长至

2015 年 343.74 km<sup>2</sup>,在此期间平均增长率为 2.40%,2005—2010 年建设用地变化速率较低,但到 2010—2015 年提高到近 3%。城镇化率也由 2000 年的 3.44%增至 2015 年的 4.76%,城镇化水平有所提高(表 2)。

表 2 2000—2015 年西宁市建设用地面积及城镇化率统计

Table 2 Statistics of developed land and urbanization rate in Xining from 2000 to 2015

年份 Year	建设用地面积 Developed land /km <sup>2</sup>	城镇化率 Urbanization rate /%	时间段 Period	年均增长率 Average annual change rate/%
2000	248.36	3.44	2000—2005	2.07
2005	279.17	3.87	2005—2010	1.60
2010	301.55	4.18	2010—2015	2.80
2015	343.74	4.76	2000—2015	2.40

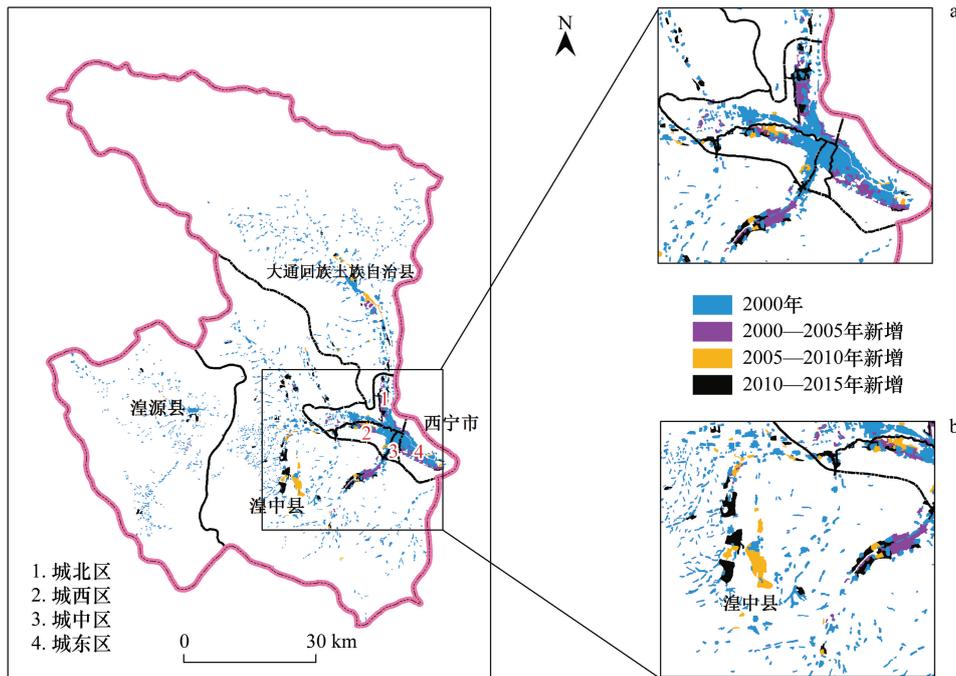


图 2 2000—2015 年西宁市建设用地变化空间分布

Fig.2 Spatial distribution of developed land changes in Xining from 2000 to 2015

a.西宁市辖区建设用地扩张;b.西宁市城南新区及湟中县建设用地扩张

从时空分布来看,西宁市市辖区内以 2000—2005 和 2010—2015 年新增建设用地为主(图 2),其中包括了城北区(生物科技产业园)、城东区(西宁(国家级)经济技术开发区)和城西区(商业区规划)的建设。其他三县建设用地扩张时间段以 2005—2010 年和 2010—2015 年为主,其中湟中县近 15 年净增加面积为各区县最高,约 44.23 km<sup>2</sup>(甘河滩工业区、塔尔寺旅游景点及城南新区建设)(图 2,图 3),其次为城北区和大通县,分别为 16.17 km<sup>2</sup>和 13.05km<sup>2</sup>。2000—2015 年,西宁市市辖区内的城中区建设用地面积始终保持稳定状态,建设用地年均变化率也仅有 0.14%,其他区县的建设用地面积均有不同程度的增加,其中,城北区增加最快(3.78%),其次为城西区和湟中县,分别是 3.38%和 3.17%(图 3)。截止 2015 年,城中区城镇化率最高达 54.29%,城西区、城北区和城东区城镇化率分别为 37.30%、31.47%和 27.76%,而湟中县、湟源县和大通县城镇化水平均较低(<6%)。

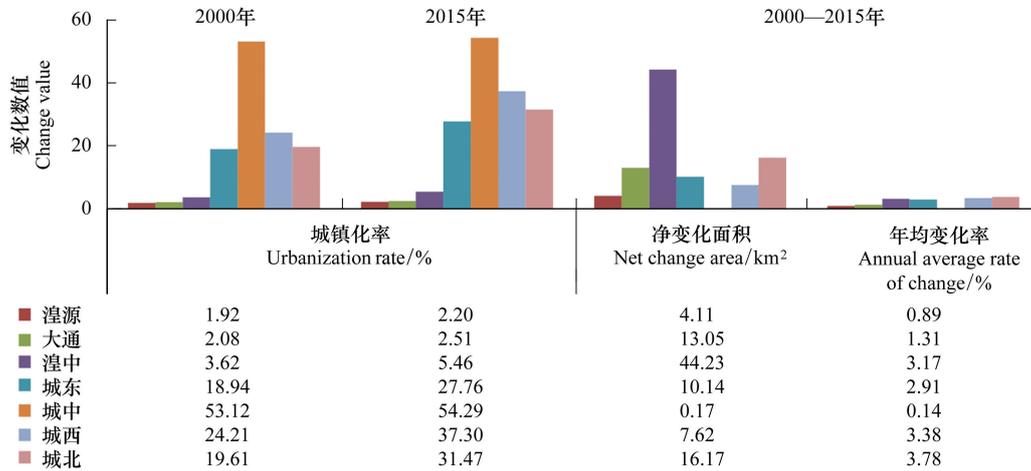


图3 2000—2015年西宁市各区县建设用地面积变化统计

Fig.3 Statistics on the change of developed land in various districts and counties of Xining from 2000 to 2015

### 3.2 西宁市植被覆盖度时空演变特征

#### 3.2.1 植被覆盖度时空变化趋势分析

2000—2015年西宁市平均植被覆盖度范围在53.74%—58.91%，整体呈上升趋势，但不显著( $P=0.565$ )。2000—2015年间，约3055.72 km<sup>2</sup>的植被覆盖度呈增加的趋势，占植被总面积的42.32%，其中大通县南部、湟源县及西宁市城北区境内均有植被覆盖度增加；约3.15% (227.2 km<sup>2</sup>)的区域有显著增加( $P<0.05$ )，零星分布于西宁市城区、湟中县和大通县境内川道、丘陵地带和高山草甸、林地，尤其是退耕还林(草)重点县——湟中县，这些增加区域主要与当地政府的退耕还林、退牧还草和封山育林等生态保护政策的实施有关。同时，西宁市绿地面积以及城郊区川道地带的绿化造林也体现了该区域植被覆盖增加的趋势(图4)。研究区内总体上以植被减少的区域居多，约为3532.08 km<sup>2</sup> (48.92%)，但不显著( $P>0.05$ )；植被退化明显的地区达365.75 km<sup>2</sup>，约占5.07%，分布于大通县北部的大黑山(巴拉哈图山)—宝库河—达坂山(高海拔地带)(图4)；0.55%的植被覆盖变化稳定区域位于西宁市主城区，面积约为39.56 km<sup>2</sup>。

#### 3.2.2 不同等级植被覆盖度时空变化分析

西宁市植被覆盖度总体上均呈现“东西低—南北高”的空间分布特征(图5)。自研究区北部的宝库河沿达坂山和宝库峡谷地，经中部农耕区至南部拉脊山北麓，形成较明显的高覆盖度植被带，包括大通回族土族自治县和湟中县等地，其中大通县最大的林区和草场(包括青海省的天然水源涵养林自然保护区、画屏山、达坂山林区)以及湟源县大黑沟森林公园和湟中县卡阳沟高山牧场等是其成为高植被覆盖带的主要原因之一；中高覆盖度的植被分布在高覆盖度植被的边缘地带，多为草甸和耕地，主要分布于宝库河沿岸草地、湟水河农业区以及日月山北麓等地区；中覆盖度植被有零星分布，主要位于地势较高的坡地、谷地和高山山麓等；低覆盖度植被区域分布相对集中且面积较小，主要位于西宁市主城区地带以及湟源、湟中和大通县城地带。此外，位于北部的达坂山(海拔5248 m)和南部毗邻贵德县的拉脊山(海拔4524 m)也是低植被覆盖区。

研究区内植被覆盖度主体为中高和高覆盖度植被，分别占植被总面积的34.34%和36.61%；低、中覆盖度植被分别占到了10.59%和18.45%。2015年高覆盖度区较2000年约增加了2.94%，面积增加最多的是中高覆盖度植被，低、中覆盖度区域分别减少了约1.92%和24%。植被覆盖度转移矩阵(图5,表3)显示，分布于北部地区的高覆盖度植被主要转化为中高覆盖度植被，转化比例约为11.53%；而转变为高植被覆盖度的来源以中、中高植被为主，综合转化比例14.18%，广泛分布于大通县、湟中县的农牧区，以及湟源县、西宁市城区丘陵地带。位于研究区东部的川道、丘陵地带则以低值被覆盖度转化为主，由低覆盖度转化为中、中高、高覆盖度

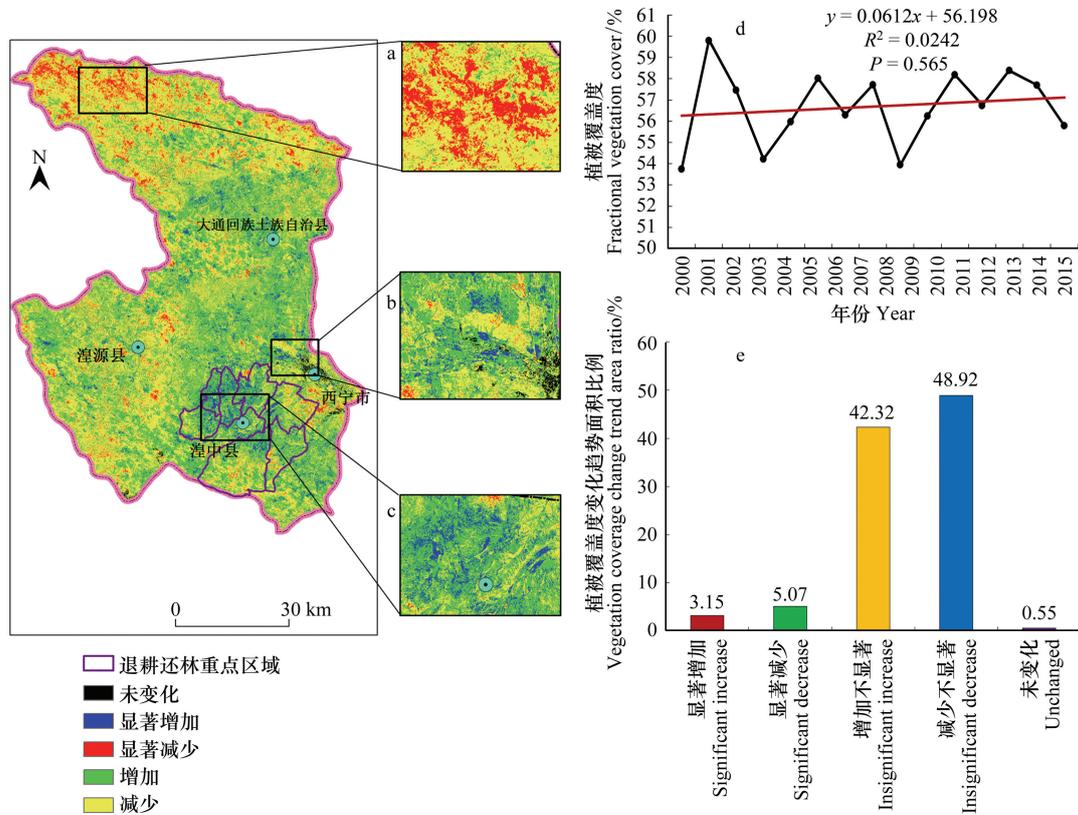


图 4 2000—2015 年西宁市植被覆盖度变化趋势空间分布

Fig.4 Spatial distribution of Fc change trends in Xining from 2000 to 2015

a.北部大坂山植被覆盖显著减少区域;b.中部西宁市城郊植被覆盖显著增加区;c.南部湟中县退耕(牧)还林(草)区植被覆盖显著增加区;d.植被覆盖度年际变化趋势;e.植被覆盖度变化趋势所在像元比例统计

的比例约为 6.76%;未变化区域一是集中分布在西宁市城区川道、河谷、周边丘陵过渡地带,二是广泛分布于北部(大通县境内)草原、林地和高山地带,约占总体变化的一半(49.15%)。

表 3 各等级植被覆盖面积比转移矩阵

Table 3 Vegetation coverage area ratio transfer matrix by different level

植被覆盖等级转化 Vegetation cover level conversion /%			2015			
			低植被 Low cover	中植被 Medium cover	中高植被 Medium-low cover	高植被 High cover
	各覆盖等级 植被占比/%	9.76	19.25	37.18	33.81	
2000	低植被	12.84	6.08	4.80	1.69	0.27
	中植被	19.63	2.17	7.43	7.67	2.36
	中高植被	34.68	0.82	5.77	16.28	11.82
	高植被	32.84	0.69	1.26	11.53	19.36

### 3.3 城镇化对植被覆盖度的影响

在区县尺度上,近 15 年西宁市各区县城镇化率与平均植被覆盖度呈显著负相关(图 6)。从植被覆盖变化率来看,只有中高覆盖度植被面积变化趋势与城镇化速率呈显著负相关,尤其当区域的城镇化率高于 35.76%左右,区域中高覆盖度植被面积变化率小于零,导致高质量植被面积减少(图6)。空间分布上,作为

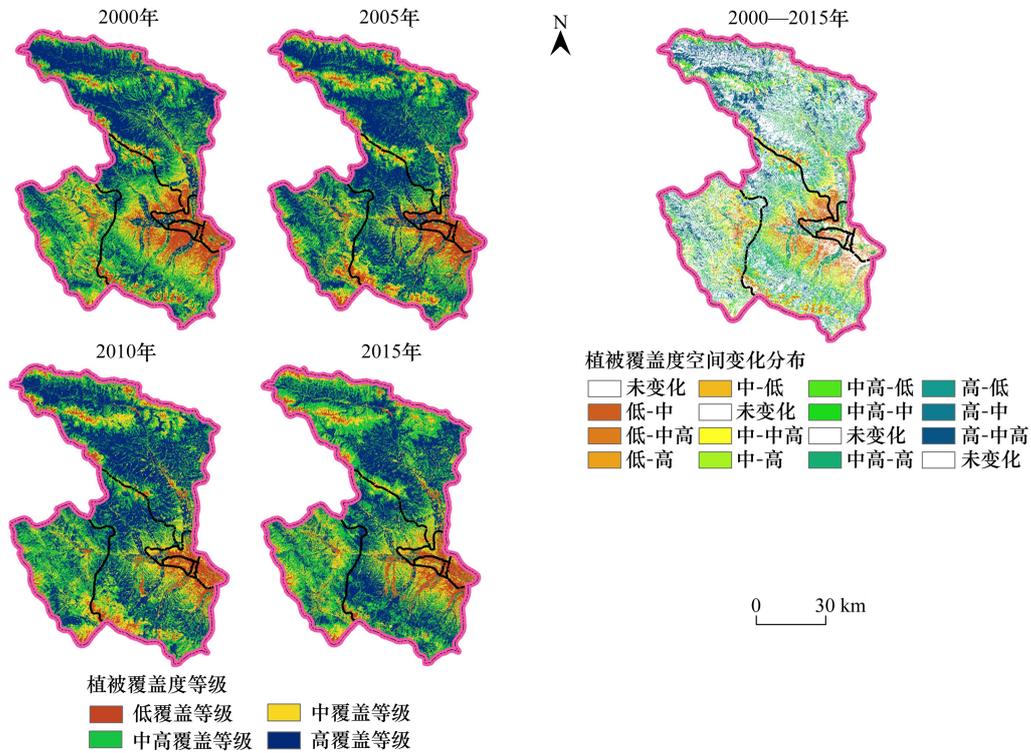


图 5 西宁市 2000—2015 年不同等级植被覆盖度空间分布

Fig.5 Spatial distribution of vegetation cover change in Xining

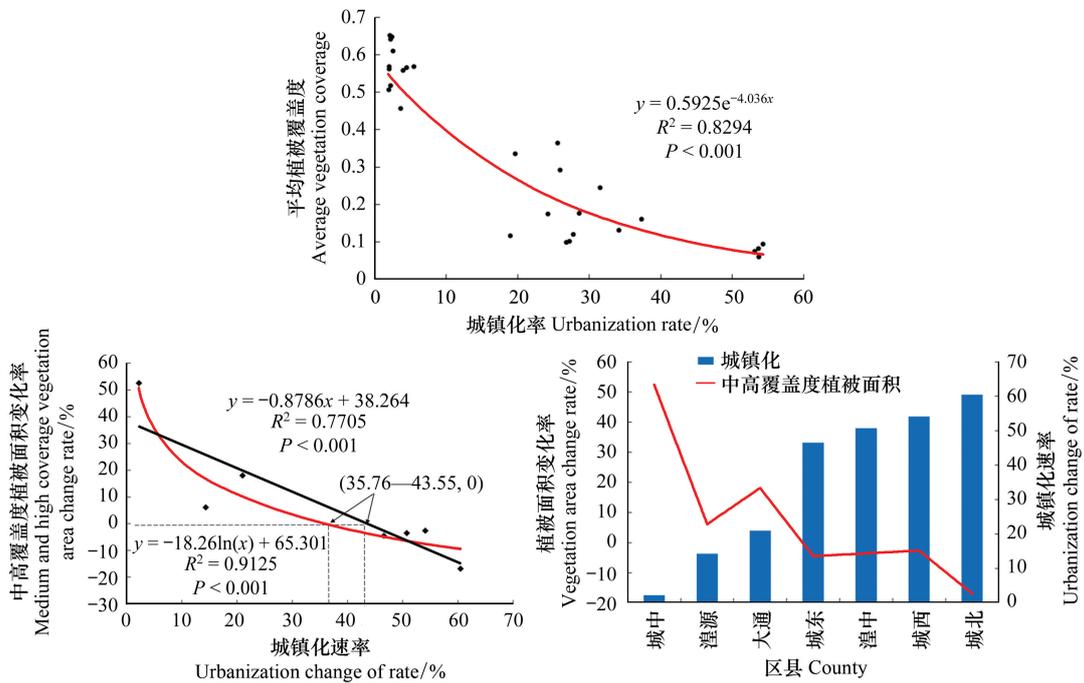


图 6 区县城镇化与平均植被覆盖度、中高覆盖度植被之间的关系

Fig.6 Relationship between urbanization and average VC and medium-high coverage vegetation in districts and counties

市中心的城中心区的城镇化速率有明显下降趋势(约 2%),中高覆盖度植被面积呈现高达 50%的增加趋势;湟源县

和大通县因远离市辖区,城镇建设强度弱于其他区县,中高覆盖度植被面积增加速率较低;在城镇化速率较高的城东区、城西区 and 湟中县,中高覆盖度植被变化趋势稳定,但依然呈现减少趋势(约-5%);城镇建设强度最高的城北区,中高覆盖度植被面积呈减少趋势(约-18%),该等级植被在城北区内受城镇建设的影响最大。

网格尺度分析城镇化率与平均植被覆盖度以及城镇化速率与各等级植被面积变化趋势的相关关系结果显示(图7),城镇化率与平均植被覆盖度存在显著的负相关( $P < 0.001$ )。在缓冲区内(图7),低覆盖度植被面积在城内(建成区)、城中和城外呈增加趋势( $P < 0.01$ ),且相关性逐渐减小,说明在建成区内部该类植被受到城镇建设活动的正面影响,在一定程度上说明了以低覆盖度植被为代表的城市内部生态环境质量逐步提升;中覆盖度植被仅在城中区域内与城镇化速率呈显著负相关;中高覆盖度植被在城内( $P < 0.01$ )和城中( $P < 0.05$ )与城镇化速率呈显著负相关;而高覆盖度植被在3个区域内与城镇化速率均呈显著负相关( $P < 0.01$ ),且城中、城外区域的相关性要高于建成区内部(表4),表明建成区外缘地带的城镇建设活动造成高覆盖度植被面积趋于减少。

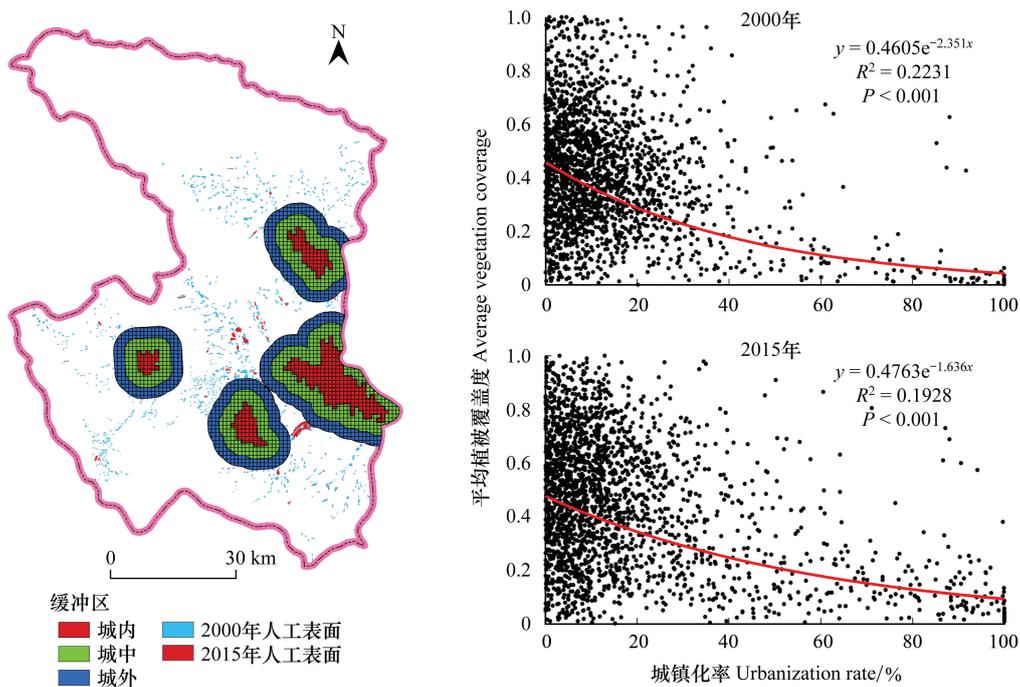


图7 城镇化率与平均植被覆盖度的关系和缓冲区划分

Fig.7 Relationship between urbanization rate and average vegetation coverage and buffer division

表4 缓冲区域城镇化速率与各等级植被覆盖度变化趋势的相关分析

Table 4 Correlation analysis between the urbanization change rate and the trend of vegetation coverage at all levels in the buffer

	各等级植被面积变化率 Vegetation area change rate by level/%	城镇化速率 Urbanization change of rate/%		
		城内 Inner	城中 Middle	城外 Outer
皮尔逊相关性 Pearson correlation	低覆盖度	0.321 **	0.272 **	0.156 **
	中覆盖度	0.032	-0.107 *	-0.004
	中高覆盖度	-0.183 **	-0.107 *	-0.004
	高覆盖度	-0.203 **	-0.274 **	-0.244 **

## 4 讨论

### 4.1 西宁市城镇化时空变化特征及其驱动因素

西宁市城市扩张受到地理位置、地形等影响较大,城市经济发展远落后于我国东中部中等城市,但在西部地区仍属于发展后劲比较强劲的城市之一。在国家实施“西部大开发”发展战略背景下(2000年起),青海省开始实施“十二五”城镇发展规划,全省逐步构建“一轴、一群、一带、一区”为骨架的城镇空间布局,西宁市正处于“一轴、一群”(兰青、青藏铁路主轴和兰西城市群)规划范围内,从而使得近15年城镇化速率不断提升。城市扩张类型的不同,如存在内部填充、更新、蛙跳及边缘扩张等多种变化类型<sup>[34]</sup>,导致各区县之间的发展程度不同。主要驱动因素包括国家政策实施<sup>[35]</sup>、经济增长<sup>[36-37]</sup>、人口流动<sup>[38]</sup>、道路交通的完善<sup>[39]</sup>等。如城中区位于省、市政治文化中心,二维平面的建设用地覆盖趋于饱和,当下城镇建设用地可能存在内部填充和更新的变化类型;城北区、城西区 and 湟中县依托国家级/省级经济开发区、多巴新城规划、工业园区以及5A级旅游景点(塔尔寺)等政策性推动和作用下,其建设用地变化类型可能包括边缘扩张、蛙跳等。城镇建设用地变化类型及其驱动因子,还需要结合多源数据(如统计数据、POI等),在多空间和时间尺度下加以进一步分析和探讨。

### 4.2 城镇化对生态环境质量的影响

研究区以中高和高植被覆盖度为主体,各等级植被覆盖度在空间上呈现“东西低—南北高”的特征,高覆盖度植被主要分布在大通县境内,低覆盖度植被主要分布在西宁市市辖区及周边丘陵地带。从2000—2015年植被覆盖度的时空变化趋势来看,呈现“南增北减”的空间特征,平均植被覆盖度年际变化呈增加趋势但不显著。北部显著减少区域(365.75 km<sup>2</sup>)主要分布于大通县北部的巴拉哈图山—宝库河—达坂山,该区域远离城镇及人口密集区,并处于高寒草甸地带,这类植被覆盖的变化可能与气候因子和牧区人类活动有关。生态保护工程和城镇化是导致植被覆盖度变化的主要因素之一。南部显著增加区域(365.75 km<sup>2</sup>)集中分布于湟中县境内退耕(牧)还林(草)重点实施区,另外散布于市辖区河谷川道中(图4)。

城镇化率在区县和格网尺度下对平均植被覆盖度持续产生负面影响,整体生态环境质量也在下降;城镇化速率在区县尺度中与中高覆盖度植被面积变化呈显著负相关,并且城镇化速率达到一定程度后,中高覆盖度植被变化趋势由增加转变为减少。其中,不同驱动因素导致建设用地的变化,使得各区县城镇化速率存在差异,对植被覆盖度的变化可能有着不同程度的间接影响。如城中区作为核心区域,基本建设活动强度较低,周边绿地建设活动不断加强,而湟中县、城西区 and 城北区以建设经济开发区和拓展城镇边界为主,故中高覆盖度植被面积变化趋势总体趋于减少。在格网尺度下,城镇化速率对高覆盖度植被面积变化存在显著负面影响,城镇建设伴随的建设用地不断扩张导致建成区外缘地带的植被覆盖度降低,具体表现为侵占了大量的耕地和林地资源,造成植被覆盖度降级,对生态环境质量产生负面影响。而城镇化速率与低覆盖度植被面积变化趋势呈显著正相关,表明该区域在城镇化进程中逐渐重视绿地建设、管理与维护等工作,改善了城镇内部的生态环境质量。以低覆盖度植被为代表的园林绿地等作为城镇区域自然生态系统的重要组成部分,也是表征城区生态环境质量的因子之一。

## 5 结论

本文选取2000—2015年,基于Landsat TM/OLI遥感影像,采用Google Earth Engine平台和GIS/RS,针对西宁市城镇化和植被覆盖度的时空演变特征,定量分析了城镇化与植被覆盖度的关系,主要结论如下:

(1) 2000—2015年,西宁市建设用地面积急剧扩张,年均增幅为2.40%,总体城镇化水平为4.76%;各区县城镇化程度差异较大,城北区建设用地面积年均变化速率最高(3.78%),湟中县净增加面积最高(44.23 km<sup>2</sup>),城中区城镇化率最高(54.29%)。

(2) 西宁市平均植被覆盖度呈增加趋势但不显著( $P=0.57$ )。植被覆盖度以中高和高植被覆盖度为主,

空间上呈现“东西低—南北高”的分布特征。湟中县境内退耕(牧)还林(草)区的植被覆盖度显著增加,说明生态恢复工程产生明显效果。

(3)区县尺度上,城镇化速率与中高覆盖度植被面积变化趋势呈显著负相关( $P<0.01$ ),尤其是当城镇化速率超过 35.76—43.55%,中高覆盖度植被面积有明显下降,发展程度和区位条件的差异是影响中高覆盖度植被的主要因素。

(4)格网尺度上,各缓冲区内城镇化速率与低覆盖度植被的面积变化趋势呈显著正相关( $P<0.01$ ),表明城镇区域生态质量有所改善,与城区绿地建设活动有着密切关系;而城镇化速率与其他高等级覆盖度植被面积变化趋势在各缓冲区内呈显著负相关( $P<0.01$ ),表明西宁市建成区扩张并侵占林地、耕地资源导致了植被覆盖度降级。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 赵伟,文凤平,张林波,高艳妮,何珏霖.厦门市绿色植被降温服务功能核算及其时空动态特征.环境科学研究,2019,32(1):85-94.
- [ 2 ] Kong L Q, Zheng H, Rao E M, Xiao Y, Ouyang Z Y, Li C. Evaluating indirect and direct effects of eco-restoration policy on soil conservation service in Yangtze River Basin. Science of the Total Environment, 2018, 631-632: 887-894.
- [ 3 ] Li P, Sheng M Y, Yang D W, Tang L H. Evaluating flood regulation ecosystem services under climate, vegetation and reservoir influences. Ecological Indicators, 2019, 107: 105642.
- [ 4 ] 王少剑,方创琳,王洋.京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度.生态学报,2015,35(7):2244-2254.
- [ 5 ] 杨光梅,闵庆文.内蒙古城市化发展对生态环境的影响分析.干旱区地理,2007,30(1):141-148.
- [ 6 ] Li Y R, Cao Z, Long H L, Liu Y S, Li W J. Dynamic analysis of ecological environment combined with land cover and NDVI changes and implications for sustainable urban-rural development: the case of Mu Us Sandy Land, China. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 697-715.
- [ 7 ] 贾坤,姚云军,魏香琴,高帅,江波,赵祥.植被覆盖度遥感估算研究进展.地球科学进展,2013,28(7):774-782.
- [ 8 ] 肖骁,李京忠,韩彬,丞承鹏,薛冰.东北老工业区植被覆盖度时空特征及城市化关联分析.生态科学,2017,36(6):71-77.
- [ 9 ] 梁尧钦,曾辉,李善.深圳市大鹏半岛土地利用变化对植被覆盖动态的影响.应用生态学报,2012,23(1):199-203.
- [ 10 ] 刘林,马安青,马启敏.滨海半城市化地区植被覆盖度的时空变化——以青岛市崂山区为例.环境科学与技术,2012,35(1):178-185.
- [ 11 ] Yao R, Cao J, Wang L C, Zhang W W, Wu X J. Urbanization effects on vegetation cover in major African cities during 2001-2017. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2019, 75: 44-53.
- [ 12 ] Nowak D J, Greenfield E J. Tree and impervious cover change in U.S. cities. Urban Forestry & Urban Greening, 2012, 11(1):21-30.
- [ 13 ] 米文宝,刘小鹏,王亚娟.宁夏南部山区退耕还林还草后续产业发展的初步研究.水土保持研究,2005,12(1):91-94.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] 王坤,周伟奇,李伟峰.城市化过程中北京市人口时空演变对生态系统质量的影响.应用生态学报,2016,27(7):2137-2144.
- [ 16 ] Zhao S Q, Liu S G, Zhou D C. Prevalent vegetation growth enhancement in urban environment. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2016, 113(22):6313-6318.
- [ 17 ] 白硕,杨永春,史坤博,杨欣傲,柳煜.中国西部河谷型城市土地利用效益与城市化耦合协调发展研究.世界地理研究,2016,25(6):87-95.
- [ 18 ] 杨永春.中国西部河谷型城市发展及其环境问题.山地学报,2004,22(1):40-47.
- [ 19 ] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, Redman C L, Wu J G, Bai X M, Briggs J M. Global change and the ecology of cities. Science, 2008, 319(5864):756-760.
- [ 20 ] 王伟军,赵雪雁,万文玉,李花,薛冰.2000-2014年甘南高原植被覆盖度变化及其对气候变化的响应.生态学杂志,2016,35(9):2494-2504.
- [ 21 ] 卓嘎,陈思蓉,周兵.青藏高原植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应.生态学报,2018,38(9):3208-3218.
- [ 22 ] 陈效速,王恒.1982-2003年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化.地理学报,2009,64(1):84-94.
- [ 23 ] Feng L L, Jia Z Q, Li Q X, Xu K. Fractional vegetation cover estimation based on MODIS satellite data from 2000 to 2013: a case study of Qinghai Province. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2016, 44(2):269-275.
- [ 24 ] 左丽君,张增祥,董婷婷,汪潇.MODIS/NDVI和MODIS/EVI在耕地信息提取中的应用及对比分析.农业工程学报,2008,24(3):167-172.

- [25] 杨嘉, 郭锐, 贾建华. 西北地区 MODIS/NDVI 与 MODIS/EVI 对比分析. 干旱气象, 2007, 25(1): 38-43.
- [26] 楼江. 城市化过程中的土地管理方法与实务. 南京: 东南大学出版社, 2004.
- [27] 吕萍, 周滔, 张正峰, 田卓. 土地城市化及其度量指标体系的构建与应用. 中国土地科学, 2008, 22(8): 24-28, 42-42.
- [28] 王静, 周伟奇, 许开鹏, 颜景理. 京津冀地区城市化对植被覆盖度及景观格局的影响. 生态学报, 2017, 37(21): 7019-7029.
- [29] 王兮之, 陆龙, 梁钊雄. 青海湟水流域植被覆盖度时空变化分析. 水土保持研究, 2010, 17(6): 172-176.
- [30] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 周海丽. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究. 植物生态学报, 2001, 25(5): 588-593.
- [31] 刘广峰, 吴波, 范文义, 李晓松, 范楠楠. 基于像元二分模型的沙漠化地区植被覆盖度提取——以毛乌素沙地为例. 水土保持研究, 2007, 14(2): 268-271.
- [32] 赵翠娥, 丁文荣. 基于 ENVI 和 GIS 技术的龙川江流域植被覆盖度动态监测. 林业调查规划, 2013, 38(5): 14-18, 44-44.
- [33] 李娟. 兰州市南北两山植被覆盖度动态变化遥感监测. 矿山测量, 2010, (1): 34-37.
- [34] He Q S, Zeng C, Xie P, Tan S K, Wu J Y. Comparison of urban growth patterns and changes between three urban agglomerations in China and three metropolises in the USA from 1995 to 2015. Sustainable Cities and Society, 2019, 50: 101649.
- [35] 吉敏全. 西宁市工业园区对地方经济的贡献分析. 中国城市经济, 2010, (5): 225-227.
- [36] 杜瑾. 西宁市城镇化与经济增长的相关性分析. 襄阳职业技术学院学报, 2018, 17(5): 77-81.
- [37] 辛婷业. 青海省城镇化水平时空演变及成因分析[D]. 西宁: 青海师范大学, 2018.
- [38] 张炜. 西宁市人口结构变化对经济发展的影响及对策[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [39] 黄建中, 吴萌, 张乔. 基于交通情景模拟的西宁市空间发展战略研究. 城市规划, 2014, 38(7): 42-47, 56-56.