

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.04.026.

贺祥, 林佳卉, 张新宇. 喀斯特山区城乡人类活动强度及其效应时空演变研究[J]. 水土保持研究, 2023, 30(4): 384-393.

HE Xiang, LIN Jiahui, ZHANG Xinyu. Study on Temporal and Spatial Evolution of Urban and Rural Human Activity Intensity and Its Effect in Karst Mountainous Area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(4): 384-393.

# 喀斯特山区城乡人类活动强度及其效应时空演变研究

贺祥<sup>1,2</sup>, 林佳卉<sup>1</sup>, 张新宇<sup>1</sup>

(1. 贵州财经大学 管理科学与工程学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省大数据统计分析重点实验室, 贵阳 550025)

**摘要:** [目的] 探究城镇与乡村人类活动强度, 以及城镇与乡村地区人类活动的经济效应、生态效应的时空演变, 为全面定量评估城乡人类活动机制、生态文明建设与社会经济发展等提供一定理论支撑和决策指引。[方法] 通过构建城镇与乡村地区的人类活动强度指数、人类活动强度阈值及人类活动效应等模型方法, 对贵州省各地市城乡人类活动强度及阈值演变进行了研究。[结果] 2010—2018年, 贵州省各地市乡村人类活动强度减弱(降低 7.57%~28.57%), 城镇人类活动强度增强(增加 22.72%~124.83%), 城镇人类活动强度大于乡村人类活动强度。各地市乡村人类活动强度最低与最高阈值总体呈降低变化, 但多数地市超过最高阈值(1.02~1.62倍), 山区土地系统承受较高乡村人类活动强度影响。各地市城镇人类活动强度阈值呈增加变化, 2018年城镇人类活动强度趋近最高阈值(0.940~0.997倍), 城镇人地系统承受着较大压力。各地市单位城镇人类活动经济效应与单位乡村人类活动生态效应均呈增长变化(年均增长率 8.60%~13.53%), 单位乡村人类活动生态效应比城镇人类活动经济效应更显著(2.24~14.84倍)。[结论] 尽管贵州省乡村人类活动强度呈减弱变化, 城镇人类强度及阈值均呈增加变化, 但其土地系统承受人类活动强度均较高, 单位乡村和城镇人类活动经济与生态效应均增长变化, 未来应该继续深入探究城镇与乡村人类活动强度测算方法体系。

**关键词:** 城乡人类活动; 区域效应; 喀斯特山区; 贵州省

中图分类号: X24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)04-0384-10

## Study on Temporal and Spatial Evolution of Urban and Rural Human Activity Intensity and Its Effect in Karst Mountainous Area

HE Xiang<sup>1,2</sup>, LIN Jiahui<sup>1</sup>, ZHANG Xinyu<sup>1</sup>

(1. College of Management Science and Engineering, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Key Laboratory of Big Data Statistical Analysis, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** [Objective] The aim of this study is to explore the intensity of human activities in urban and rural areas, as well as the temporal and spatial evolution of economic and ecological effects of human activities in urban and rural areas in order to provide certain theoretical support and decision-making guidance for comprehensive and quantitative evaluation of human activity mechanism, ecological civilization construction and socio-economic development in urban and rural areas. [Methods] The intensity and threshold evolution of human activity in urban and rural areas of Guizhou Province were studied by building models of human activity intensity index, human activity intensity threshold and human activity effect in urban and rural areas. [Results] From 2010 to 2018, the intensity of human activities in rural areas of all cities in Guizhou Province decreased (7.57%~28.57%), and the intensity of human activities in urban areas increased (22.72%~124.83%). The intensity of human activities in urban areas was greater than that in rural areas. The minimum and maxi-

收稿日期: 2022-06-03

修回日期: 2022-06-22

资助项目: 2019年度贵州财经大学引进人才科研启动项目(2019YJ014); 贵州财经大学校级科研项目(2021KYYB02); 黔科合平台人才([2019]5103号)

第一作者: 贺祥(1978—), 男, 贵州水城人, 博士, 教授, 主要从事环境演变与生态保护建设研究。E-mail: hexiang1997403@163.com

<http://stbcj.paperonice.org>

mum thresholds for rural human activity intensity in all cities have generally decreased, but most cities exceed the maximum threshold (1.02~1.62 times). The land system in mountainous areas bore the impact of higher human activity intensity in rural areas. The threshold of urban human activity intensity in all cities and cities had increased. In 2018, the intensity of urban human activity had approached the highest threshold (0.940~0.997 times), and the urban human-land system was under great pressure. The economic effects of human activities in unit towns and the ecological effects of human activities in unit rural areas in all regions show an increasing trend (annual average growth rate 8.60%~13.53%), and the ecological effect of human activities in unit villages was more significant than that of human activities in cities and towns (2.24~14.84 times). [Conclusion] Although the intensity of human activities in rural areas of Guizhou Province had weakened and the intensity and threshold of human activities in cities and towns had increased, the intensity of human activities sustained by the land system was relatively high, and the economic and ecological effects of human activities in unit villages and towns had increased and changed. In the future, we should continue to explore the system of measuring the intensity of human activities in cities and towns.

**Keywords:** urban and rural human activities; regional effect; karst mountain area; Guizhou Province

21世纪地球进入了人类活动驱动与影响的人类世<sup>[1-2]</sup>,人类活动是生态环境演变的重要驱动力之一<sup>[3]</sup>,并造成酸雨、全球变暖等全球性环境问题。人类活动对地球表层影响受到各国科学家<sup>[4-5]</sup>及国际社会的高度关注,并发起地圈生物圈计划<sup>[6]</sup>、生物多样性计划等<sup>[7]</sup>多项国际全球环境保护实施计划。随着人类活动方式、影响规模与强度等不断扩大,学者们对其定量评价方法展开研究,庄大方等<sup>[8]</sup>对土地利用程度按不同用地类型分级并赋值,为人类活动强度定量评价提出建立综合指标的思路;文英<sup>[9]</sup>提出对人类活动强度定量评价模型方法;张翠云等<sup>[10]</sup>采用指数加权法定量评价人类活动强度对黑河流域水循环演化的影响;郑文武等<sup>[11]</sup>采用统计和GIS相结合方法,对南方红壤丘陵区人类活动强度进行模拟分析;徐勇等<sup>[12]</sup>以建设用地当量为基本单位定量研究不同土地利用类型的人类活动强度;朱纹君<sup>[13]</sup>、闫伊亮<sup>[14]</sup>等模拟了人口密度对人类活动强度影响及其时空演变格局;陈泓瑾等<sup>[15]</sup>以地表温度、人口分布、夜间灯光和土地利用及地表等相结合定量刻画人类活动强度。

深入认识人类活动强度及时空演变,是降低和减少人类活动对生态系统负面影响的重要前提<sup>[16]</sup>。徐小任等<sup>[17]</sup>对黄土高原人类活动强度的总体变化类型与时空分异、地域单元变化及空间自相关性等方面展开研究;胡书玲等<sup>[18]</sup>对中国陆域地表人类活动与自然环境的空间匹配与耦合关系进行研究;李振男等<sup>[19]</sup>对生态移民影响安置地人类活动强度和生态承载能力进行研究;许珺等<sup>[20]</sup>基于位置大数据研究青藏高原旅游人口的人类活动时空模式;赵忠旭等<sup>[21]</sup>基于夜间灯光数据,研究人类活动强度变化对西藏生态系统水土保持和防风固沙服

务的影响;金贵等<sup>[22]</sup>从城镇利用、农业生产和生态转化效率测评国土空间资源投入产出效率,从而测度人类活动强度影响时空演变。人类活动还对生态系统结构、功能与服务价值等造成显著影响。刘慧敏<sup>[23]</sup>、刘永婷<sup>[24]</sup>和张雪松<sup>[25]</sup>等展开人类活动强度与生态系统服务关联及其影响研究;连喜红<sup>[26]</sup>、黄孟勤<sup>[27]</sup>等对生态系统服务空间格局影响及其耦合响应进行分析;李理等<sup>[28]</sup>则研究人类活动强度与生态系统服务价值的空间关联性。此外,部分学者还从不同角度与视域提出定量评价模型方法<sup>[29-30]</sup>,如Wu等<sup>[31]</sup>从国家、省和城市空间尺度研究人类活动对生态系统服务供给、需求和动态平衡的驱动影响。

由于人地关系复杂性与异质性显著,人类活动强度对自然环境影响机制及其时空规律仍处于不断探索的过程。当前,对人类活动强度定量及其时空演变的评价选取指标主要为土地利用、人口密度和景观等单因素,未能全面表征人类活动强度作用机制与动态演变,也未构建起普适性强的综合指标与模型方法。定量确定人类活动强度阈值、合理调控人类活动方式与强度,是区域乡村生态保护、城镇建设的重要措施,但目前对人类活动强度阈值及其演变驱动机制等研究成果非常欠缺。同时,人类活动是区域经济发展与生态演变重要驱动因素,并产生显著社会经济效应与生态效应,尽管当前人类活动对生态环境与社会经济发展影响研究成果较多,但并未见城镇与乡村人类活动强度及其影响效应的研究成果。可见,展开乡村与城镇人类活动强度时空格局特征研究,探讨区域人类活动强度阈值及其区域生态与经济效应,对乡村生态修复与保护、城镇规划建设与管理等都具有非常重要理论与现实意义。

综上可知,以贵州省为研究对象,分别提出城镇与乡村人类活动强度指数,首次从粮食产量与建成区面积等构建模型分析城镇与乡村人类活动强度阈值,从GDP与生态系统服务价值分别分析城镇人类活动经济效应与乡村人类活动生态效应,研究结果将有助于掌握生态脆弱区乡村与城镇人类活动强度及其产生效应,为喀斯特生态脆弱区生态文明建设、石漠化生态治理等提供理论支撑和决策指引。

## 1 研究区概况

贵州省地处中国内陆腹地、云贵高原东北部,位于 $103^{\circ}36'—109^{\circ}35'E$ , $24^{\circ}37'—29^{\circ}13'N$ ,共辖9个地级市和自治州。境内喀斯特地貌类型齐全、发育程度高,山地面积达92.5%。生态环境脆弱,石漠化生态问题严重。地形崎岖、陡峭,耕地面积比重低、质量较差。2018年末,常住人口3600万人,人均地区生产总值41229元<sup>[32]</sup>。

## 2 数据来源

2009年首届生态文明论坛在贵阳市召开,标志贵州省进入全面生态治理、修复与恢复阶段。因而以2010年与2018年分别代表生态文明建设初期与中期,展开其人类活动强度及效应的研究。贵州省2010年与2018年土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/Default.aspx>),数据分辨率为30m。2010年与2018年各地级市年末常住人口、国内生产总值、城乡人口、粮食产量与播种面积和农林牧业产值等社会经济数据,来源于2011年与2019年贵州省统计年鉴与各地市统计年鉴<sup>[32-33]</sup>,以及2010年与2018年贵州省及各地市国民经济与社会发展统计公报等;全国城乡人口,人均粮食产量等数据来源于《中国农村统计年鉴》。

## 3 研究方法

### 3.1 生态系统服务价值核算

Bolund等<sup>[34]</sup>提出生态系统功能服务是生态系统形成及所维持的人类生存和发展必不可少的环境条件与效用,研究中生态系统服务功能分类及核算方法参照Costanza等<sup>[35]</sup>与谢高地等<sup>[36]</sup>提出模型计算方法。

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{P_i T_i}{S_i} \quad (1)$$

$$ESV_j = \sum E_a \times e_{ij} \times L_i \quad (2)$$

式中: $E_a$ 为单位面积农田生态系统提供食物生产服务功能的经济价值(元/hm<sup>2</sup>); $i$ 为作物种类; $P_i$ 为研究区 $i$ 种粮食作物平均价格(元/kg); $T_i$ 为 $i$ 种粮食作物总产量

(kg); $S_i$ 为研究区第 $i$ 种粮食作物的种植面积(hm<sup>2</sup>)。ESV<sub>j</sub>为生态系统第 $j$ 项服务功能的总价值(元/a); $e_{ij}$ 为第 $i$ 土地利用类型生态系统的第 $j$ 项服务功能相对于农田生态系统提供生态服务单位的当量系数; $L_i$ 为第 $i$ 类土地利用类型的面积(hm<sup>2</sup>/a)。

在计算公式中,当量系数( $e_{ij}$ )是采用全国平均参数计算得到,对贵州省进行分析时需修正其当量系数,可依据2010年与2018年中国与贵州省的农、林、牧和渔业的产值、旅游总收入及森林覆盖率等数据比值计算得到。2010年与2018年耕地、林地、草地、水域的生态系统供给服务当量系数的修正系数分别为0.63,0.52,0.66,0.09,1.30,1.47,0.96,0.19;调节、支持和文化服务当量系数的修正系数分别为2.02,2.02,3.68,2.48,2.48,10.04。将修正系数代入生态系统服务核算模型,得到贵州省2010年、2018年不同土地利用类型单位面积生态系统服务的当量系数。在生态系统服务价值核算过程中,贵州省粮食作物平均价格2010年、2018年分别为2.82元/kg,4.59元/kg。为消除货币贬值价格波动的影响,对货币年贬值率为4%进行计算,以2018年价格为基准,消除货币贬值后,2010年粮食平均实际价格为3.86元/kg,最终计算得到贵州省2010年与2018年生态系统服务价值(图1)。计算表明,贵州省2010年生态系统服务总价值为10223.26亿元,2018年为18579.32亿元,2018年较2010年增长81.74%,其中黔东南州增长幅度最高达85.21%,安顺市增长最低(增长77.69%),各地市年均增长率达7.45%~8.01%。结果表明,贵州省在生态文明建设推动下生态治理与恢复取得显著效果,各地市生态系统服务价值整体呈快速增长上升趋势。

### 3.2 乡村与城镇人类活动强度

人口是人类活动强度的最重要表征指标,城镇与乡村的人类活动强度存在显著差别,徐勇等<sup>[12]</sup>首次提出采取以建设用地当量折算系数对人类活动强度进行核算。本研究通过考虑人口等因素尝试对其模型进行修订,具体计算方法如下:

$$RHAI = RP \times \frac{S_{CLE}}{RS} = RP \times \frac{\sum_{i=1}^n SL_i \times CI_i}{RS} \quad (3)$$

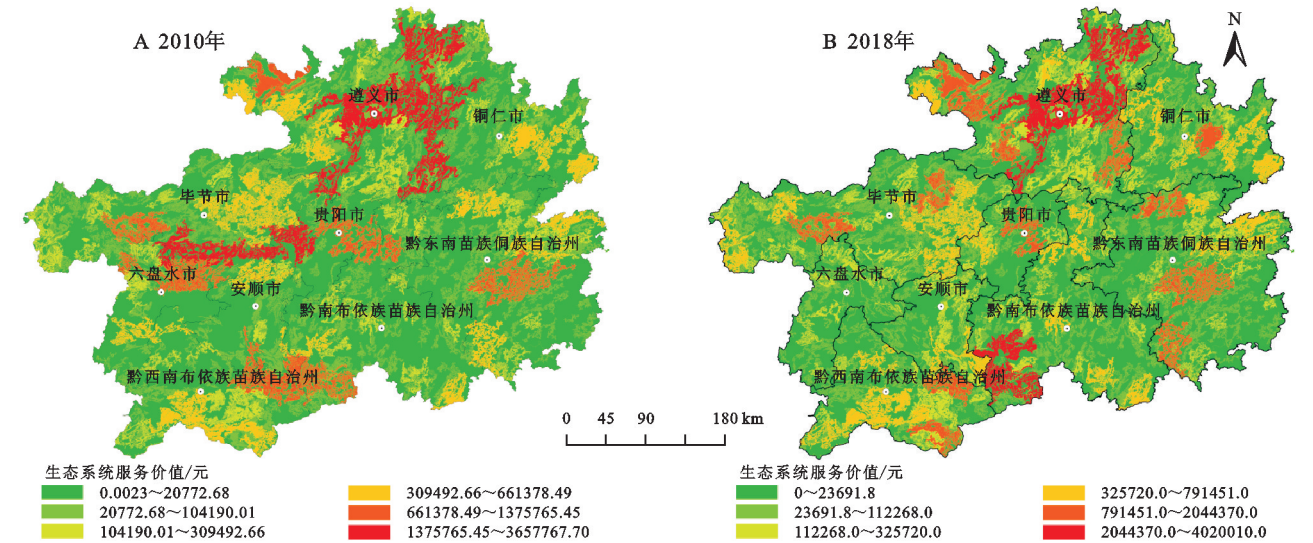
$$UHAI = UP \times \frac{S_{CLE}}{US} = UP \times \frac{\sum_{i=1}^n SL_j \times CI_i}{RS} \quad (4)$$

式中:RHAI为区域乡村人类活动强度指数(rural human activity intensity index),表征区域乡村人口生产生活对土地利用影响强度;UHAI为区域城镇人类活动



强度指数(urban human activity intensity index),表征区域城镇人口生产生活对土地利用影响强度;RP 为区域内乡村人口总数(万人);UP 为区域内城镇人口总数(万人); $S_{CLE}$ 为建设用地当量面积( $km^2$ );RS 为区域乡村用地总面积( $km^2$ );US 为区域城镇用地总面积( $km^2$ ); $SL_i$ ,  $SL_j$  为第  $i, j$  种土地利用/覆被类型的面积( $km^2$ ); $CI_i$ ,  $CI_j$  为第  $i, j$  种土地利用/覆被类型的建设用地当量折算

系数<sup>[37]</sup> [ $i$  代表林地、草地、湖泊、水库坑塘、滩地,水田、旱地等乡村土地利用类型; $j$  代表城镇用地、农村居民点、其他建设用地、裸岩石质地、裸土地、河渠等城镇建设利用类型(裸岩石质地、裸土地、河渠,其影响效应基本接近于城镇建设用地,且其生态系统服务功能价值较低,因而划入城镇建设类用地)]; $n$  为区域内土地利用/覆被类型数。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号黔 S(2022)005 号的标准地图制作,底图未做修改,下图同。

3.3 人类活动强度阈值

(1) 乡村人类活动强度阈值(threshold of rural human activity intensity index, TRHAI)。乡村人类活动强度,是指一定区域人类对乡村地表自然覆被的利用、改造和开发的程度。其中,农业生产活动是乡村人类活动最集中的体现,也是乡村承载人类活动强度阈值变化最重要驱动因素,因而农业生产人均粮食产量是可表征乡村人类活动强度变化的程度。参照联合国粮食及农业组织及部分国内学者<sup>[38]</sup>研究成果,人均粮食温饱底线标准为 350 kg/(人·a),并作为保障区域人们生存的最低粮食需求,通过核算得到区域最低粮食需求量对应粮食作物最低播种面积,从而计算得到区域人类活动强度最低阈值。2010 年,全国人均粮食产量为 407.54 kg/(人·a),2018 年人均粮食产量为 471.48 kg/(人·a)。贵州省属喀斯特山区,生态环境极为脆弱,耕地面积少且质量较差,单位面积粮食产量较低。因而,以全国人均粮食产量作为贵州省乡村人类活动中所能获得的人均粮食产量最高值,计算得到区域人类活动强度最高阈值,具体计算公式如下:

$$SL_{耕地} = \frac{AC \times TP}{AY}$$
 (5)

$$TRHAI = PR \times \frac{S_{CLE}}{RS} = RP \times \frac{\sum_i (SL_{耕地} \times CI_{耕地} + SL_i \times CI_i)}{RS}$$
 (6)

式中:TRHAI 为乡村人类活动强度阈值(万人),表征保障区域人们最低粮食需求量的乡村人类活动强度最小阈值(TRHAI-低),或区域能够获得最高粮食产量的人类活动强度最高阈值(TRHAI-高); $SL_{耕地}$  为保障区域最低粮食需求的粮食作物播种面积( $hm^2$ );AC 为人均粮食产量[ $kg/(人 \cdot a)$ ];TP 为区域人口总数(万人);AY 为区域粮食作物平均单产( $kg/hm^2$ );RP 为区域内乡村人口总数(万人); $CI_i$  为第  $i$  种土地利用/覆被类型的建设用地当量折算系数; $n$  为区域内土地利用/覆被类型数; $CI_{耕地}$  代表粮食作物播种面积建设用地当量折算系数,采用水田与旱地的平均值,即为 0.4; $i$  为除水田与旱地外的其他农业用地类型,其他同公式(3)–(4)。

(2) 城镇人类活动强度阈值(threshold of urban human activity intensity index, TUHAI)。城镇人类活动强度,是一定区域人类对城镇地表开发建设利用的程度。其中,建成区是城镇人类活动强度最集中区域,可表征城镇人类活动强度。贵州省属于喀斯特山区,地形崎岖,坡度陡峭,建成城区面积受地形地貌显著限制。以全国人均建成面积为当量系数,通过换得到 2010 年与 2018 年贵州各地市建成区面积,并将其作为建成区面积的理想最大阈值,从而计算得到各地

市城镇人类活动强度最大阈值。具体计算方法如下:

$$I = \frac{UA_{\text{全国}}}{UP_{\text{全国}}} \quad (7)$$

$$SL_{k\text{建}} = I \times UP_K \quad (8)$$

$$TUHAI = UP \times \frac{S_{\text{CLE}}}{US} = UP \times \frac{\sum_{j=1}^n (SL_{k\text{建}} \times CI_{\text{建}} + SL_j \times CI_j)}{US} \quad (9)$$

式中: TUHAI 为城镇人类活动强度最大阈值;  $I$  为全国的人均建成区面积 ( $\text{km}^2/\text{万人}$ );  $UA_{\text{全国}}$  为全国城建区总面积 ( $\text{km}^2$ );  $UP_{\text{全国}}$  为全国城镇总人口 (万人);  $SL_{k\text{建}}$  为贵州省各地市各年建成区面积最高阈值 ( $\text{km}^2$ );  $UP_k$  为贵州省各地市城镇人口数量;  $k$  为贵州省各地市;  $j$  为除城镇用地外的其他建设用地区域; 其他与公式 (3) — (4) 相同。

### 3.4 人类活动强度的区域效应

人类活动强度区域效应 (effects of human activities intensity, EHAI), 以单位人类活动强度产生的生态与经济价值表征人类活动对区域生态与经济影响效益。主要包括乡村人类活动生态效益 (rural ecological effects of human activities intensity, REEHAI) 与城镇人类活动经济效益 (urban economic effects of human activities intensity, UEEHAI), 代表人类活动对区域生态与经济的影响程度。人类活动强度, 可视为对生态产值与经济产值的投入多少的程度。国民生产总值大小是城镇区域各人类生产活动效应集中体现, 因而单位人类活动强度的 GDP 值可表征城镇区域人类活动强度的经济效应; 区域国民生产总值越高, 人类活动强度越低, 则单位人类活动强度经济效应越高。生态系统服务价值演变是乡村区域人类活动对生态系统结构与功能影响的重要体现, 因而单位人类活动强度的生态系统服务价值大小可表征乡村区域人类活动强度的生态效应; 人类活动强度越低, 对生态环境修复保护好, 生态系统服务价值越高, 则单位人类活动强度生态效应越高。其计算公式如下:

$$EHAI = REEHAI + UEEHAI \quad (10)$$

$$REEHAI = \frac{ESV}{RHAI} \quad (11)$$

$$UEEHAI = \frac{GDP}{UHAI} \quad (12)$$

式中: EHAI 为单位人类活动强度对区域生态与经济影响总效应 (元/人); REEHAI 为区域单位乡村人类活动生态价值效应 (元/人); UEEHAI 为区域单位城镇人类活动经济生产价值效应 (元/人); GDP 为国内地区生产总值 (元/a); ESV 为生态系统服务价值 (元/a)。

## 4 结果与分析

### 4.1 贵州省各地市城乡人类活动强度时空演变

对人类活动强度指数 (HAILS) 修订并提出城镇与乡村人类活动强度计算公式, 见公式 (3) — (4), 将贵州省各地市 2010 年、2018 年土地利用类型与人口数据代入, 计算得到城镇人类活动强度与乡村人类活动强度 (图 2—3)。分析可知, 2010—2018 年, 贵州省各地市城镇人类活动强度均呈增强变化 (22.72%~124.83%), 各地市乡村人类活动强度均呈减弱变化 (7.57%~28.57%), 表明各地市人口由乡村向城镇聚集, 在城镇生产与建设过程中对城镇区域造成较强的人类活动影响, 乡村区域则随着人口向城镇和省外区域流动, 乡村区域人类活动影响逐渐减弱。结果也与贵州省近年以生态文明建设为中心, 展开各项生态治理、修复与保护, 促使人类活动对乡村生态环境影响降低相吻合。其中, 黔西南州 (增加 124.83%)、铜仁市 (增加 112.13%) 的城镇人类活动强度增加最显著, 其次是遵义市和安顺市; 遵义市 (降低 28.57%)、黔西南州 (22.80%)、六盘水市 (20.84%) 和黔东南州等地市乡村人类活动强度降低最显著。

2010—2018 年, 贵阳市城镇人类活动强度全省最高, 乡村人类活动强度全省最低, 且城镇人类活动显著高于乡村人类活动强度 (13.88~19.22 倍), 表明其作为贵州省经济、政治、文化中心城市, 城镇人口数量多、城镇生产建设活动程度最高, 城乡人类活动强度差距最显著; 其余城市城镇人类活动强度为乡村人类活动强度 1.14~6.35 倍, 城乡人类活动强度相差较小, 这与其城镇人口数量相对较少, 社会经济发展水平相对较低相吻合。其中, 毕节市、铜仁市、黔东南州、黔西南州和黔南州等城镇人类活动强度仅比乡村人类活动强度略高 (1.14~4.44 倍), 这与其交通非常落后、经济发展水平非常低, 人们以农业生产生活为主等基本情况吻合。同时, 随着各地市经济快速发展, 人口大量向城市聚集, 城镇人类活动强度, 城乡人类活动强度差距扩大, 2018 年城乡人类活动强度较 2010 年呈增加变化趋势 (1.38~2.91 倍)。

### 4.2 乡村人类活动强度阈值时空演变

分别将贵州省 2010 年与 2018 年粮食单产平均值、人均粮食产量和人均粮食温饱底线等数据分别代入公式 (5) — (6), 计算得到 2010 年与 2018 年贵州各地市乡村人类活动强度的最低与最高阈值 (图 4—5)。

分析表明, 2010—2018 年, 仅贵阳市与毕节市乡村人类活动强度的最低与最高阈值呈略微升高变化 (0.89%~6.23%), 其余地市乡村人类活动强度最低与最



高阈值均呈降低变化(4.89%~30.12%)。贵阳市作为贵州省省会城市,外来人口众多,2018 年人口密度 458 人/km<sup>2</sup>,大量人口对城镇周边乡村生产生活影响强度呈增加变化,因而其人类活动强度最低阈值与最高阈值均呈增加趋势;毕节市是典型中高山喀斯特地貌区,地形崎岖、交通落后,经济发展水平低,乡村人口数量较多,因而其乡村人类活动强度阈值仍呈增加变化。贵州省

其余地市,经济发展水平也较低,但乡村人口大量外出从事生产活动,人们对乡村土地的压力与扰动降低,对乡村区域影响强度最低与最高阈值呈降低变化。安顺市、铜仁市、黔东南州、黔东南州和黔南州的乡村人类活动强度最低与最高阈值间范围呈增加趋势,乡村人类活动强度变化幅度扩大(2018 年为 298.43,347.72,358.44,241.51,347.93),其余地市则呈略微降低变化。

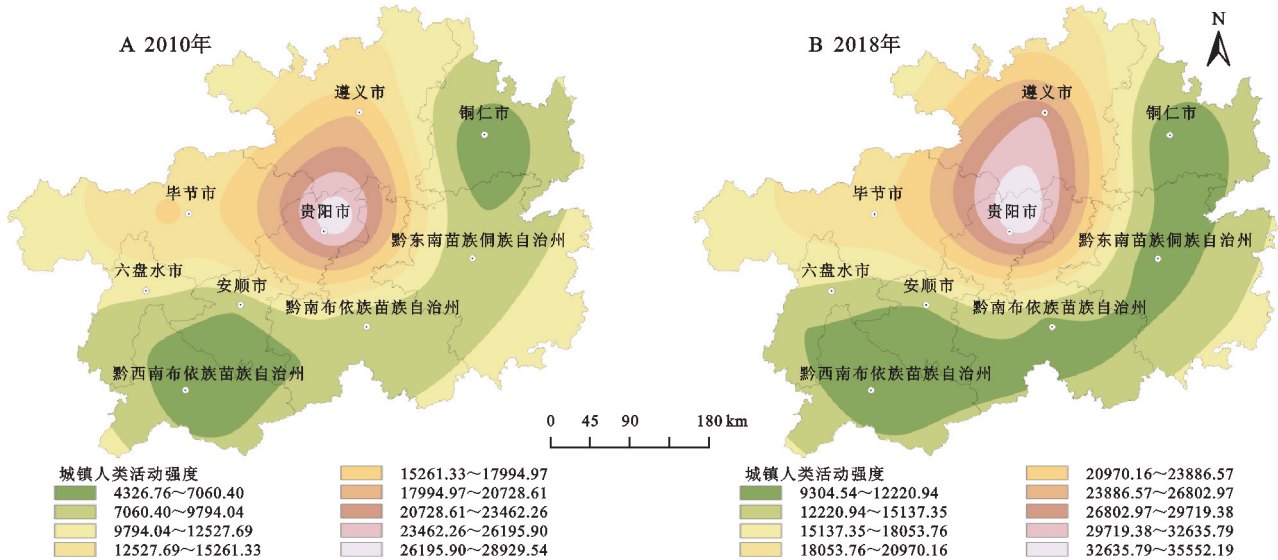


图 2 2010 年与 2018 年贵州省各地市城镇人类活动强度

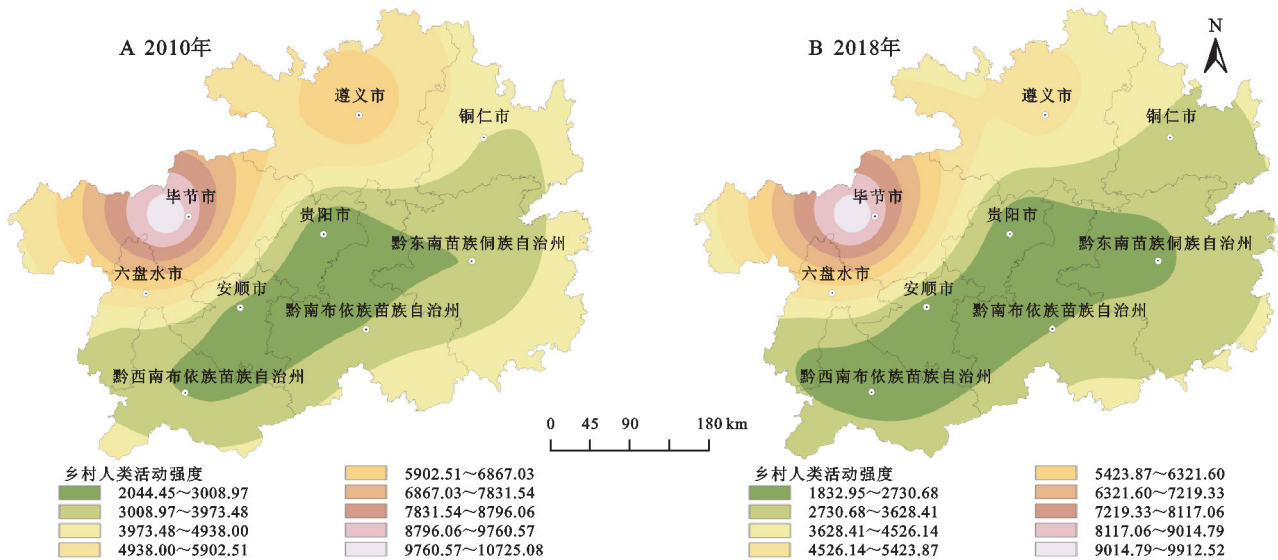


图 3 2010 年与 2018 年贵州省各地市乡村人类活动强度

2010 年与 2018 年,仅贵阳市乡村人类活动强度值低于最低阈值,这与贵阳市作为贵州省政治经济文化中心,是贵州省经济最发达区域,与乡村人口吸引力最强相吻合。其余地市乡村人类活动强度均显著高于最高强度阈值(1.02~1.62 倍),结果与各地市人口数量多、人均耕地资源少、农村贫困度高,以及农业种植与生产活动频繁且强烈等相吻合。研究表明,贵州省各地市乡村人类活动强度整体上已经远超最高阈值,对乡村区域土地资源与生态系统造成较大压力。

4.3 城镇人类活动强度阈值时空演变

将 2010 年与 2018 年全国建城区面积、城镇人口及贵州省各地市城镇人口等数据,分别代入公式(7)~(9),得到贵州省各地市 2010 年与 2018 年城镇人类活动强度最高阈值(图 6)。分析可知,2010—2018 年,各地市城镇人类活动强度及其阈值均显著增加(1.25~1.79 倍),且其最高阈值增加速度更快;2010 年,贵阳市、六盘水、遵义市、安顺市、毕节市和黔东南州的城镇人类活动强度略高于最高阈值(1.018~1.198 倍),

铜仁市、黔东南州与黔南州略低于最高阈值(0.686~0.892倍);2018年各地市城镇人类活动强度均略低于最高阈值(0.940~0.997倍)。2010—2018年,贵州省各地市城镇人类活动强度由略高于最高阈值向整体略低于最高阈值变化,这是由于近年人类在城镇

开发建设过程更加合理,促使其承载人类活动强度阈值增长速度更快。同时,由于各地市城镇人类活动强度仍然呈快速增长变化,且非常接近城镇人类活动强度最高阈值,城镇土地利用与生态环境系统仍然承受着较大压力。

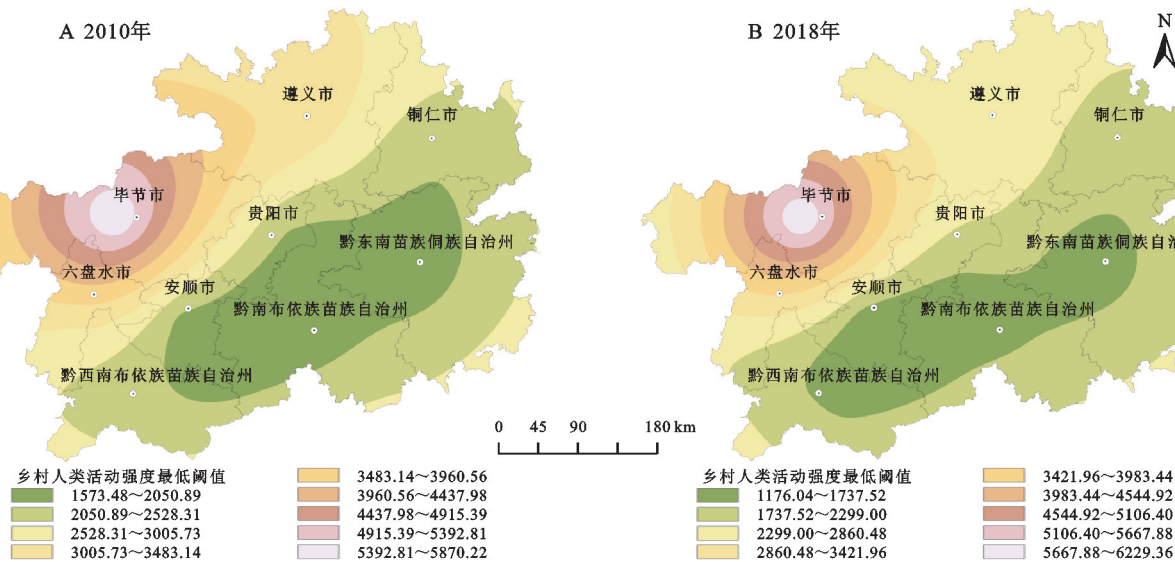


图4 2010年与2018年贵州省各地市乡村人类活动强度最低阈值

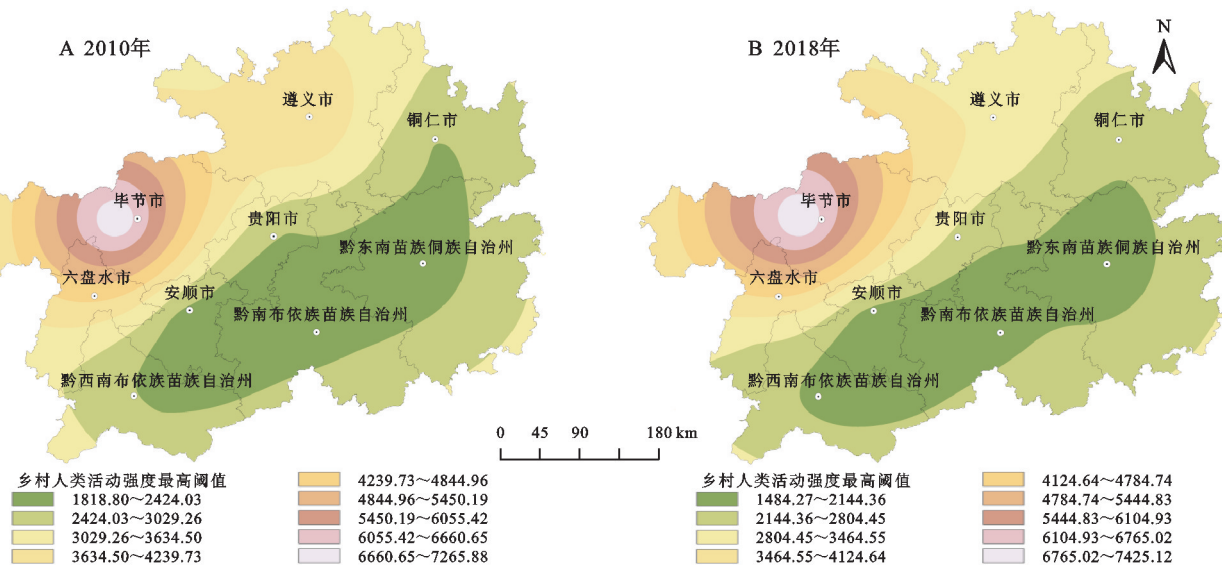


图5 2010年与2018年贵州省各地市乡村人类活动强度最高阈值

#### 4.4 人类活动影响下区域生态效应与经济效应演变

将2010年与2018年贵州省生态系统服务价值数据(图1)与国内生产总值数据代入公式(10)~(12),得到各地市单位城镇人类活动经济价值效应与单位乡村人类活动生态价值效应,以及单位人类活动区域总效应(图7—8)。

分析可知,2010—2018年,黔东南州、铜仁市和遵义市的单位城镇人类活动经济效应较高,黔南州、黔东南州和黔西南州的单位乡村人类活动生态效应较高;各地市单位乡村人类活动生态效应呈增加变化(年均增长率8.60%~12.46%),遵义市与黔西南州的增长幅度最大

(55.88%,31.04%)。结果表明,贵州省作为全国生态文明建设先行示范区,在长期生态治理、修复与保护过程中,单位人类活动的生态系统服务价值呈增长趋势,对其生态修复保护等人类活动投入产生效益呈增长趋势。其中,黔南州、黔东南州和黔西南州等地市森林面积较大、生态环境状况最好,常住人口数量减少,人类活动强度减弱,因而单位人类活动强度生态效应最高。贵州省各地市单位城镇人类活动经济效应也呈增加变化(年均增长速率8.74%~13.53%)。随着贵州省各地市人类活动强度增强(增加22.72%~124.83%),各地市经济快速发展,国民生产总值增加幅度较大,因而单位城镇人类



活动强度经济效应呈增加趋势。整体而言,单位乡村人类活动生态效应年均增长率高于城镇人类活动经济效

应年均增长率,表明乡村人类活动强度降低速率较快,单位乡村人类活动强度生态效应增加较高。

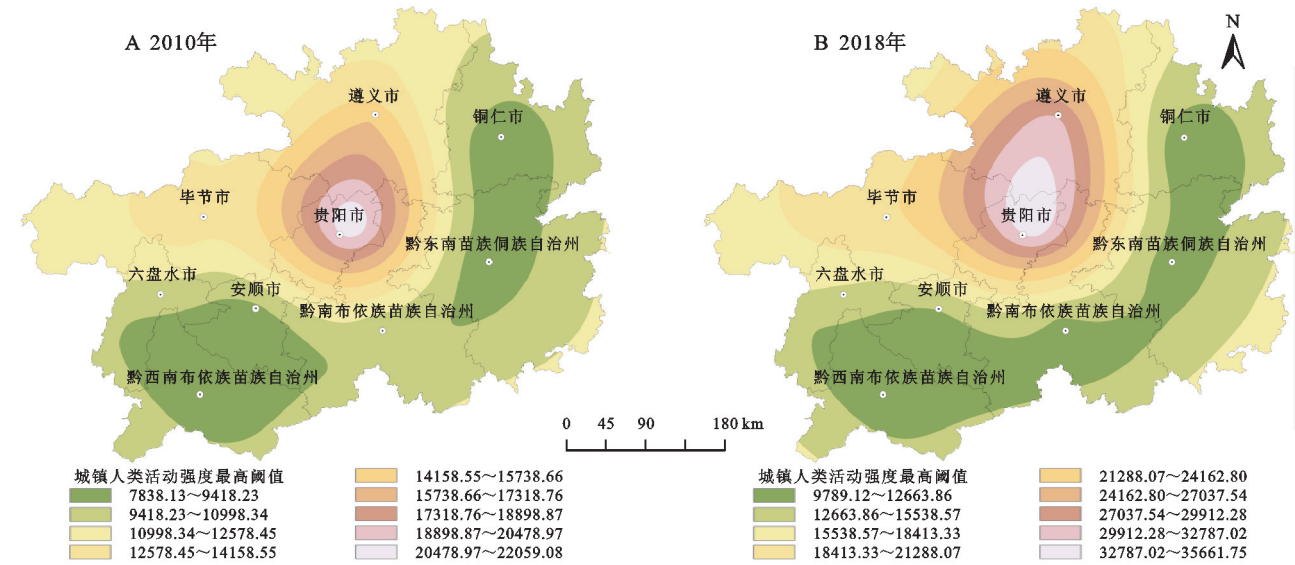


图 6 2010 与 2018 年贵州省各地市城镇人类活动强度最高阈值

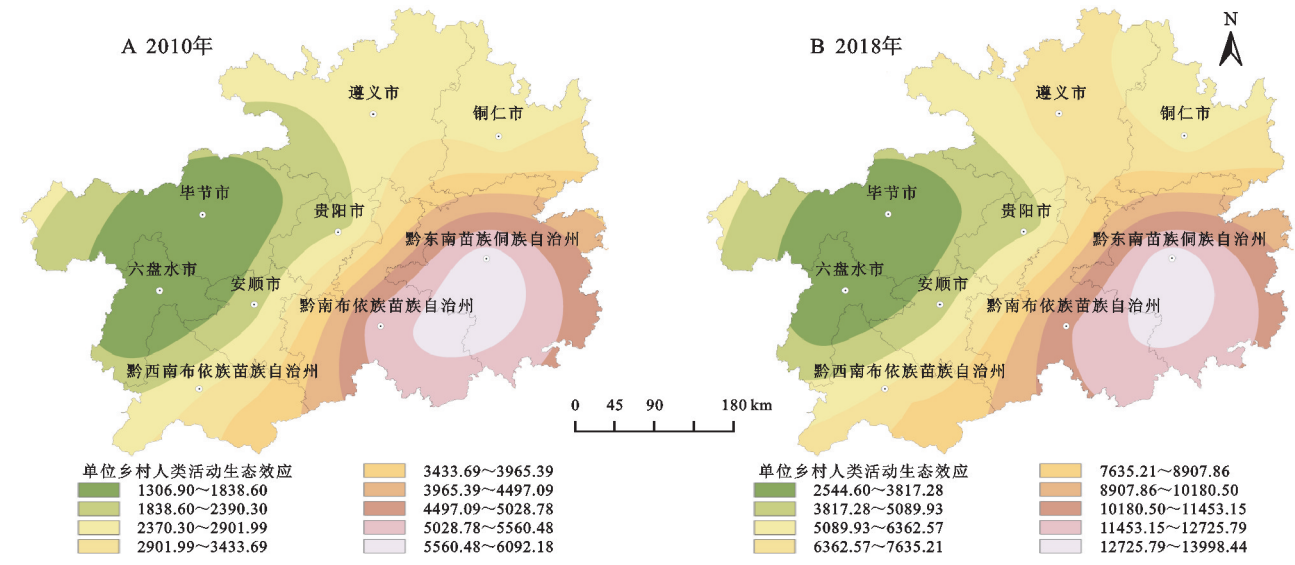


图 7 2010 年与 2018 年贵州省各地市单位乡村人类活动生态效应

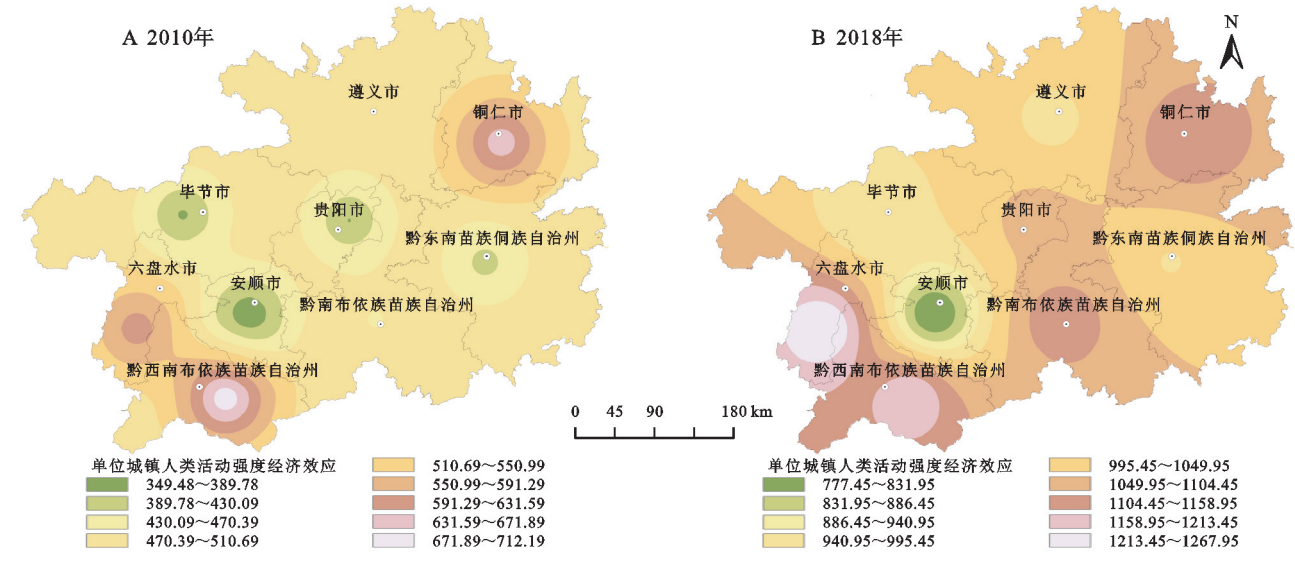


图 8 2010 年与 2018 年贵州省各地市单位城镇人类活动经济效应



尽管贵州省各地市城镇人类活动强度高于乡村人类活动强度,但由于各地市经济发展水平平均较低、人口密度大,单位城镇人类活动经济效应值总体仍然较低。贵州省属喀斯特山区,经过近20年对石漠化等生态环境问题治理,人类活动强度较大幅度降低,人类活动强度生态效应值呈显著增加变化,因而各地市单位乡村人类活动生态效应显著高于单位城镇人类活动经济效应(2010年为2.24~14.84倍;2018年为2.52~14.11倍)。

## 5 讨论与结论

(1) 随着贵州省各地市城镇化建设、经济快速发展,大量乡村人口进入城镇生产与生活,各地市城镇人类活动强度均呈增加变化(增加22.72%~124.83%),乡村人类活动强度均呈减弱变化(降低7.57%~28.57%);贵阳市作为省会城市,其城镇人类活动强度最高,乡村人类活动强度最低;各地市均是城镇人类活动强度大于乡村人类活动强度,与贵州全省城镇化快速发展相吻合。

(2) 2010—2018年,贵州省大多数地市乡村人类活动强度最低与最高阈值均呈降低变化,这与大量乡村人口迁移至城镇生产与生活密切相关,使人类对乡村土地与生态系统的开发利用与扰动程度降低。全省仅贵阳市乡村人类活动强度值低于最低阈值,其余地市均是乡村人类活动强度均显著高于最高强度阈值(1.02~1.62倍),各地市乡村人类活动强度整体上已经远超最高阈值,山区土地系统承受严重超其承载力的乡村人类活动。

(3) 2010—2018年,各地市城镇人类活动强度增长速度较快,但随着城镇开发建设等人类活动日趋合理,以及投入产出增加,城镇人类活动强度最高阈值也呈快速增长;尽管2018年贵州省各地市城镇人类活动强度略低于最高阈值,但其城镇土地利用与生态环境系统仍然承受着较大压力。

(4) 2010—2018年,随着贵州省各地市城镇经济快速发展,单位城镇人类建设生产投入产出值呈增加变化,以及长期乡村生态环境治理、保护与修复,常住乡村人口减少,人类活动强度降低,生态系统结构与功能改善,生态系统服务价值快速增长。因而,贵州省各地市单位城镇人类活动经济效应与乡村人类活动生态效应均呈增长变化趋势(8.60%~13.53%)。

(5) 贵州经济发展水平整体仍然较低,导致单位

城镇人类活动经济效应仍然较低,同时在经过长期生态环境治理、修复与保护,人类活动生态效应逐年增长,单位乡村人类活动生态效应较高,因而贵州省各地市单位乡村人类活动生态效应是城镇人类活动经济效应的2.24~14.84倍。

人类活动是生态环境与社会经济发展演变重要影响因素与驱动力,城镇与乡村的人类活动强度具有显著差别,但目前分别针对城镇与乡村人类活动强度核算方法及其影响效应的研究较为欠缺。同时,作为人类活动强度主体,人口数量影响在人类活动强度指数核算模型中也未充分体现。在研究中,提出按城镇与乡村各用地类型分别进行城镇与乡村人类活动强度指数的计算,并考虑人口数量因素,从而得到城镇与乡村人类活动强度指数,但还存在未结合海拔、坡度和地貌等自然影响因素的不足。在后续研究中,应该深入探究城镇与乡村人类活动强度测算方法体系,研究成果将有助于深刻揭示生态环境、社会经济与人类活动强度间相互作用与影响机制。

### 参考文献:

- [1] Crutzen P J. Geology of mankind[J]. *Nature*, 2002, 415(6867): 23-23.
- [2] Liu J G. Integration across a meta coupled world[J]. *Ecology and Society*, 2017, 22(4). DOI: 10.5751/ES-09830-220429.
- [3] 魏建兵,肖笃宁,解伏菊.人类活动对生态环境的影响评价与调控原则[J]. *地理科学进展*, 2006, 25(2): 36-45.
- [4] Miler R B. Interactions and collaboration in global change across the social and natural sciences[J]. *AMBIO*, 1994, 23(1): 19-24.
- [5] 刘燕华,葛全胜,张雪芹,等.全球环境变化与中国国家安全[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(4): 346-351.
- [6] Mauser W, Klepper G, Rice M, et al. Transdisciplinary global change research: the co-creation of knowledge for sustainability[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(3/4): 420-431.
- [7] Loreau M, Olivieri I. Diversitas: an international programmed of biodiversity science[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1999(14): 2-3.
- [8] 庄大方,刘纪远.中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 105-111.
- [9] 文英.人类活动强度定量评价方法的初步探讨[J]. *科学对社会的影响*, 1998(4): 56-61.
- [10] 张翠云,王昭.黑河流域人类活动强度的定量评价[J].

- 地球科学进展,2004,19(S1):386-390.
- [11] 郑文武,田亚军,邹君,等.南方红壤丘陵区人类活动强度的空间模拟与特征分析:以衡阳盆地为例[J].地球信息科学学报,2010,12(5):628-633.
- [12] 徐勇,孙晓一,汤青.陆地表层人类活动强度:概念、方法及应用[J].地理学报,2015,70(7):1068-1079.
- [13] 朱纹君,韩美,孔祥伦,等.1990—2018年黄河三角洲人类活动强度时空格局演变及其驱动因素[J].水土保持研究,2021,28(5):287-293.
- [14] 闫伊亮,胡江玲,张发,等.2000—2018年喀什地区人类活动强度时空变化特征及影响因素分析[J].内蒙古师范大学学报:自然科学汉文版,2022,51(3):250-257.
- [15] 陈泓瑾,刘琳,张正勇,等.天山北坡人类活动强度与地表温度的时空关联性[J].地理学报,2022,77(5):1244-1259.
- [16] 刘世梁,刘芦萌,武雪,等.区域生态效应研究中人类活动强度量化评价[J].生态学报,2018,38(19):6797-6809.
- [17] 徐小任,徐勇.黄土高原地区人类活动强度时空变化分析[J].地理研究,2017,36(4):661-672.
- [18] 胡书玲,余斌,卓蓉蓉,等.中国陆域地表人类活动与自然环境空间关系研究[J].生态学报,2020,40(12):3935-3943.
- [19] 李振男,潘影,武俊喜,等.西藏生态移民安置村人类活动强度变化[J].资源科学,2021,43(11):2356-2368.
- [20] 许珺,徐阳,胡蕾,等.基于位置大数据的青藏高原人类活动时空模式[J].地理学报,2020,75(7):1406-1417.
- [21] 赵忠旭,张燕杰,潘影,等.夜间灯光数据支持下西藏人类活动强度变化对生态系统调节服务的影响[J].地球信息科学学报,2020,22(7):1544-1554.
- [22] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
- [23] 刘慧敏,刘绿怡,丁圣彦.人类活动对生态系统服务流的影响[J].生态学报,2017,37(10):3232-3242.
- [24] 刘永婷,杨钊,徐光来,等.基于四象限模型的生态系统服务与人类活动强度关联性分析:以皖南国际旅游文化示范区为例[J].生态学报,2022,42(13):1-11.
- [25] 张雪松,徐梓津.少数民族聚集区“三生空间”功能耦合协调度时空演变及与人类活动强度关系:以贵州省少数民族自治州为例[J].水土保持研究,2021,28(6):268-273.
- [26] 连喜红,祁元,王宏伟,等.人类活动影响下的青海湖流域生态系统服务空间格局[J].冰川冻土,2019,41(5):1254-1263.
- [27] 黄孟勤,李阳兵,李明珍,等.三峡库区人类活动强度与景观格局的耦合响应研究[J].生态学报,2022,41(10):3959-3973.
- [28] 李理,朱连奇,朱文博,等.生态系统服务价值与人类活动强度关联性分析及权衡:以淇河流域为例[J].中国环境科学,2020,40(1):365-374.
- [29] Benjamin S H, Shaun W, Kimberly A S, et al. A global map of human impact on marine ecosystems[J]. Science, 2008,319(5865):948-952.
- [30] Mildrexler D J, Zhao M S, Running S W. Testing a MODIS global disturbance index across north America [J]. Remote Sensing of Environment, 2009,113(10):2103-2117.
- [31] Wu X, Liu S L, Hou X Y, et al. Quantification and driving force analysis of ecosystem services supply, demand and balance in China[J]. Science of the Total Environment,2019,652:1375-1386.
- [32] 贵州省统计局调查总队编.贵州省统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2019.
- [33] 贵州省统计局调查总队编.贵州省统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2011.
- [34] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas[J]. Ecological Economics, 1999,29(2):293-301.
- [35] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(6630):253-260.
- [36] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [37] 贺祥.生态系统服务供给安全阈值视域下喀斯特地区生态安全演变[J].地理科学,2021,41(11):2021-2030.
- [38] 肖国安.未来十年中国粮食供求预测[J].中国农村经济,2002(7):9-14.