

盛叶子,曾蒙秀,林德根,等.2000—2014年人类活动对贵州省植被净初级生产力的影响[J].中国岩溶,2020,39(1):62-70.  
DOI:10.11932/karst2020y01

## 2000—2014年人类活动对贵州省植被 净初级生产力的影响

盛叶子<sup>1</sup>,曾蒙秀<sup>1</sup>,林德根<sup>1</sup>,彭海军<sup>2</sup>,朱丽东<sup>1</sup>,李凤全<sup>1</sup>,余奕泓<sup>1</sup>,王能静<sup>1</sup>

(1.浙江师范大学地理与环境科学学院,浙江 金华 321004; 2.中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室,贵阳 550081)

**摘 要:**利用 MODIS 实际净初级生产力数据与 CASA 模型估算得到的潜在净初级生产力,建立贵州省 2000—2014 年人类活动相对贡献指数(RCI),并依据各县喀斯特地貌面积和等级比例探究其年际变化及空间分布特征,再通过相关分析辨析选定的人类活动因子对其的影响。结果表明:(1)贵州省 RCI 均小于-0.5,人类活动促进了植被净初级生产力的增加,以 2007 年为转折点,影响程度先增强后减弱;(2)贵州省东北部、中部及西部地区的 RCI 多大于 0,人类活动对生态环境有负面干扰作用;东南部及北部边缘地带的 RCI 多小于-1,人类活动的正面影响较强;(3)贵州省中部、北部大部分地区的 RCI 缓慢下降,人类活动对植被的正面影响增强;东南部部分区域的 RCI 由负转正,人类活动负面干扰作用增强;西南边界地区的 RCI 呈上升趋势却仍为负值,人类干预程度呈减弱趋势;(4)贵州省农业活动在人类活动的负面影响中有重要作用;城镇化与经济发展对生态环境既有正面影响,也有不可避免的负面干扰。

**关键词:**净初级生产力;人类活动;贵州省;相关分析

**中图分类号:**Q948 **文献标识码:**A

**文章编号:**1001-4810(2020)01-0062-09 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



### 0 引 言

净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)指绿色植物在单位时间和单位面积上所能积累的有机干物质,即光合作用固定的有机碳中扣除自养呼吸消耗的部分<sup>[1-2]</sup>,是决定生态系统碳汇和调节生态过程的重要因素<sup>[3-5]</sup>。NPP 现今已在国内外不同区域的植被生长状况、生物量估算、环境监测模拟等<sup>[6-9]</sup>研究中得到广泛应用和检验。位于中国西南腹地的贵州省喀斯特地貌面积占全省总面积的 61.92%<sup>[10]</sup>,其生态环境脆弱、敏感、稳定性差,石漠化分布面积广阔。植被的退化演替是石漠化发生、发展过程中一个主

要特征<sup>[11]</sup>,亟需从植被生态系统及其驱动机制方面,加强贵州生态恢复工程的基础理论支撑研究<sup>[12]</sup>。

目前,通过分析植被 NPP,以确定人类活动对贵州省生态环境的影响及其程度的研究仍然较少。基于遥感影像、观测及统计数据,定量<sup>[13-16]</sup>、定性<sup>[17-19]</sup>分析喀斯特石漠化成因及其与自然、人为因子相关性的研究表明:进入 21 世纪以来,不合理的人类活动是贵州石漠化的主要驱动因素;此外,基于模型估算及 MODIS 数据获得的植被 NPP<sup>[20-22]</sup>及石漠化程度<sup>[23]</sup>的分析表明:2000 年以来贵州省 NPP 总体呈缓慢上升趋势,石漠化状况得以改善。但以往的研究多侧重于分析气象因子与生态环境的关系<sup>[20,22]</sup>,定量评估人

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LQ18D020002);国家级大学生创新训练计划项目(201810345028);国家自然科学基金项目(41971111, 41773140);贵州省科技计划项目(黔科合基础[2019]1317号)

第一作者简介:盛叶子(1998—),女,研究方向:全球变化与人类活动。E-mail:yezisheng0026@163.com。

通信作者:曾蒙秀(1987—),女,博士,讲师,主要从事孢粉与古生态、环境考古方面的研究工作。E-mail:mengxiuzeng@zjnu.edu.cn。

收稿日期:2019-07-05

类活动对植被覆盖和石漠化演化的影响的研究较少,细化到经济、社会等与人类活动相关的因子对生态环境变化的贡献差异及其空间特征仍有待深入探讨。

人类活动对中国植被生产力影响的定量辨识研究多集中于东北<sup>[24-25]</sup>、西北<sup>[26-27]</sup>及内蒙古<sup>[28-29]</sup>地区,缺乏对西南喀斯特生态环境脆弱区,尤其是贵州省的相关研究。贵州省作为长江和珠江两大水系的上游地区,其生态恢复进程影响着下游地区的生态安全。定量研究各种类型的人类活动对植被NPP的影响及其贡献程度和空间差异,对精确评估和管理土地资源、优化各区域石漠化治理措施及促进可持续发展具有重要的理论和现实意义。本文以石漠化专项治理前后的2000—2014年贵州省植被NPP数据为基础,构建人类活动相对贡献指数(Relative Contribution Index, RCI),依据各县/县级市/自治县(后续以县指代)

喀斯特地貌面积比例分级,探究15年来RCI的年内变化及空间分布特征,并筛选出与农业活动、城市化等相关的人为因子指标,再通过相关分析,辨析各人为因子对RCI的贡献,以期为喀斯特地区的植被保护和石漠化生态系统的恢复机理研究提供参考依据。

## 1 研究区概况

贵州省属温暖湿润的亚热带季风气候,降雨多集中于夏季;喀斯特地貌发育典型,是全国石漠化面积比例最大、类型最多、程度最深、危害最重的省份<sup>[1]</sup>。贵州中部、东南部及东北部、西南部个别地区喀斯特地貌分布尤为广泛,占比较高(图1),该区域同时也为人口密度较大、人口数量较多的地区<sup>[30]</sup>,而贵州东南部、西北部和南部边缘喀斯特地貌占比较低,且人口密度较小、人口数量较少。

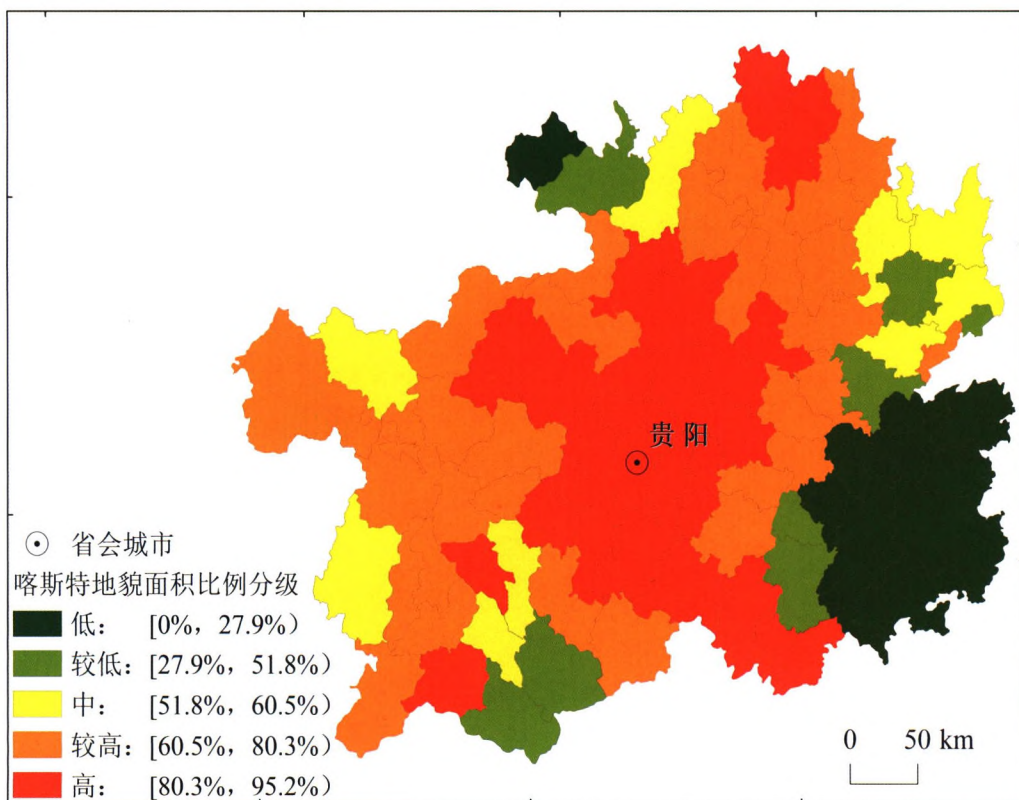


图1 贵州各县喀斯特地貌面积比例分级<sup>[30]</sup>

Fig. 1 Ratio and classification of karst landform area in counties of Guizhou Province

2000年以来贵州省产业结构呈现“三二一”格局,传统服务业占据主导地位,工业发展滞后,农业产业化、规模化水平较低<sup>[31]</sup>,经济发展水平整体较低;年末常住人口数量呈下降趋势,由2000年的3756万减少至2014年的3508万;由于城市化的持续推进,城

镇人口持续增加、乡村人口持续减少<sup>[32]</sup>。贵州农业劳动力转移规模加大,2014年末全省农村劳动力省外就业的有603.36万人<sup>[33]</sup>,比2013年增加了22.3万人<sup>[34]</sup>。受自然条件的制约,贵州省公路、铁路、机场等基础设施建设成本较高,交通用地比例相对较低<sup>[35]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源及其预处理

本研究使用朱文泉等<sup>[36-37]</sup>改进的 Carnegie Ames Stanford Approach (CASA) 模型, 利用其在 IDL 软件平台下开发的 NPP 软件模块 V1.0 及其相关静态参数模拟, 获得不考虑人类活动影响下的潜在植被净初级生产力 (Potential Net Primary Productivity, PNPP) 数据。该模型利用中国 NPP 实测数据, 模拟出各植被类型的最大光能利用率, 更符合中国的实际情况<sup>[37]</sup>, 已在不同区域尺度上对整个中国境内<sup>[37]</sup> 和三江源<sup>[38]</sup>、内蒙古<sup>[39]</sup>等地的 NPP 进行了模拟, 均取得了很好的应用效果, 具有一定的可靠性。

模型估算所选用的基本数据包括: ①2000-2014 年归一化差异植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/>) 的中国月度植被指数空间分布数据集; ②2000-2014 年气象数据 (月平均气温、月总降水量、月总太阳辐射), 数据来源于中国气象数据网 (<http://data.cma.cn/>), 并基于 Anusplin43 软件中的 SPLINA 程序模块, 采用引入经度、纬度、数字高程模型 (DEM, 数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心) 为协变量的三变量局部薄盘光滑样条 (Partial Thin Plate Smoothing Splines) 函数, 对上述气象数据进行空间插值; ③土地覆盖分类图来源于寒区旱区科学数据中心 (<http://westdc.westgis.ac.cn/>) 的中国地区土地覆盖综合数据集。以上数据均通过 ArcMap 10.5 进行融合、裁剪、重采样等预处理, 获取空间分辨率为 1 km、投影方式为阿尔伯斯等积圆锥投影 (Albers conical equal area projection) 的栅格图。

利用贵州省 2000-2014 年 MOD17A3 NPP 数据 (<https://modis.gsfc.nasa.gov/>), 同样通过 ArcMap 10.5 对数据进行融合、裁剪、重采样等预处理, 获取像元大小、投影方式与 PNPP 一致的气候变化和人类活动共同影响后的现实净初级生产力 (Actual Net Primary Productivity, ANPP) 数据。

### 2.2 RCI 构建

净初级生产力的人类占用 (Human Appropriation of Net Primary Production, HANPP), 指 PNPP 与 ANPP 之差, 表征人类活动对植被净初级生产力的影

响<sup>[40-41]</sup>, 计算公式如下:

$$HANPP = PNPP - ANPP \quad (1)$$

在 HANPP 的基础上, 本文参照毛德华<sup>[25]</sup> 建立的人类活动相对影响贡献率指数, 采用下式定量评价人类活动对植被生长的影响:

$$RCI = \frac{HANPP}{PNPP} \quad (2)$$

若  $RCI > 0$ , 表示人类活动对植被生长有负面干扰作用; 若  $RCI < 0$ , 表示人类活动对植被起到保育作用, 能促进植被净初级生产力的增加。RCI 绝对值越大, 表示人类活动对植被净初级生产力变化的干扰强度越大或对植被的保育作用越明显; 当 RCI 绝对值  $> 0.5$  时, 表示人类活动在植被 NPP 变化的驱动因素中占主导地位。

### 2.3 RCI 影响因子选取及相关分析

有研究表明: 影响喀斯特地区植被生长的人类活动既包括陡坡耕种<sup>[42]</sup>、过度樵采<sup>[18]</sup>、公路建设<sup>[13]</sup>等具有负面影响的行为, 也包括生态修复工程<sup>[43-44]</sup>等具有正面影响的措施。为评估各影响因子对 RCI 的贡献程度, 同时综合以往石漠化人为驱动因子的研究结果<sup>[13-16, 42]</sup>, 并考虑到影响因子的系统性、整体性和可对比性, 以及数据的可获得性和可靠性, 本文最终选取了 11 个代用指标 (表 1)。这些指标包括了人口、社会经济发展、农业生产活动、公路建设和生态工程建设等因素, 各项代用指标的具体涵义表达及数值皆来自于国家统计局 (<http://data.stats.gov.cn/>)。

基于 SPSS 21 软件, 利用 Pearson 相关系数法, 对 2000-2014 年贵州省 RCI 值及各人为因子数据作标准化处理后进行相关性分析, 再采用双侧百分位检验 (T 检验) (同时考虑  $P < 0.01$  和  $P < 0.05$  两种置信度水平), 对相关性进行显著性检验。

## 3 结果与讨论

### 3.1 RCI 随时间的变化

15 年间贵州省 RCI 均为负值且绝对值均  $> 0.5$  (图 2), 表明人类活动整体上对 NPP 具有正面影响且 NPP 变化主要受控于人类活动的作用。此外, 贵州省 RCI 绝对值以 2007 年为转折点, 总体呈现出先增加后减小的波动趋势。在 2007 年之前, 人类活动的正面影响趋势增加, 但在 2004 和 2006 年突然减缓后恢复原有趋势; 而 2007 年之后, 人类活动的正面影响呈现

表 1 贵州省 RCI 影响因子及处理过程  
Table 1 Impact factors and the process of RCI processing in Guizhou Province

分类	影响因子	编号	处理过程
人口	人口密度/人·km <sup>-2</sup>	X <sub>1</sub>	年末常住人口/国土面积
	农林牧渔业从业人员/万人	X <sub>2</sub>	—
经济发展水平	城镇人口比重/%	X <sub>3</sub>	城镇人口数/年末常住人口
	人均地区生产总值/元·人 <sup>-1</sup>	X <sub>4</sub>	—
	农村居民家庭人均纯收入/元	X <sub>5</sub>	—
	建设用地比重/%	X <sub>6</sub>	城市建设用地面积/国土面积
农业生产活动	农业总产值/亿元	X <sub>7</sub>	农林牧渔业总产值
	农作物总播种面积/千公顷	X <sub>8</sub>	—
	人均粮食产量/kg	X <sub>9</sub>	—
公路建设	公路里程/×10 <sup>4</sup> km	X <sub>10</sub>	—
生态工程建设	造林总面积/千公顷	X <sub>11</sub>	—

下降趋势,却在 2012 和 2014 年突然增加后恢复原有趋势。降水量、气温、蒸发量等因子,造林或封山育林政策的制定与实施及城市、经济发展规划等软性层面因素,均可能直接或间接导致了这四个节点的

突变。特别是 2000 年以来中央对贵州投资实施退耕还林工程后,生态环境效应逐渐显现<sup>[45]</sup>,而 2007 年后绝对值下降趋势则可能与 2008 年石漠化综合治理试点工程的实施有关<sup>[46]</sup>。

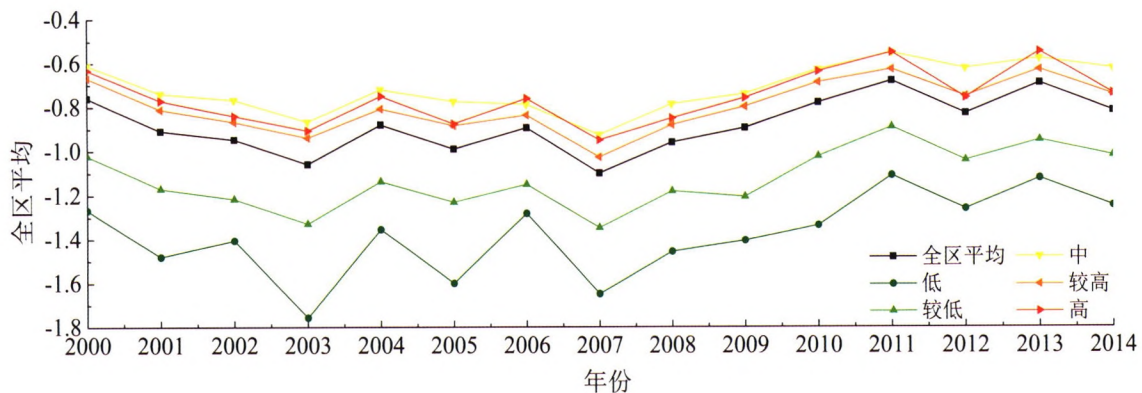


图 2 2000—2014 年贵州省 RCI 时间序列

Fig. 2 Temporal variations of RCI values of Guizhou Province from 2000 to 2014

为分析 2000—2014 年不同喀斯特地貌面积比例地区人类活动对 NPP 相对影响的年际变化特征,将贵州省年 RCI 数据进行全区平均,以代表当年人类活动的相对影响情况;再依据各县喀斯特地貌面积比例分级进行分区平均,得到不同喀斯特地貌占比地区的相对 RCI 值(图 2)。在比例<51.8%、分级为低和较低的地区,其比例越低,RCI 的绝对值越大且波动幅度越大,这表明人类活动影响程度更大;在喀斯特地貌面积比例>51.8%、分级为中等及以上的地区,RCI 值总体>-1 且绝对值均>0.5,波动趋势也

较为接近。整体而言,无论喀斯特地貌面积所占比重多少,人类活动都是主导因素,且在喀斯特地貌面积占比更少的地区,人类活动起着更大程度的正面影响。出现这种差异的原因可能是在喀斯特地貌面积比例较小的地区,如黔东南苗族侗族自治州的大部分地区,人口密度小、城镇化水平低、土地的开发利用程度低,从而使植物的生长环境更多地与自然条件相关。此外,喀斯特地貌面积比例较小的相关地区,工业、交通不发达,人类活动对环境的破坏程度更低,使得植物保持水土、绿化环境等生态

功能得以很好地发挥。此外,一些地区特有的因素,如黔东南州三江流经,水力资源丰富,自然条件优越,具有浓郁的民俗风情,营造了良好的人类与地理环境协调发展发展的环境。最终表现出在黔西南州等喀斯特地貌占比较低地区,人类对植被的保育作用更明显。在喀斯特地貌面积占比较大的地区,居民分布集中、城镇化水平相对较高,植被受到人类干扰作用更强。虽然当地居民对环境质量的需求相应提高,城市绿化建设投入更多,但由于植物生长条件更差,最终表现出人类活动对植被NPP正面变化的驱动作用减弱,人类对植被的保育作用更不明显。

### 3.2 RCI空间分布特征

以5年为时间节点,将贵州省2000-2004、2005-

2009、2010-2014年RCI数据进行等权平均,进一步分析15年间人类活动对植被NPP相对影响的空间分布及其变化情况(图3)。总体而言,贵州东北部、中部及西部地区RCI呈正值,人类活动对生态环境有负面干扰作用;东南部及北部边缘地带RCI呈负值且绝对值较大,表明人类活动对生态环境的改善起到正面作用。结合喀斯特地貌比例分级(图1)可知,RCI呈正值地区多为喀斯特地貌广泛分布且人口密度较大的区域,而RCI呈负值地区对应为喀斯特地貌较不发育且人口密度较小的区域。由此可见,人类活动的集聚加剧了喀斯特生态环境的退化,而脆弱的喀斯特生态环境使人类活动更容易对其产生负面影响。因此,在今后的生态文明建设过程中,应进一步增强对喀斯特地貌区,特别是喀斯特地貌较发育地区的环境规划与管理。

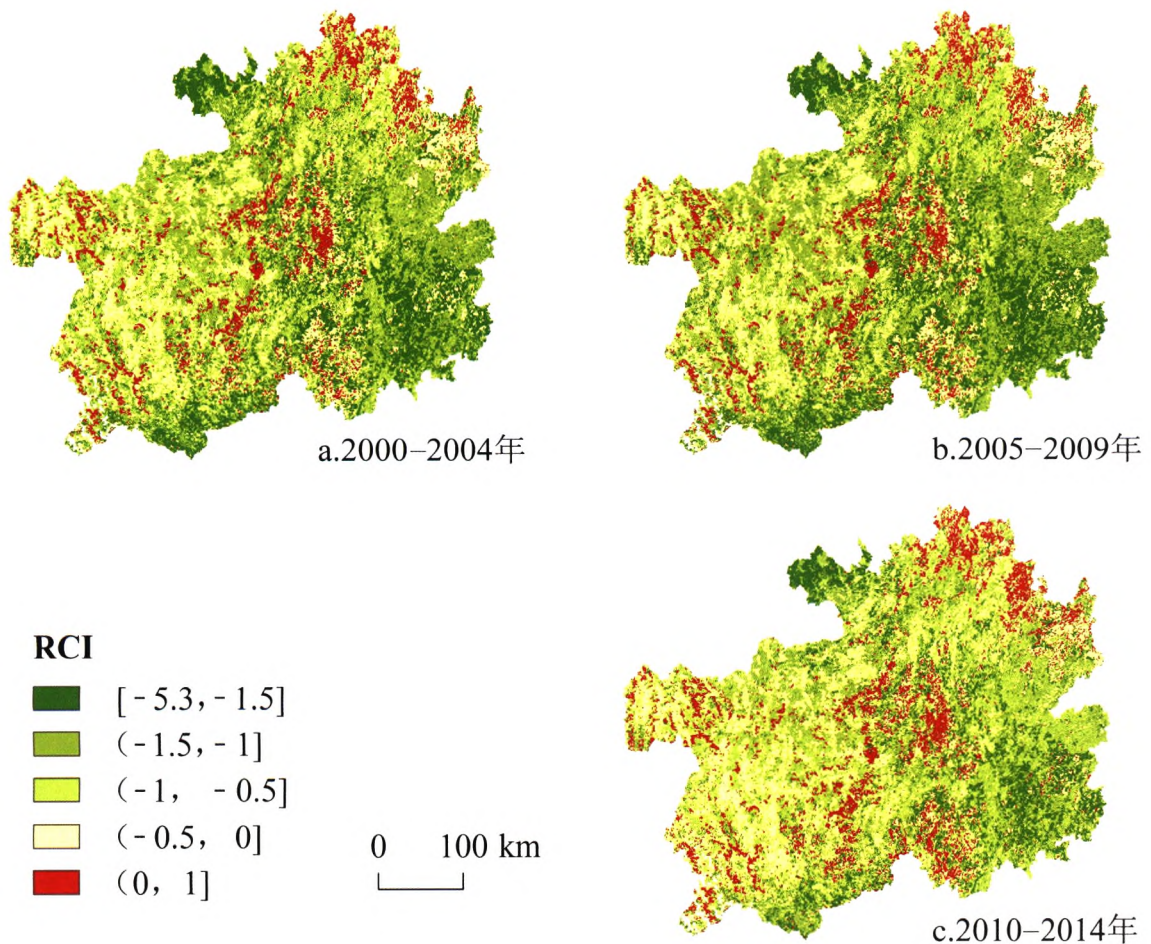


图3 不同时间段内贵州省RCI的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of RCI values in Guizhou Province in different periods

在2000-2014年RCI空间分布特征的5年际变化中,贵州中部、北部部分地区的RCI值有所下降,人类活动对生态环境的正面影响增强;西南地区的RCI值

上升且仍为负值,人类干预程度减弱,植被自然生长条件转好;东南部分区域的RCI值由负转正,人类活动负面干扰作用增强。结合图1、图2和石漠化治理

政策分析的结果表明针对贵州中部、北部石漠化县的综合治理工程<sup>[46]</sup>在当地富有成效;而黔东南地区虽然土地开发较少、自然风光得到较好保护,但可能由于旅游业的发展及基础设施的大规模建设等行为,对当地自然生态环境产生了一定负面影响。

### 3.3 人类活动对贵州省NPP的具体影响

相关分析结果表明,除农林牧渔业从业人员、建设用地比重、人均粮食产量与造林总面积外,各人为因子均在0.01或0.05水平呈显著相关(表2)。

表2 贵州省RCI与人为因子的相关系数

Table 2 Correlation coefficients (r) among RCI and human factors in Guizhou Province

因子	喀斯特分区					
	全区	低	较低	中	较高	高
X <sub>1</sub>	-0.530*	-0.0547*	-0.0583*	-0.0534*	-0.499	-0.485
X <sub>2</sub>	-0.207	-0.300	-0.299	-0.211	-0.146	-0.162
X <sub>3</sub>	0.756*	0.746*	0.801**	0.829**	0.747*	0.663*
X <sub>4</sub>	0.565*	0.602*	0.636*	0.609*	0.530*	0.485
X <sub>5</sub>	0.679*	0.615*	0.728*	0.730*	0.673*	0.617*
X <sub>6</sub>	0.308	0.428	0.382	0.297	0.240	0.258
X <sub>7</sub>	0.527*	0.574*	0.604*	0.582*	0.494	0.437
X <sub>8</sub>	0.647**	0.602*	0.697**	0.742**	0.650**	0.557*
X <sub>9</sub>	-0.017	-0.091	-0.011	0.102	0.047	-0.091
X <sub>10</sub>	0.722*	0.654	0.745*	0.838**	0.741*	0.623
X <sub>11</sub>	0.517	0.437	0.481	0.537	0.531	0.508

注:\*\*和\*分别表示在0.01水平(双侧)和0.05水平(双侧)上显著相关。

#### 3.3.1 农业生产活动对NPP的影响

贵州省农作物总播种面积、农业总产值与RCI呈显著正相关,其中在喀斯特地貌面积占比较低及中等地区的相关性更为显著。贵州中、低产田占总耕地面积的75.8%,且80%分布在坡耕地<sup>[47]</sup>,适宜种植水稻等高产农作物的土地十分有限<sup>[48]</sup>。长期以来,喀斯特地貌区农民一直遵循着种植玉米和水稻的传统耕作方式<sup>[15]</sup>,广种薄收,易引发水土流失,对生态环境的负面影响较大。贵州省农作物播种面积扩大及农业总产值的增加,对NPP造成了负面影响,特别是在喀斯特地貌面积比例较低及中等地区,农业开发潜力更大,更易受到负面干扰。因此,在这类地区的农业活动中,需要加强集中管理,提高农业产业化、规模化水平。

贵州省人均粮食产量及农林牧渔业从业人员与RCI的相关性并不十分显著,无法印证“人均粮食产量低→开垦非宜农地以满足粮食增长→加速对生态环境的干扰破坏”的定性研究结果<sup>[17]</sup>。农业生产活动与生态破坏之间的内在驱动机制仍需进一步量化验证。

#### 3.3.2 人口对NPP的影响

在喀斯特地貌面积比例<60.5%的地区,人口密度与贵州省RCI呈显著负相关,即在人口密度越大的地区,人类活动对植被NPP的影响更为明显。由于人口的集聚效应,城镇化进程加快,各项资源的消耗增加,宜居城市建设能抵消掉人类活动对植被NPP的部分负面影响,而正面影响作用增强,使生态环境相对较稳定。在喀斯特地貌面积分布等级为中级及以下地区部分人口密度较小的喀斯特山村,由于生态环境本身较为脆弱,宜居地少,加之生产生活活动缺乏统一管理,人类活动对生态环境起负面干扰作用,石漠化面积较大。而在喀斯特地貌面积比例>60.5%的地区,由于生活条件差,居民极少,人口密度已不是影响该区域生态环境的主要因素,加之近年来贵州省外出务工人口的增加,进一步削弱了该区域人口与RCI的关系。

城镇人口比重与贵州省各地区RCI均呈显著正相关,且在喀斯特地貌面积比例中等地区的相关性尤为显著。城镇人口比重是衡量城市化水平的首要指标,而在城市化过程中,破坏原生植被与人工造景

过程并存。随着城镇人口比重的上升,城市用地需求逐渐增加,破坏原生植被的速度远大于城市绿化建设进程,使得喀斯特地貌面积比例中等地区城镇人口比重与RCI的相关性显著。在喀斯特地貌面积比例较高的地区,如贵阳市,当城市化水平上升到一定阶段,城市用地扩张速度减缓,居民对环境质量的需求提高,人工造景规模扩大,使得城镇人口比重与RCI相关性降低。

### 3.3.3 社会经济建设对NPP的影响

贵州省人均地区生产总值、农村居民家庭人均纯收入及公路里程与RCI呈正相关,其中,农村居民家庭人均纯收入与各等级喀斯特地貌面积比例的RCI相关性均较显著。区域经济水平高低决定了其改造和改变当地居民生存环境的能力,间接对植被NPP造成影响。虽然人口密度较大的城镇宜居需求较高,但经济发展与城市化进程迫使人们必然加大对资源的开发利用及对交通和公共基础设施的需求,人类活动对植被NPP的负面干扰难以避免;而农民提高收入的方式主要仍为向脆弱的喀斯特环境进行资源掠夺,农村与城市同时向环境施加负担。

喀斯特地貌面积比例中等地区的RCI与公路里程相关性尤其显著。公路里程长短在一定程度上可反映人类活动作用的范围与强度。由于该区域既在经济方面具备一定开发利用潜力,又在生态方面易受人为干扰破坏作用,在植被生长环境未得到充分保护的情况下,城市扩张对公路建设需求增加,而公路的修建又反过来扩大城市发展对生态环境的干扰范围,将使人类活动的负面影响范围扩大程度加深,生态环境随之恶化。因而政府在追求便捷高效的现代综合交通运输体系的同时,需要加强对周边地区生态环境的保护措施,在公路设计选线和设计调整时需尽量降低对自然生态系统的破坏。

## 4 结论与建议

(1)2000-2014年间,贵州省人类活动总体对NPP具有正面影响,影响程度以2007年为转折点,先增强后减弱;喀斯特地貌面积比例<51.8%的地区,比例越低,NPP受人类活动的正面影响程度及波动幅度越大;而当喀斯特地貌面积比例>51.8%时,NPP受人类活动的正面影响相对较弱且波动幅度较小。

(2)整体而言,贵州东北部、中部及西部地区人

类活动对生态环境起负面干扰作用,在喀斯特地貌面积占比更小的东南部及北部边缘地带人类活动正面影响较强;贵州中部、北部大部分地区人类活动对生态环境呈正面影响趋势。此外,东南部分区域人类活动呈负面干扰趋势,而西南边界地区人类干预程度减弱。

(3)农作物总播种面积、农业总产值、城镇人口比重、人均地区生产总值、农村居民家庭人均纯收入及公路里程与贵州省RCI呈显著正相关,人口密度与贵州省RCI呈显著负相关。其中,农业生产活动对贵州省植被NPP具有显著负面影响;人口集聚、城镇化与经济发展一方面加强了人类活动对生态环境的正面影响,另一方面也使人类活动对生态环境的负面干扰难以避免。与此同时,喀斯特地貌面积比例分级为中等的地区相比其他分级地区,更易受农业生产、城市发展及公路建设的负面影响。

(4)当前受遥感数据及统计数据源的限制,研究时段有待延长,研究数据的空间分辨率也有待提高,贵州省人类活动对NPP影响的县域差异分析仍需要加强。此外,定量探究旅游业发展、省际人口流动、不同生态建设工程行为等对贵州省生态环境的影响,完善RCI影响因子的选取也是进一步的研究方向。

## 参考文献

- [1] Lindeman R L. Experimental Simulation of Winter Anaerobiosis in a Senescent Lake[J]. Ecology, 1942, 23(1): 1-13.
- [2] Walker, James C G. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change[J]. Science, 1991, 253(5020): 686-688.
- [3] Field C B, Randerson J T, Malmström C M. Global net primary production: Combining ecology and remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 51(1): 74-88.
- [4] Malmström C M, Thompson M V, Juday G P, et al. Interannual variation in global-scale net primary production: Testing model estimates[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1997, 11(3): 367-392.
- [5] Tynan C T. Ecological importance of the Southern boundary of the Antarctic Circumpolar Current[J]. Nature, 1998, 392(6677): 708-710.
- [6] Matsushita B, Tamura M. Integrating remotely sensed data with an ecosystem model to estimate net primary productivity in East Asia[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81(1): 58-66.
- [7] Silvestri S, Marani M, Settle J, et al. Salt marsh vegetation radiometry: Data analysis and scaling[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(3): 473-482.
- [8] 崔林丽,杜华强,史军,等.中国东南部植被NPP的时空格

- 局变化及其与气候的关系研究[J]. 地理科学, 2016, 36(5): 787-793.
- [9] 卫亚星, 王莉雯, 石迎春, 等. 青海省草地资源净初级生产力遥感监测[J]. 地理科学, 2012, 32(5): 621-627.
- [10] 贵州省林业厅. 贵州省石漠化状况公报[N]. 贵州日报, 2012-06-27.
- [11] 王世杰, 李阳兵, 李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J]. 第四纪研究, 2003, 23(6): 657-666.
- [12] 李阳兵, 王世杰, 容丽. 西南岩溶山地石漠化及生态恢复研究展望[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 84-88.
- [13] Xu E Q, Zhang H Q. Characterization and interaction of driving factors in karst rocky desertification: a case study from Changshun, China[J]. Solid Earth, 2014, 5(2): 1329-1340.
- [14] Yang Q Q, Wang K L, Zhang C, et al. Spatio-temporal evolution of rocky desertification and its driving forces in karst areas of Northwestern Guangxi, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(2): 383-393.
- [15] 王晓帆, 许尔琪, 张红旗, 等. 贵州土地石漠化变化及社会经济活动的影响分析[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(12): 1908-1918.
- [16] 许尔琪. 基于地理加权回归的石漠化影响因子分布研究[J]. 资源科学, 2017, 39(10): 1975-1988.
- [17] 陈起伟. 贵州喀斯特石漠化的人为因素分析[J]. 贵州教育学院学报(自然科学), 2006(2): 82-85.
- [18] 王家嘉, 林昌虎, 何腾兵. 人类活动对贵州喀斯特石漠化地区的影响[J]. 水土保持研究, 2006(5): 276-279.
- [19] 来楷迪. 贵州两江(长江与珠江)分水岭地带岩溶石漠化特征及其环境影响因子的初步研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2008.
- [20] 马建勇, 谷晓平, 黄玫, 等. 近50年贵州净生态系统生产力时空分布特征[J]. 生态环境学报, 2013, 22(9): 1462-1470.
- [21] 王冰, 杨胜天, 王玉娟. 贵州省喀斯特地区植被净第一性生产力的估算[J]. 中国岩溶, 2007, 26(2): 98-104.
- [22] 杨亚梅. 贵州省植被净初级生产力时空变化与气象因子相关性分析[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [23] 史迎春, 舒英格. 喀斯特石漠化时空变化特征及驱动因子分析: 以贵州晴隆县为例[J]. 林业资源管理, 2017(1): 135-143, 152.
- [24] 罗玲, 王宗明, 毛德华, 等. 松嫩平原西部草地净初级生产力对气候变化及人类活动的响应[J]. 生态学杂志, 2012, 31(6): 1533-1540.
- [25] 毛德华. 定量评价人类活动对东北地区沼泽湿地植被NPP的影响[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2014.
- [26] 程春晓, 徐宗学, 张淑荣, 等. 黑河流域NPP对气候变化及人类活动的响应[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, 52(5): 571-579.
- [27] 刘春雨, 董晓峰, 刘英英, 等. 空间视角下人类活动强度对甘肃省净初级生产力的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2016, 52(1): 62-68.
- [28] 杜金桑, 于德永. 气候变化和人类活动对中国北方农牧交错区草地净初级生产力的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2018, 54(3): 365-372.
- [29] 潘桂行, 申涛, 马雄德, 等. 人类活动和自然因素对海流兔河流域生态环境影响分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(4): 67-72.
- [30] 贵州省科学技术厅. 喀斯特科学数据中心[EB/OL]. 贵州省科学技术厅, 2007-05-31 [2019-03-25]. <http://www.karstdata.cn/>.
- [31] 贵州省统计局. 近年来贵州经济结构变化情况分析[EB/OL]. 贵州省统计局, 2017-03-28 [2019-04-17]. [http://www.gz.stats.gov.cn/tjsj\\_35719/tjfx\\_35729/201703/t20170328\\_2047459.html](http://www.gz.stats.gov.cn/tjsj_35719/tjfx_35729/201703/t20170328_2047459.html).
- [32] 中华人民共和国国家统计局. 国家数据[EB/OL]. 国家统计局, 2019-02-28 [2019-03-26] <http://data.stats.gov.cn/>.
- [33] 贵州省公务员局. 贵州省2014年人力资源和社会保障事业统计公报[EB/OL]. 2014-08-29 [2019-04-28]. [http://www.gzrs.gov.cn/xxgk/xxgkml/tjxx/201803/t20180309\\_3193170.html](http://www.gzrs.gov.cn/xxgk/xxgkml/tjxx/201803/t20180309_3193170.html).
- [34] 贵州省公务员局. 贵州省2013年人力资源和社会保障事业统计公报[EB/OL]. 2015-06-16 [2019-04-28]. [http://www.gzrs.gov.cn/xxgk/xxgkml/tjxx/201803/t20180309\\_3193167.html](http://www.gzrs.gov.cn/xxgk/xxgkml/tjxx/201803/t20180309_3193167.html).
- [35] 刘燕. 贵州省土地资源可持续利用研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2002.
- [36] 朱文泉. 中国陆地生态系统植被净初级生产力遥感估算及其与气候变化关系的研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2005.
- [37] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. 植物生态学报, 2007, 31(3): 413-424.
- [38] 蔡雨恋, 郑有飞, 王云龙, 等. 利用改进的CASA模型分析三江源区净植被生产力[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2013, 5(1): 34-42.
- [39] 李刚, 辛晓平, 王道龙, 等. 改进CASA模型在内蒙古草地生产力估算中的应用[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2100-2106.
- [40] Haberl H, Plutzer C, Erb K H, et al. Human appropriation of net primary production as determinant of avifauna diversity in Austria[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 110(3): 119-131.
- [41] 张珺, 任鸿瑞. 人类活动对锡林郭勒盟草原净初级生产力的影响研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(7): 1125-1133.
- [42] Jiang Y, Li L, Groves C, et al. Relationships between rocky desertification and spatial pattern of land use in typical karst area, Southwest China [J]. Environmental Earth Sciences, 2009, 59(4): 881.
- [43] Qi X, Wang K, Zhang C. Effectiveness of ecological restoration projects in a karst region of southwest China assessed using vegetation succession mapping [J]. Ecological Engineering, 2013, 54: 245-253.
- [44] Zhang M, Wang K, Liu H, et al. How ecological restoration alters ecosystem services: an analysis of vegetation carbon sequestration in the karst area of northwest Guangxi, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 74(6): 5307-5317.
- [45] 张笑鹤. 西南地区NDVI和NPP时空动态及其与气候因子相



- 关性分析[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2011.
- [46] 牟艳娟. 浅谈贵州省“岩溶地区石漠化综合治理试点工程”监测[J]. 亚热带水土保持, 2010, 22(4): 56-57.
- [47] 兰安军. 基于GIS-RS的贵州喀斯特石漠化空间格局与演化机制研究[D]. 贵阳:贵州师范大学, 2003.
- [48] 林昌虎. 贵州山区坡耕地的利用与保护[J]. 水土保持通报, 1992(4): 43-47.

## Impacts of human activities on net primary productivity of vegetation in Guizhou Province from 2000 to 2014

SHENG Yezi<sup>1</sup>, ZENG Mengxiu<sup>1</sup>, LIN Degen<sup>1</sup>, PENG Haijun<sup>2</sup>, ZHU Lidong<sup>1</sup>, LI Fengquan<sup>1</sup>,  
YU Yihong<sup>1</sup>, WANG Nengjing<sup>1</sup>

(1. College of Geography and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry/Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang, Guizhou 550081, China)

**Abstract** Karst rocky desertification, the most significant ecological problem in Guizhou Province, southwestern China, is primarily driven by human activities in recent years. As a main signature of this phenomenon, vegetation degradation can be reflected by Net Primary Productivity (NPP), which is a key indicator of production capacity of the terrestrial ecosystem. However, so far less quantitative analyses have been made on the impact of human activities on vegetative NPP in Guizhou Province, which is of great significance for coordinating the relationship between human activity and karst rocky desertification control, as well as improving the quality of karst eco-environment. In this study, we established the Relative Contribution Index (RCI) by using actual NPP (ANPP) based on MODIS MOD17A3 data and potential NPP (PNPP) based on the Carnegie Ames Stanford Approach (CASA) model. Then, in combination of the classification of karst landform proportion, we analyzed the spatial-temporal variations of human activities and their influence on NPP in Guizhou Province from 2000 to 2014. Finally we discussed the contributions rates of different factors for human activity on RCI values using Correlation Analysis (CA). The results indicate that human activities in Guizhou Province promoted the increase of NPP, and the degree of the influence first increased and then decreased from 2000 to 2014. In the southeastern and northern edges of Guizhou Province where the proportion of karst landform area is less than 51.8%, the RCI value fluctuated violently and was greatly affected by human activities. However, in the areas where the proportion of karst landform is higher than 51.8%, the impact of human activities was relatively weaker and the variation was gentler. Additionally, human activities in the northeast, central and western parts of Guizhou Province generally had negative effects on the ecological environment from 2000 to 2014, while the effects in the southeastern and northern marginal areas were positive. In the past 15 years, the positive impact of human activities on the ecological environment in most areas of central and northern Guizhou Province has increased, while the degree of human intervention in the southwestern marginal area has decreased and the negative interference of human activities in some areas in the southeastern part has increased. Moreover, the CA results show that the total plant coverage area of crops, total agricultural output value, proportion of urban population, gross domestic product per head, disposable income of urban residents and highway mileage had significant positive correlation with RCI values of Guizhou Province during the period from 2000 to 2014, while the population density had a significant negative correlation with RCI values. Among them, agricultural activities played an important role in the negative impact of human activities. On one hand, urbanization and economic development promoted the growth of livable demand and strengthened the positive impact of human activities on the ecological environment; on the other hand, they also expanded the demand for resource development, transportation and public infrastructure. Thus, the destructive interference of human activities on the ecological environment was unavoidable. In addition, compared with other areas, the areas with moderate karst landforms were more likely to be negatively affected by agricultural production, urban development and highway construction.

**Key words** net primary productivity(NPP), human activities, Guizhou Province, correlation analysis

(编辑 黄晨晖)