

DOI: 10.5846/stxb201805301195

李薇, 谈明洪. 西南山区人口空间重组及其对植被的影响——以河流沿线为例. 生态学报, 2018, 38(24): - .

Li W, Tan M H. Spatial redistribution of populations in mountainous areas and its impact on vegetation change in southwest China: A riverside case study. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(24): - .

西南山区人口空间重组及其对植被的影响 ——以河流沿线为例

李 薇^{1,2}, 谈明洪^{1,3,*}

1 中国科学院地理科学与资源研究所/中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101

2 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100190

3 中国科学院大学国际学院, 北京 100190

摘要: 随着城市化的快速推进, 山区人口迁出及空间重组成为影响中国山区人地关系的重要因素, 这可能会对山区植被恢复和生态改善产生巨大影响。基于人口空间数据、河流分布数据和 MODIS 数据, 本文分析了河流沿线人口空间重组情况, 以生长季 EVI 值为表征植被绿度的指标, 采用基于像元的趋势分析方法和基于样本的相关分析模型, 对 2000—2010 年间中国西南山区不同级别河流沿线的人口空间变化和植被变化作了系统性分析, 并定量研究了人口空间重组与植被变化之间的关系。结果表明: (1) 三级及以上河流出现人口往河流沿线聚集的趋势, 人口在河流的影响区聚集程度大于对比区。其中, 一级和二级河流沿线影响区人口密度增加量比对比区分别高 75.9% 和 42.1%。(2) 三级及以上各河流沿线影响区和对比区 EVI 均呈现出增加的趋势, 且影响区增加趋势低于对比区。(3) 植被 EVI 变化趋势与人口密度变化呈负相关关系, 河流沿线人口密度增加不利于植被的恢复; 河流级别越高, 植被 EVI 变化趋势与人口密度变化的相关性越强。

关键词: 人口空间重组; 植被变化; EVI; 河流沿线; 西南山区

Spatial redistribution of populations in mountainous areas and its impact on vegetation change in southwest China: A riverside case study

LI Wei^{1,2}, TAN Minghong^{1,3,*}

1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences / Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Beijing 100101, China

2 College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

3 International College, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: With the rapid advancement of urbanization, population redistribution has become one of the factors affecting the human-land relationship and the restoration of vegetation and ecological improvement in mountainous areas of China. Using population distribution data, river system data, and MODIS data, this paper systematically analyzed the spatial changes in population and vegetation greenness along the different grades of the river in the mountainous areas in southwest China from 2000 to 2010. Then, the relationship between population spatial redistribution and vegetation change was quantitatively analyzed. The results showed that: (1) Population density along the rivers of Grade 3 and above had a higher increase rate in the affected areas compared with the comparison areas. The increase rates of population density in the affected areas were 75.9% and 42.1% higher than those of the comparison areas, along the primary and secondary rivers, respectively. (2) The EVI (Enhanced Vegetation Index) increased in both the affected and the comparison areas along the rivers of Grade 3 and

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC0502103); 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2015CB452705); 国家自然科学基金 (41771116)

收稿日期: 2018-05-30; **修订日期:** 2018-11-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tanmh@igsnrr.ac.cn

above. The increase of EVI in the comparison areas were higher than those in the affected areas. (3) The trend of EVI variation had a negative relationship with the changes in population density, indicating that the increase in population density along the rivers influenced the improvement of the vegetation cover. For the rivers with higher grade, the correlation between population density change and the trend in EVI variation was stronger.

Key Words: population spatial redistribution; vegetation change; EVI; River; mountain areas in southwest China

中国是世界上人口最多的发展中国家,正在经历人类历史上最大规模的城乡人口迁移^[1-2]。山区人口的减少可能会减轻生态系统的压力,对植被覆被状况的改善具有显著促进作用^[3-4]。在墨西哥中部^[5],巴西南部^[6],Costa Rica^[7]等地区的实证研究都表明了这一点。一方面,劳动力人口迁出会造成迁出地农地撂荒的增加^[8],从而促进植被恢复。另一方面,人口压力降低减少了人类活动对植被的扰动,如放牧强度降低和森林砍伐减少,进而促进植被状况的恢复^[9]。类似地,在中国,有研究发现人口压力减轻对生态系统具有积极作用^[3,10-11]。例如,Cao 等^[11]研究了 20 世纪 80 年代以来人类活动、气候变化和社会经济发展对生态恢复的贡献,发现人口减少是影响生态恢复的重要因素,Li 等^[12]在中国山区人口变化对植被绿度影响的研究中提到人口迁出对植被绿化具有正向影响。

MODIS 归一化植被指数 (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) 和增强植被指数 (EVI, Enhanced Vegetation Index) 是反映植被状况的重要指标,也是目前被用于监测植被的主要参数^[13]。NDVI 是目前运用较多的指标,国内外学者用该指数对区域乃至全球尺度的植被状况的变化进行了分析^[14-16]。由于 NDVI 在高植被覆盖区存在着易饱和的问题^[17],EVI 在 NDVI 的基础上进行了算法和合成方法的改进^[18-19],不仅能更好地表达高植被覆盖区植被的状况^[20],而且也在植被稀疏地区对植被有更强的区分能力^[21],能更加客观地反映岩溶地区的植被特征^[19]。近年来,不少研究揭示了中国范围植被变化具有较强的空间差异性^[9,13,18,22],植被状况变化的原因也受到了广泛关注^[23],这些研究重点分析了自然因素与植被变化的关系,例如探究 NDVI 变化及其与气温和降水之间的相关关系^[10,24]。此外,有学者开始探讨人类活动对植被变化的影响,例如,Wang 等^[25]在分析气候和人类活动对中国南方山区植被变化的影响时,用回归方程的残差来表达人类活动的影响。这种方法只能粗略得到人类活动的正负影响情况,无法分辨人类活动的类型、强度和贡献程度。综上所述,这些研究有助于我们对植被绿度变化状况及其影响因素的理解,但是,对于人类活动对植被的影响类型和方式的探究存在着较大不足。

山区是我国主要的地貌类型之一,全国约有 2/3 的面积属于山地。山区生态环境脆弱,水土流失严重。因此,山区的生态环境问题成为地理学、生态学等学科研究的焦点之一。西南地区位于我国地势第一级和第二级阶梯的过渡地带,也是我国重要的生态过渡区。该区境内包括云贵、川西高原、四川盆地、横断山脉等不同地貌,也是我国喀斯特地貌分布的主要区域。该区域人类活动强,石漠化严重、人地关系矛盾尖锐^[26]。在调查中,我们发现西南山区人口空间重组现象非常明显,有向河流沿线沟谷地带迁移的趋势。那么,如何定量表达这种人口迁移特征,这样的迁移会对山区植被产生什么样的影响?

本文以西南山区为例,利用 MODIS 数据分析该区域 EVI 的变化特征。考虑到人口普查数据较为准确和全面,研究时段定为 2000—2010 年。论文重点分析了该区各级河流影响区和对比区人口空间变化特征,并分析了人口空间重组对当地植被状况的影响。这有利于加深我们对植被变化和人口变化之间关系的理解,同时,还能为该区域生态环境治理和恢复、合理引导山区人口的空间转移提供参考^[3]。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

西南山区总面积达 112.1 万 km²,介于 97.34°—110.15°E,21.14°—34.30°N 之间,包括云南、贵州、四川和

重庆4省(市),其中山区面积比重分别为95.0%、95.1%、94.7%和86.9%^[27]。该区是我国地形较为复杂的地区之一,地势西高东低,集中了高原、山地、丘陵、盆地和平原等地貌类型^[28](本文剔除掉了四川盆地地区)。区域内河网密布,具有丰富的森林草地资源和水资源,同时该地区也是我国少数民族和贫困人口集中的地区。在2000—2010年间,西南山区总人口下降了49.0万,而乡村人口下降人数达到2507.2万,区域内人口空间重组现象十分显著。

1.2 数据与预处理

本研究所涉及的数据主要有MODIS EVI数据、河流分布基础数据、人口空间分布数据。

MODIS EVI数据为2000—2010年逐月EVI值,空间分辨率为250 m,时间分辨率为16 d,来源于NASA平台提供的植被指数产品MOD13Q1^[29]。本文用每年4—10月份的EVI均值代表当年EVI的均值。

1—5级河流矢量数据来源于国家基础地理信息系统1:400万河流分布基础数据。

人口空间分布数据的模拟主要基于人口普查数据、夜间灯光影像数据^[30]和土地利用数据。在全国尺度上,结合灯光强度和土地利用数据,将县级人口普查数据分配到栅格尺度上^[31],栅格图的空间分辨率为1 km。

2 研究方法

2.1 各级河流的缓冲区分析

从全国河流数据库中提取西南地区各级河流的分布数据,为探究河流沿线人口空间重组情况,本文将各级河流的沿线区域确定为人口重组发生的重点区域,即人口重组的影响区。同时,针对该影响区做出一定的缓冲区域作为人口重组的对比区,进而比较影响区和对比区人口密度变化的差异。

本文共有5个河流等级,各级河流影响区和对比区范围半径也各不相同(图1)。一级河流主要包括长江、金沙江、南盘江和澜沧江,其河流影响区为河流两岸5 km范围内区域,相应对比区为该影响区周边半径为5 km的缓冲区域。二级河流主要包括雅砻江、怒江、礼社江和元江,影响区为河流两岸4 km范围内区域,其对比区为影响区外半径为4 km的缓冲区域。类似地,3—5级河流的影响区分别为3 km、2 km和1 km,对比

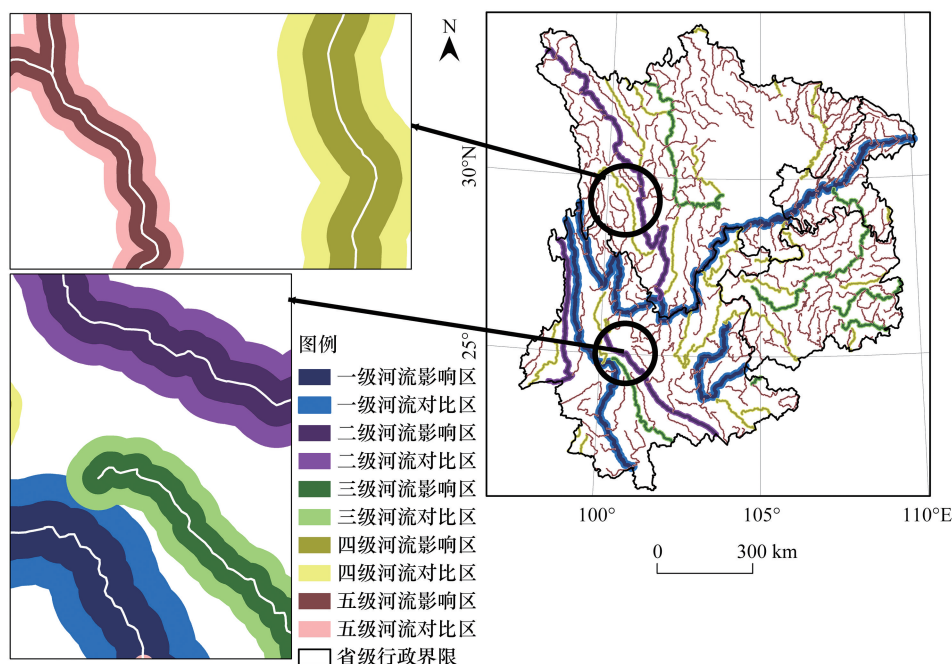


图1 西南山区河网分布图

Fig.1 The distribution of river network in mountainous areas of southwest China

区的设置类似。

2.2 趋势线分析

本文采用趋势线分析方法对 2000—2010 年 EVI 的变化趋势进行分析,即自变量为时间,对 EVI 进行一元线性回归分析。若回归系数为负,即 EVI_Slope (斜率) 小于 0,说明此变量在研究时段呈减小趋势,其绝对值越大变量减小趋势越明显;反之呈增加趋势^[3,10,32-33]。计算公式如下:

$$EVI_Slope = \frac{y \sum_{i=1}^y i \cdot EVI_i - \sum_{i=1}^y i \sum_{i=1}^y EVI_i}{y \sum_{i=1}^y i^2 - \left(\sum_{i=1}^y i \right)^2} \quad (1)$$

式中, EVI_Slope 为研究时段 EVI 的变化趋势; y 为研究时段年数, i 为第 i -th 年, i 值为 1 到 11。

2.3 样本选择

本文采用随机抽样法在主要河流(一级河流和二级河流)影响区和对比区均匀选择样点(一级河流影响区和对比区、二级河流影响区和对比区样本量分别为 372、432、385 和 405),一级河流影响区和对比区、二级河流影响区和对比区各样本分别是半径为 3 km 和 2 km 的圆形区域,样本之间不重叠(图 2)。统计各样本的人口密度变化和 EVI 变化趋势,对河流影响区、对比区的人口密度变化与 EVI 变化趋势进行相关分析。为真实反映植被状况,本文分析 EVI 变化趋势时,剔除了范围内建设用地和水域部分。

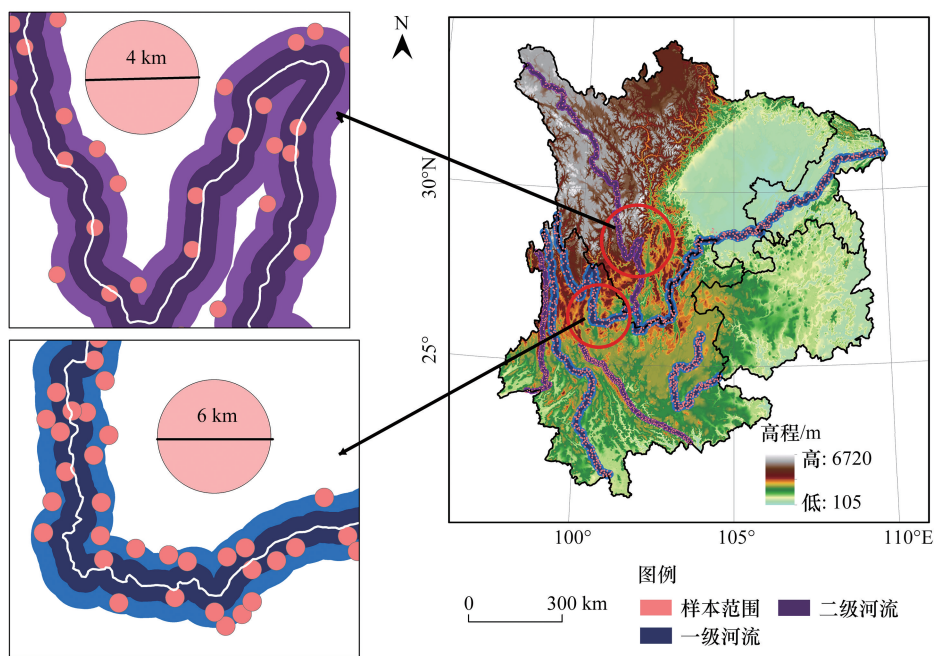


图 2 相关分析样本分布图

Fig.2 Spatial distribution of samples for correlation analysis

3 结果与分析

3.1 西南山区河流沿线 2000—2010 年人口重组状况分析

本文通过对比各级河流影响区和对比区 2000—2010 年人口密度变化,来探索西南山区人口空间重组特征。整体上看,一级和二级河流沿线影响区和对比区人口密度均增加,但是影响区人口密度增加远大于对比区。一级河流影响区增加量对比区增加量高出 75.9%,这个比例在长江、金沙江、澜沧江和南盘江分别为 92.8%、92.7%、45.3%和 72.7%(图 3)。二级河流影响区增加量对比区高出 42.1%,其中怒江和元江分别高出了 72.4%和 54.0%(图 3)。总的来说,在一级和二级河流,人口出现了往河流沿线聚集的趋势,且人口在河

流沿线的影响区聚集程度大于对比区。

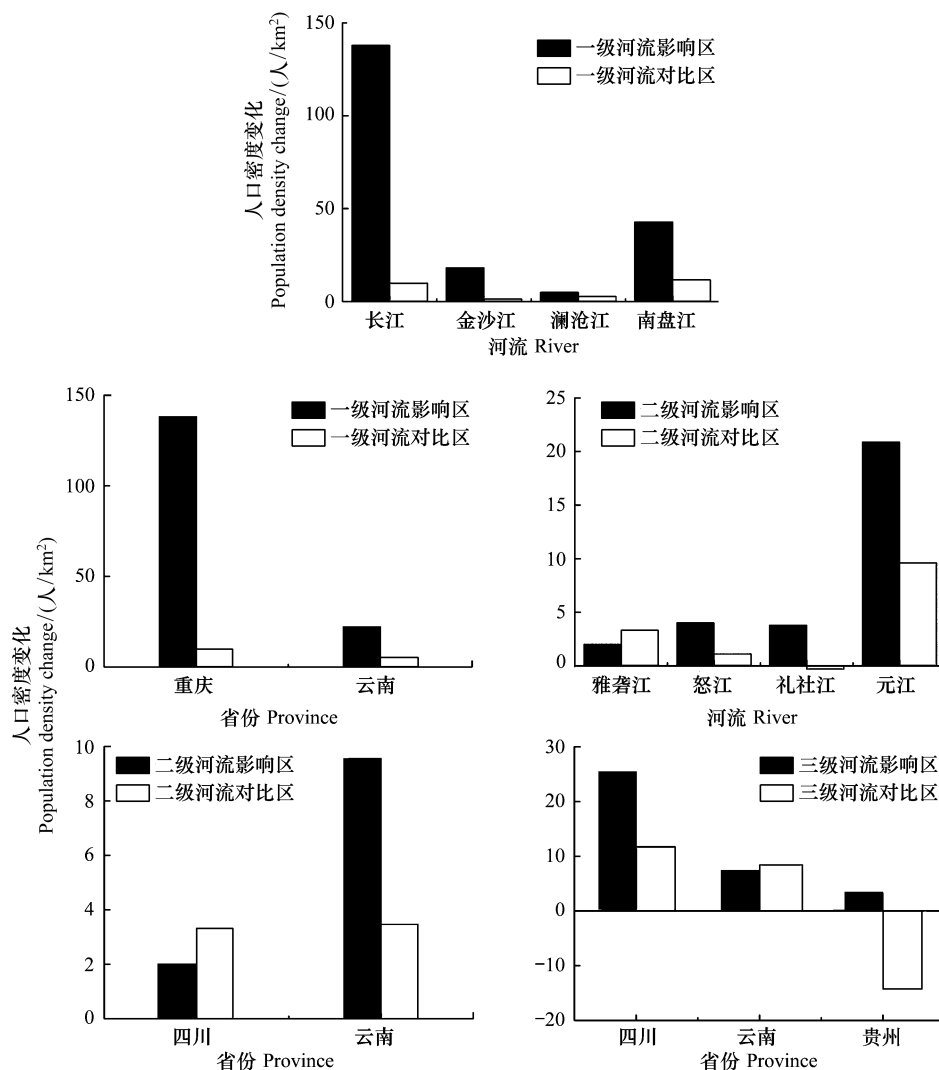


图3 西南山区三级及以上河流人口密度空间变化情况

Fig.3 Spatial variation of the population density in rivers of Grade 3 and above and in different provinces in mountainous areas of southwest China

从三级以上河流分省情况对比来看,一级河流人口向河流沿线集中趋势明显,影响区远大于对比区,这在重庆市更为明显,影响区人口密度增加对比区高出 92.8%,而云南省影响区对比区高出 76.1%。二级河流也出现类似的规律,其中云南省内河流沿线影响区对比区高出了 63.7%。例外的是,四川省境内的雅砻江处于川西高原,海拔较高,影响区和对比区人口密度增加量较小。

四川省和云南省境内的三级河流沿线人口密度均增加,其中四川省境内影响区对比区人口增加程度高出 53.7%,云南省则对比区比影响区高出 16.2%,贵州省影响区人口聚集而对比区人口密度减少,人口外迁显著。由此可见,四川、重庆和云南三级以上河流沿线影响区人口均增加,且一二级河流影响区增加幅度远大于对比区,贵州省境内三级河流沿线影响区人口也是增加的,但对比区人口增加幅度小。

位于贵州省的乌江、鸭池河、清水江、三岔河河流沿线人口密度均呈现减少趋势,这些河流流经地区地形较复杂,因此河流沿线人口聚集难度大。

四级和五级河流沿线人口在贵州、四川和云南省都有不同程度的增加,重庆市存在减少的现象(图 4)。

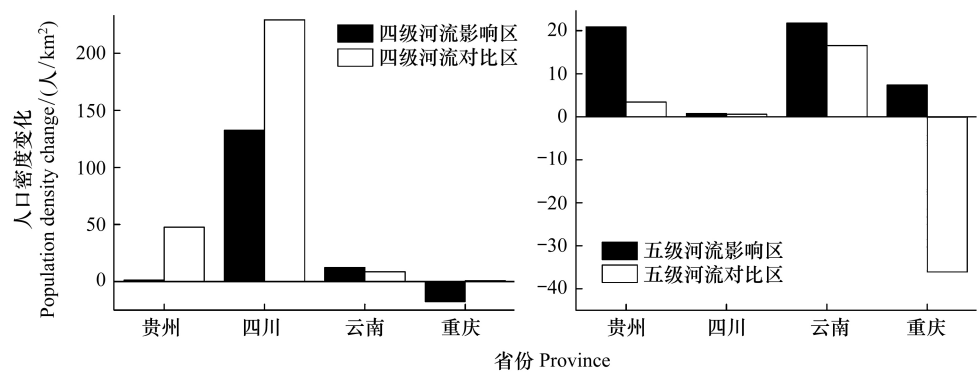


图 4 西南山区各省市四、五级河流人口密度变化对比

Fig.4 Comparison of spatial variation of the population density of the fourth and fifth-Grade rivers at the provincial level

3.2 西南山区植被指数变化

2000—2010 年西南山区约 73.7%的地区 EVI 表现为增加的趋势。负值区域主要集中在西部邻接横断山脉和云南高原的部分地区,这些地区 EVI 有下降的趋势。

从各级河流 EVI 变化趋势图(图 5)可知,三级及以上河流沿线影响区和对比区 EVI 均呈现出增加的趋势,且影响区增加趋势低于对比区。一级河流中,长江、金沙江、澜沧江和南盘江对比区 EVI 变化趋势分别比影响区高出 16.3%、34.1%、44.7%和 64.7%。二级河流中,EVI 变化趋势对比区比影响区高 51.9%,其中礼社江高出了 75.7%。三级河流中,EVI 变化趋势对比区比影响区高 17.0%。

四级河流和五级河流沿线 EVI 变化趋势在西南山区各省市都呈现出增加的趋势(图 6),且影响区增加幅度小于对比区域。例外的是,在重庆境内的四级流域沿线影响区 EVI 增加趋势较对比区更加明显。

3.3 人口空间变化与植被变化的关系

本文采用 Spearman 相关分析的方法分析人口密度变化和植被变化的相关关系,来探讨人口空间变化对植被的影响情况。在区域内主要河流(一级和二级河流)所在范围随机均匀选择样本,对各样本区域内人口密度变化和 EVI_Slope 平均值进行相关分析,两者相关关系结果如表 1 所示。

表 1 人口密度变化与 EVI 变化趋势相关性分析

Table 1 Correlation analysis of changes in population density and trend of EVI variation

样本区域 Sample areas	样本量 Number of samples	斯皮尔曼相关 Spearman	
		相关系数 Correlation coefficient	Sig.
一级河流影响区 Affected areas of first-Grade river	372	-0.352 ***	0.000
一级河流对比区 Comparison areas of first-Grade river	432	-0.421 ***	0.000
二级河流影响区 Affected areas of second-Grade river	385	-0.184 ***	0.000
二级河流对比区 Comparison areas of second-Grade river	405	-0.163 ***	0.001

***. 表示在 0.001 水平(双侧)上显著相关

表 1 显示,一、二级河流影响区和对比区人口密度变化与 EVI 变化趋势均表现出显著相关性,显著性水平为 0.001。统计结果表明,植被 EVI 变化趋势与人口密度变化呈负相关关系,说明河流沿线人口密度的增加不利于植被恢复。且河流级别越高,植被 EVI 变化趋势与人口密度变化的相关系数越高。

4 结论与讨论

在中国快速城市化背景下,山区人口迁出现象显著,人口数量的变化对区域环境的作用明显^[34-35]。我们调查发现,山区存在大量人口空间重组现象,且具有明显的规律性:人口向河流沿线集中趋势明显。本文基于

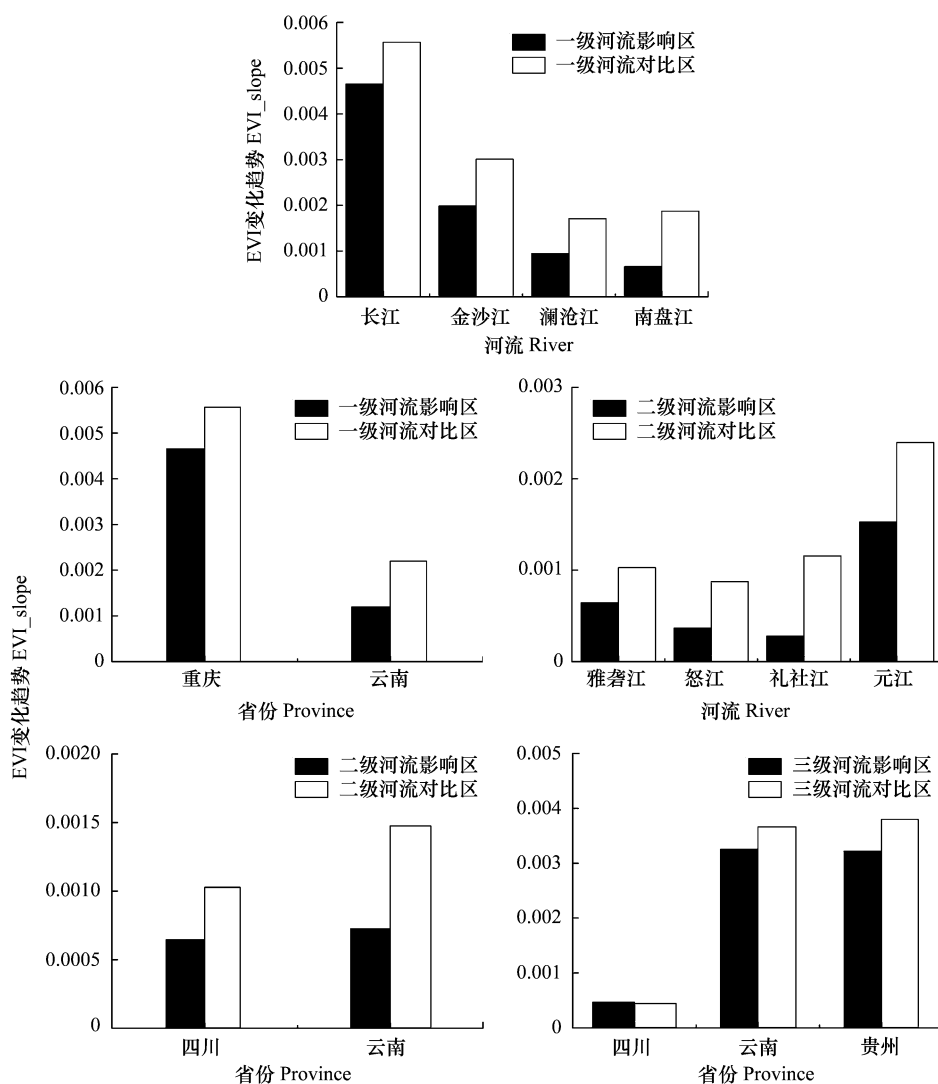


图5 西南山区三级及以上河流 EVI 变化趋势变化情况

Fig.5 Variation trends of EVI in rivers of Grade 3 and above and in different provinces in mountainous areas of southwest China

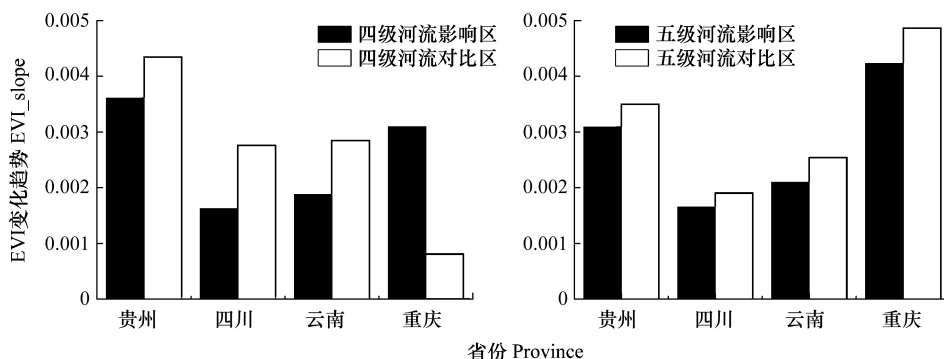


图6 西南山区各省市四、五级河流 EVI 变化趋势

Fig.6 Variation trend of EVI of the fourth- and fifth-Grade rivers at the provincial level

空间人口数据、遥感植被指数和河流网络数据,对 2000—2010 年西南山区各级河流沿岸人口重组、植被 EVI 的变化趋势及两者之间的关系进行了研究,研究结论如下:

(1) 三级及三级以上河流沿线出现人口往河流沿线聚集的趋势,人口在河流沿线的影响区聚集程度大于对比区。且河流等级越高,这种特征越明显。

(2) 从西南山区全区域来看,约 73.7%的地区 EVI 表现为增加的趋势。三级及以上河流沿线影响区和对比区 EVI 均呈现出增加的趋势,且影响区增加趋势低于对比区。一级河流中,对比区 EVI 变化趋势比影响区高出约 40.0%;二级河流中,EVI 变化趋势对比区比影响区高 51.9%;三级河流中,EVI 变化趋势对比区比影响区高 17.0%。

(3) 植被 EVI 变化趋势与人口密度变化呈显著负相关,说明河流沿线人口的增加影响了植被的恢复。且河流级别越高,植被 EVI 变化趋势与人口密度变化的相关性越高。

在研究人类活动对植被变化的影响时,由于人类活动的复杂多样,很难被准确区分和定量表达。近年来,不少研究利用总人口数量的变化来探讨人类活动对植被变化的影响^[10,36]。例如,Cai 等^[10]利用 Pearson 相关分析的方法分析了乡村人口数变化对植被变化的影响。但是这些研究常以行政单元作为研究对象,难以表达单元内人口的空间分布状况,这可能会在一定程度上增加研究结果的不确定性。本研究利用空间栅格数据分析了河流沿线人口的空间转移情况,结果发现,西南山区各级河流沿线人口密度总体上都是增加的,且越靠近河流人口聚集越多,这种现象在三级及以上河流沿线表现尤其明显。而相较于高级别河流沿岸地区,低级别河流河漫滩狭窄,沿岸城市较少,人口密度增加幅度较小。

西南山区人口在河流沿线集中趋势明显,这促使了西南山区其他区域人口密度的大幅度下降,从而能促进其他区域植被的改善。其中,贵州省和重庆市河流沿线之外的地区,人口密度分别下降了 7.7% 和 16.6%,而 EVI 变化趋势增加斜率远高于河流沿线的 EVI 变化趋势均值。因此,我们应该更加重视河流沿线的生态环境建设,一方面促进人口更加有序地在河流沿线聚集,另一方面,也要防止由于人口集中导致的河流沿线生态破坏和河流污染等问题。

本文通过相关分析的方法发现了人口变化与植被变化具有显著的负相关关系,人口密度增大会显著降低植被变化趋势,这与不少已有的研究^[10,12]具有相似的结论。然而,人口的变化对植被变化的影响并不是直接的,它是通过人们的生产和生活方式的改变来实现。耕地的开垦、建设用地扩展都可能对植被造成破坏;同时,由于青壮年劳动力外出打工,留守人口生产方式的改变、家庭能源结构的变化也会对植被造成影响。本文对于人类活动的研究选用了人口空间变化(人口密度变化量)作为表征指标,粗略分析了其对植被变化的影响,并没有揭示出人口变化对植被的影响机制或影响途径;另外,人口变化在植被变化中所占的贡献率还有待进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] 孟向京, 姜凯迪. 城镇化和乡城转移对未来中国城乡人口年龄结构的影响. 人口研究, 2018, 42(2): 39-53.
- [2] 郑凯丽. 人口迁移和城乡空间格局变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [3] Li S J, Sun Z G, Tan M H, Li X B. Effects of rural-urban migration on vegetation greenness in fragile areas: a case study of Inner Mongolia in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(3): 313-324.
- [4] Liu G S, Wang H M, Cheng Y X, Zheng B, Lu Z L. The impact of rural out-migration on arable land use intensity: Evidence from mountain areas in Guangdong, China. *Land Use Policy*, 2016, 59: 569-579.
- [5] Robson J P, Berkes F. Exploring some of the myths of land use change: can rural to urban migration drive declines in biodiversity? *Global Environmental Change*, 2011, 21(3): 844-854.
- [6] Baptista S R. Metropolitanization and forest recovery in southern Brazil: a multiscale analysis of the Florianópolis city-region, Santa Catarina state, 1970 to 2005. *Ecology and Society*, 2008, 13(2): 5.
- [7] Kull C A, Ibrahim C K, Meredith T C. Tropical forest transitions and globalization: neo-liberalism, migration, tourism, and international conservation agendas. *Society & Natural Resources*, 2007, 20(8): 723-737.
- [8] Benayas J M R, Martins A, Nicolau J M, Schulz J J. Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 2007, 2(57): 1-14.

- [9] 李薇, 谈明洪. 太行山区不同坡度 NDVI 变化趋势差异分析. 中国生态农业学报, 2017, 25(4): 509-519.
- [10] Cai H Y, Yang X H, Wang K J, Xiao L L. Is Forest Restoration in the Southwest China karst promoted mainly by climate change or human-induced factors? Remote Sensing, 2014, 6(10): 9895-9910.
- [11] Cao S X, Ma H, Yuan W P, Wang X. Interaction of ecological and social factors affects vegetation recovery in China. Biological Conservation, 2014, 180: 270-277.
- [12] Li W, Li X B, Tan M H, Wang Y H. Influences of population pressure change on vegetation greenness in China's mountainous areas. Ecology and Evolution, 2017, 7(21): 9041-9053.
- [13] 何奕萱, 易桂花, 张廷斌, 李景吉, 别小娟, 闫利, 郑飞鸽. 红河流域“通道-阻隔”作用下 2000-2014 年植被 EVI 变化趋势与驱动力. 生态学报, 2018, 38(6): 2056-2064.
- [14] Piao S L, Mohammad A, Fang J Y, Cai Q, Feng J M. NDVI-based increase in growth of temperate grasslands and its responses to climate changes in China. Global Environmental Change, 2006, 16(4): 340-348.
- [15] Cheng C X, Wang Z H, Xiao P Q, Xu Z X, Jiao P, Dong G T, Wei G J. Spatio-temporal dynamics of NDVI and its response to climate factors in the Heihe River Basin, China. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 82(1): 12-45.
- [16] 方精云, 朴世龙, 贺金生, 马文红. 近 20 年来中国植被活动在增强. 中国科学(C 辑), 2003, 33(6): 554-565.
- [17] 李红军, 郑力, 雷玉平, 李春强, 周戡. 基于 EOS/MODIS 数据的 NDVI 与 EVI 比较研究. 地理科学进展, 2007, 26(1): 26-32.
- [18] 朱林富, 谢世友, 杨华, 马明国. 基于 MODIS-EVI 的 2000~2015 年重庆植被覆盖季节变化. 长江流域资源与环境, 2017, 26(12): 2146-2155.
- [19] 朱林富, 谢世友, 杨华, 马明国. 基于 MODIS EVI 的重庆植被覆盖变化的地形效应. 自然资源学报, 2017, 32(12): 2023-2033.
- [20] 李文梅, 覃志豪, 李文娟, 杨强. MODIS NDVI 与 MODIS EVI 的比较分析. 遥感信息, 2010, (6): 73-78.
- [21] 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.
- [22] Bao G, Bao Y H, Sanjiva A, Qin Z H, Zhou Y, Xu G. NDVI-indicated long-term vegetation dynamics in Mongolia and their response to climate change at biome scale. International Journal of Climatology, 2015, 35(14): 4293-4306.
- [23] Fu B H, Burgher I. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. Journal of Arid Environments, 2015, 113: 59-68.
- [24] 栾金凯, 刘登峰, 黄强, 冯九梁, 林木, 李国宝. 近 17 年陕西榆林植被指数的时空变化及影响因素. 生态学报, 2018, 38(8): 2780-2790.
- [25] Wang J, Wang K L, Zhang M Y, Zhang C H. Impacts of climate change and human activities on vegetation cover in hilly southern China. Ecological Engineering, 2015, 81: 451-461.
- [26] 刘斌涛, 陶和平, 宋春风, 郭兵, 史展. 我国西南山区降雨侵蚀力时空变化趋势研究. 地球科学进展, 2012, 27(5): 499-509.
- [27] 张继飞, 邓伟, 刘邵权. 中国西南山区资源环境安全态势评价. 地理研究, 2011, 30(12): 2305-2315.
- [28] 张志斌, 杨莹, 张小平, 陈志杰. 我国西南地区风速变化及其影响因素. 生态学报, 2014, 34(2): 471-481.
- [29] Didan, K.. MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006. 2015, distributed by NASA EOSDIS LP DAAC. Available online: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>.
- [30] National Geophysical Data Center. Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series (2000 and 2010). Available online: <http://www.ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html> (accessed on 10 October 2016).
- [31] Tan M H, Li X B, Li S J, Xin L J, Wang X, Li Q, Li W, Li Y Y, Xiang W L. Modeling population density based on nighttime light images and land use data in China. Applied Geography, 2018, 90: 239-247.
- [32] Tian H J, Cao C X, Chen W, Bao S N, Yang B, Myneni R B. Response of vegetation activity dynamic to climatic change and ecological restoration programs in Inner Mongolia from 2000 to 2012. Ecological Engineering, 2015, 82: 276-289.
- [33] Zhao H D, Liu S L, Dong S K, Su X K, Wang X X, Wu X Y, Wu L, Zhang X. Analysis of vegetation change associated with human disturbance using MODIS data on the rangelands of the Qinghai-Tibet Plateau. The Rangeland Journal, 2015, 37(1): 77-87.
- [34] Han G F, Xu J H. Influence of population and economic development on vegetation—A case study in Chongqing City. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(5): 785-792.
- [35] Zhu Y, Chen W Z. The settlement intention of China's floating population in the cities: RECENT Changes and multifaceted individual-level determinants. Population, Space and Place, 2010, 16(4): 253-267.
- [36] Lü Y H, Zhang L W, Feng X M, Zeng Y, Fu B J, Yao X L, Li J R, Wu B F. Recent ecological transitions in China: greening, browning, and influential factors. Scientific Reports, 2015, 5: 8732.