

DOI: 10.5846/stxb202103260798

封清,周忠发,陈全,朱昌丽.基于易地扶贫搬迁视角的喀斯特生态脆弱区生态系统服务价值的时空演变.生态学报,2022,42(7):2708-2717.

Feng Q, Zhou Z F, Chen Q, Zhu C L. Spatial-temporal evolution research of ecosystem service value in ecologically vulnerable karst regions under the perspective of poverty alleviation relocation. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(7): 2708-2717.

# 基于易地扶贫搬迁视角的喀斯特生态脆弱区生态系统服务价值的时空演变

封 清<sup>1,2,3</sup>, 周忠发<sup>1,3,\*</sup>, 陈 全<sup>1,3</sup>, 朱昌丽<sup>1,3</sup>

1 贵州师范大学喀斯特研究院/地理与环境科学学院, 贵阳 550001

2 贵州城市职业学院航空学院, 贵阳 550046

3 喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵阳 550001

**摘要:**易地扶贫搬迁是针对生活在“一方水土养不好一方人”地区贫困人口实施的一项专项扶贫工程,在助力贫困人口实现脱贫的同时,对改善生态脆弱区生态环境具有积极的促进意义。“十三五”期间贵州省易地扶贫搬迁人口约占全国总搬迁人口的1/5,是全国易地扶贫搬迁人口最多的省份,因此,研究选择贵州省县域搬迁人口最多的册亨县为研究区域。基于2009、2015、2020年3期土地利用和易地扶贫搬迁人口数据,研究选用修正当量因子法及耦合协调模型分析易地扶贫搬迁实施前后的生态系统服务价值(ESV)时空演变规律,并探讨了易地扶贫搬迁生态修复成效。结果表明:(1)搬迁后2015—2020年,册亨县ESV增长8.32亿元,增长幅度达到17.97%,比较搬迁前2010—2015年(增幅4.13%)有显著提高。(2)坡妹、冗渡、巧马、丫他、八渡、百口6个乡镇ESV增量占册亨县总增量的82.89%,ESV增量贡献最大。(3)册亨县搬迁力度越大的乡镇其ESV增加越明显,对应的耦合协调水平越高,易地扶贫搬迁与ESV增长有明显的空间相关关系。研究从生态系统服务的角度量化易地扶贫搬迁所产生的生态修复成效,有助于提高易地扶贫搬迁后续工作的科学性和空间针对性。

**关键词:**喀斯特生态脆弱区;易地扶贫搬迁;生态系统服务价值;耦合协调度

## Spatial-temporal evolution research of ecosystem service value in ecologically vulnerable karst regions under the perspective of poverty alleviation relocation

FENG Qing<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Zhongfa<sup>1,3,\*</sup>, CHEN Quan<sup>1,3</sup>, ZHU Changli<sup>1,3</sup>

1 School of Karst Science, School of Geography & Environment Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China

2 School of Tourism & Aviation Culture, Guizhou City Vocational College, Guiyang 550046, China

3 The State Key Laboratory Incubation Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang 550001, China

**Abstract:** The poverty alleviation relocation is a special poverty alleviation project for the poor people who live in the regions with bad soil and water conditions which can't afford to their lifestyle. The project is not only possible for poor people to get rid of poverty, but it also contributes to improve the ecological environment in the ecologically fragile regions. During the 13th Five-Year Plan period of China, the population relocated from inhospitable areas in Guizhou province accounted for about 1/5 of the total population in China. As a result, Guizhou province has the largest population of under relocated people from inhospitable regions in China. Thus, this study takes a county with the largest relocated population in Guizhou province as an example. Based on land used maps in 2009, 2015 and 2020 years and spatial data of poverty relocated population, a modified equivalent factor method and a coupling coordination model were used to explore the

**基金项目:**国家自然科学基金地区项目(41661088);贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2017]5726-57);贵州省高层次创新型人才培养计划—“百”层次人才(黔科合平台人才[2016]5674)

收稿日期:2021-03-26; 网络出版日期:2021-12-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fa6897@163.com

relocation of the largest population in Ceheng County, Guizhou Province. Meanwhile, the Spatial-temporal evolution of ecosystem service value (ESV) with the implementation of the policies for poverty-alleviating relocation out of inhospitable regions and its intrinsic laws were analyzed, and then the effectiveness of poverty alleviation relocation for ecological restoration were explored. The experimental results show that: (1) From 2015 to 2020 after the project implementation, the ESV has a significant improvement, which is increased by RMB 832 million yuan at a rate of 17.97%, more than 4 times that from 2010 to 2015 before the implementation of the project at a rate of 4.13%; and (2) In the study area, the growth of ESV of the six towns of Pomei, Sandu, Qiaoma, Yata, Badu and Baikou accounts for 82.89% of the total increment of the study area, which is the largest contribution of the ESV increment; and (3) There was an obvious spatial correlation between the poverty-alleviating relocation out of inhospitable regions and the growth of ESV, and the coupling coordination degree between the ESV variable and the relocated population's density in this study area was significant association. The larger the relocation of the townships in the county, the more obvious the increase of ESV. From the perspective of ecosystem services, this study quantifies the effects of ecological restoration triggered by the poverty-alleviating relocation out of inhospitable regions. The results of this study are helpful for improving the scientific and spatial pertinence of the corresponding follow-up work.

**Key Words:** ecologically vulnerable karst region; poverty alleviation relocation; ecosystem service value; coupling degree of compatibility

生态系统服务维持着地球正常的运转<sup>[1]</sup>,生态系统功能稳定输出是人类社会可持续发展的基本前提<sup>[2]</sup>,生态系统服务研究对于社会可持续发展至关重要<sup>[3]</sup>。生态系统服务价值(ESV)是量化后的生态系统服务功能,表示方式更为直观,应用较为广泛<sup>[4]</sup>。Costanza 在 1997 年率先提出了全球 ESV 当量因子表<sup>[5]</sup>,谢高地等在 Costanza 研究基础上结合中国实际情况,建立了中国单位面积价值当量因子表,为国内有关 ESV 的研究提供了理论基础<sup>[6-7]</sup>,由此在国内掀起 ESV 研究热潮。王效科等说明了生态系统服务较生态效益包含更多的社会经济特征<sup>[8]</sup>,赖元长等对退耕还林与 ESV 变化的相互关系进行了分析<sup>[9]</sup>,赵志刚等测算赣西地区 ESV 时空变化特征探讨区域生态补偿策略<sup>[10]</sup>。ESV 研究了生态系统服务功能与人类社会发展的关系,量化了区域生态环境保护成效。至今,ESV 已经成为区域生态建设、生态修复效果评估和生态补偿等生态评估决策的重要依据<sup>[11]</sup>。

易地扶贫搬迁对摆脱区域贫困和改善生态环境,促进区域人口、资源、环境协调发展具有积极促进作用<sup>[12]</sup>。易地扶贫搬迁促使农村人口迁入城镇,改变搬迁人口生产生活方式,促进农业产业结构调整,有效地缓解区域人地矛盾<sup>[13]</sup>,生态系统逐渐向良性循环的方向调整过渡<sup>[14]</sup>。易地扶贫搬迁在脱贫攻坚和生态修复方面取得创新性的双赢效果<sup>[15]</sup>。然而,现阶段易地扶贫搬迁研究主要集中于搬迁产业、农户生计、减贫效应等社会发展方面<sup>[16-18]</sup>,较少涉及生态方向研究。易地扶贫搬迁研究仅仅关注其社会经济效应,不利于突显易地扶贫搬迁的综合成效尤其生态修复成效,不利于构建持续有效的易地扶贫搬迁后续决策以促进区域可持续发展。因此,易地扶贫搬迁需要强化对于区域影响人类生活质量的根本因素—生态系统服务的研究<sup>[19]</sup>。ESV 研究了生态系统服务功能与社会发展之间的关系,量化了区域生态环境保护成效。易地扶贫搬迁引起的 ESV 时空演变研究,可以量化易地扶贫搬迁生态保护成效,对于构建易地扶贫搬迁后续决策系统以及增强 ESV 研究的实效性具有积极意义。

喀斯特山区石漠化程度严重、生态环境脆弱,可供有效利用的土地资源有限,当地的人地矛盾日益突显<sup>[20-21]</sup>,由于生态系统的长期开发利用和巨大人口压力的影响,制约了生态环境质量与经济的同步发展<sup>[22-23]</sup>,喀斯特山区是“十三五”期间实施易地扶贫搬迁开展生态修复的重要区域。基于此,选择贵州省石漠化严重且搬迁人口最多的册亨县为例,收集 2009、2015、2020 年 3 个时期的土地利用现状地表覆盖数据,采用两次修正研究区单位面积生态服务价值当量模型,核算和对比研究区易地扶贫搬迁前(2009—2015 年)、搬

迁后(2015—2020年)两个时期易地扶贫搬迁引起ESV时空演变,分析不同搬迁人口密度与ESV变量的耦合协调程度,定量揭示易地扶贫搬迁引起的ESV空间分布变化和生态环境改善趋势,以期为全面评估易地扶贫搬迁生态成效提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究区概况

册亨县地处贵州省西南部,位于东经 105°27'—106°12',北纬 24°38'—25°19'之间,县域国土面积2596.82 km<sup>2</sup>,全县辖 11 个乡镇(街道)132 个行政村(图 1)。20 世纪 80 年代以来,脆弱的生态环境在人类扰动影响下,全县生态环境不断恶化,人地矛盾突出,社会经济发展水平相对滞后,属于典型的“一方水土养不好一方人”区域。册亨县属于我国十四个集中连片特殊困难地区的滇黔桂石漠化片区,2014 年贫困发生率达 33.69%,是全国最后一批脱贫的深度贫困县。2019 年末人口 24.03 万,“十三五”期间,全县共搬迁安置 8.75 万人,占全县人口比重 36.41%。其中搬迁至县城 4.4 万人,搬迁至中心集镇 3.3 万人,跨区域搬迁至兴义、义龙 1.05 万人,共计投入搬迁资金 71.43 亿元。

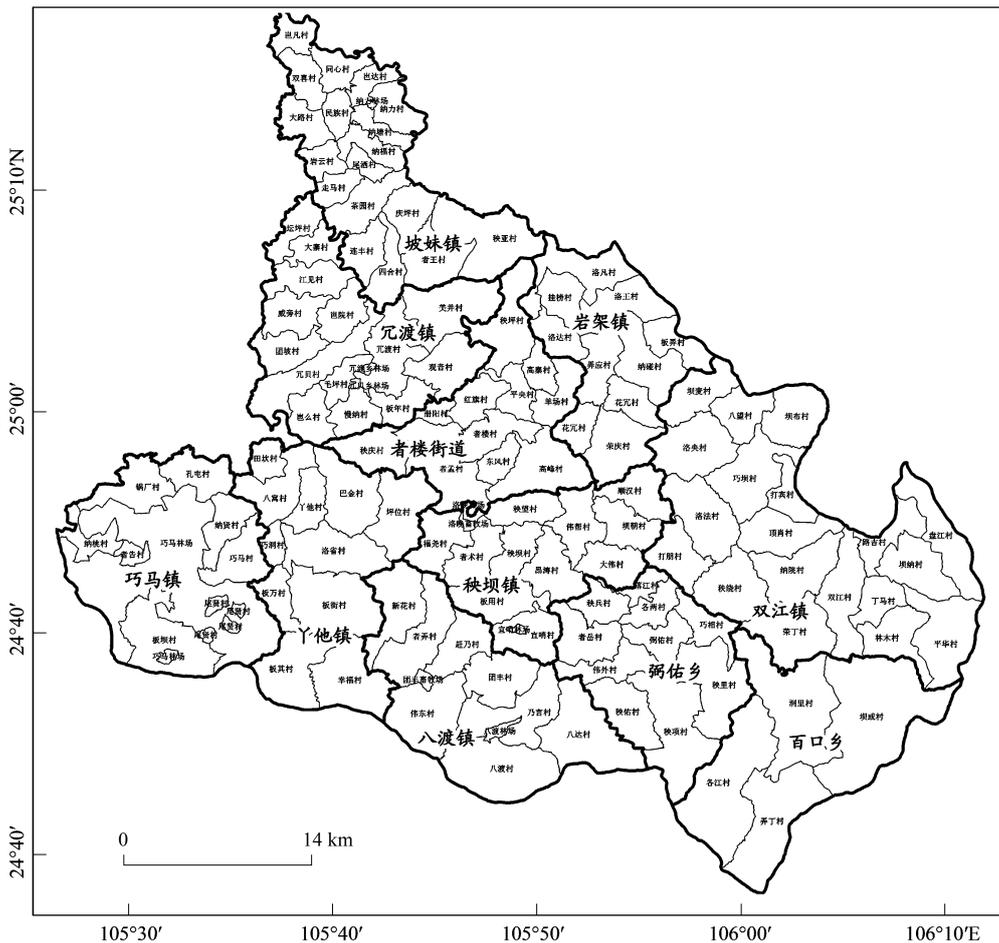


图 1 册亨县地理位置及行政区划示意图

Fig.1 Ceheng' map of geographical location and administrative division

#### 1.2 数据来源

研究数据主要包括册亨县 2009 年、2015 年、2020 年土地利用现状植被覆盖数据及村域范围数据,数据来源于贵州省测绘地理信息行政主管部门。生态系统服务基础单价计算涉及数据来源于当 2015 年的《黔西南

州统计年鉴》及《全国农产品成本收益资料汇编》。遥感影像数据选择 GF1\_WFV 遥感影像,源于遥感集市(www.rscloudmart.com)。研究区数字高程模型(DEM)来源于地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)。气象资料来源中国气象网(http://cma.gov.cn/),陆表太阳总辐射(MJ/m<sup>2</sup>)基于气象站点逐日地表太阳能辐射和日照时数等气象资料,通过最小二乘法拟合回归建立模型计算所得。册亨县易地扶贫搬迁人口数据来源贵州省生态移民局。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 生态系统服务价值计算

研究采用当量因子法测算研究区 ESV:

$$ESV = \sum_f \sum_k A_k \times VC_{kf} \quad (1)$$

式中,ESV 表示生态系统服务价值; $f, k$  分别表示生态系统服务功能分类及生态系统类型; $A_k$  为第  $k$  类生态系统类型面积; $VC$  表示单位面积生态系统服务价值。为保障比较分析效果,全文统一采用 2015 年单位面积 ESV 为基础计算三期 ESV<sup>[24]</sup>。

#### 1.3.2 模型修正

首先采用研究区农田生产力与全国农田生产力的差异作为地区修订系数<sup>[7]</sup>,公式如下:

$$\lambda = Q/Q_0 \quad (2)$$

式中, $\lambda$  表示地区修订转换系数; $Q$  和  $Q_0$ , 分别代表研究区与全国农田的单位面积粮食产量。

册亨县主要粮食作物为水稻、小麦、玉米、薯类,以 2015 年四类粮食的单位面积产量与全国均值进行比较,以其比值作为地区 ESV 修订系数,计算得到转换系数为 0.51。

基于植被净初级生产力(NPP)因子进一步修正当量因子<sup>[25]</sup>。为了更准确的体现册亨县生态系统服务价值的空间差异性,研究应用植被净初级生产力<sup>[26]</sup>在农田单位面积粮食产量修正的基础上进行进一步调整:

$$E_i = (b_i/B)E_1 \quad (3)$$

式中, $E_i$  为修正后的生态系统服务当量; $i=1, 2, \dots, n$ , 为生态系统类型; $E_1$  为需修正的生态系统服务当量; $b_i$  为第  $i$  类生态系统类型的 NPP; $B$  为一级生态系统的 NPP 均值。

基于改进的光能利用率模型 CASA 模型,参照部分参数值<sup>[27]</sup>,计算得到各生态系统类型转换系数,其中草原为 0.551、灌木林为 0.440、针阔混交林为 0.689、阔叶林为 2.235、针叶林为 2.287。据此,在首次 ESV 修订基础上,经过 NPP 修订得出研究区单位面积生态系统服务价值当量(表 1)。

表 1 册亨县单位面积生态系统服务价值当量/(10<sup>3</sup>元 hm<sup>-2</sup>a<sup>-1</sup>)

Table 1 Ecosystem service value of unit area of Ceheng

一级分类	生态系统 Ecosystem	供给服务 Provisioning service			调节服务 Regulating service				支持服务 Support service			文化服务 Cultural service
		食物 生产	原料 生产	水资源 供给	气体 调节	气候 调节	净化 环境	水文 调节	土壤 保持	维持养 分循环	生物 多样性	美学 景观
农田 Cropland	旱地	0.43	0.20	0.01	0.34	0.18	0.05	0.14	0.53	0.06	0.07	0.03
	水田	0.69	0.05	-1.34	0.57	0.29	0.09	1.39	0.01	0.10	0.11	0.05
森林 Forestland	针叶	0.26	0.61	0.31	1.98	5.91	1.74	3.90	2.40	0.19	2.19	0.96
	针阔混交	0.11	0.25	0.13	0.83	2.47	0.70	1.23	1.00	0.08	0.91	0.40
	阔叶	0.33	0.75	0.39	2.47	7.41	2.20	5.40	3.02	0.23	2.75	1.21
	灌木	0.04	0.10	0.05	0.26	0.95	0.29	0.75	0.39	0.03	0.35	0.15
草原 Grassland	草原	0.03	0.04	0.02	0.14	0.38	0.12	0.28	0.17	0.01	0.16	0.07
	灌草丛	0.11	0.16	0.09	0.55	1.46	0.48	1.07	0.67	0.05	0.61	0.27
荒漠 Barren desert	裸地	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01
水域 Water area	水系	0.41	0.12	4.23	0.39	1.17	2.83	52.14	0.47	0.04	1.30	0.96

#### 1.3.3 耦合协调度模型

耦合协调指不同系统在自身和外界的作用下产生的相互作用,为更好反映易地扶贫搬迁对研究区生态系

统服务价值的影响程度,引入耦合协调度模型定量分析两者之间的关联程度。耦合协调度综合考虑了二者的差距与二者共同的发展水平,同步反映二者总体发展水平程度。因此,研究同时构建了研究区 ESV 变量与搬迁人口密度的耦合度及耦合协调度模型<sup>[28-30]</sup>:

$$C = \sqrt{\frac{U_1 \times U_2}{[(U_1 + U_2)/2]^2}} \quad (4)$$

$$D = \sqrt{C \times T}; T = \alpha \times U_1 + \beta \times U_2 \quad (5)$$

式中, $C$  为系统耦合度,说明了 ESV 变量与搬迁人口的关联关系; $U_1$  为村域 ESV 增量规范化数据, $U_2$  为村域搬迁人口数量或搬迁人口比重; $T$  为  $U_1$ 、 $U_2$  的综合评价指数, $\alpha$  和  $\beta$  为待定系数,综合考虑 ESV 增量与搬迁人口重要性相当,取  $\alpha = \beta = 0.5$ ;  $D$  为耦合协调度,不仅说明系统关联关系,还能体现系统总体发展水平,说明系统之间是制约关系还是促进关系。为了明确说明生态系统服务价值与搬迁人口密度的耦合关系,对耦合度及耦合协调度进行等级划分<sup>[30]</sup>(表 2)。

表 2 生态系统服务价值与搬迁人口密度耦合阶段划分

Table 2 Coupling stage division of ecosystem service value and scale of relocated population

耦合等级 Coupling level	低度耦合 Low coupling	一般耦合 General coupling	高度耦合 Highly coupling	极度耦合 Extreme coupling
耦合协调等级 Coupling degree $C$ /耦合协调度 $D$	低耦合协调度	一般耦合协调度	高度耦合协调度	极度耦合协调度
Coupling degree $C$ /Coupling coordination degree $D$	[0,0.3)	[0.3,0.5)	[0.5,0.8)	[0.8,1)

## 2 结果与分析

### 2.1 生态系统服务价值时空变化及其原因分析

研究区总面积 2596.82km<sup>2</sup>,基于 ESV 计算需要,将研究区土地利用现状按生态系统分类需求分为 6 个一级分类 11 个二级分类,研究区 2009、2015、2020 年三期土地利用现状植被覆盖如图 2。

经过修正后当量因子法计算,易地扶贫搬迁前(2009—2015 年),研究区 ESV 总体呈上升趋势,由 44.46 亿元上升为 46.30 亿元,变化率为 4.13%。易地扶贫搬迁后(2015—2020 年),研究区 ESV 较搬迁前有明显增长,由 46.30 亿元增长为 54.62 亿元,增长率达 17.97%,是 2009—2015 年增长率的 4 倍多。搬迁后,研究区 ESV 降幅较大的生态系统为农田、草原、荒漠,增幅较大的生态系统为森林,具体见表 3。

表 3 2009—2020 年生态系统服务价值变化

Table 3 transform of ecosystem service value between 2009 and 2020

生态系统 Ecosystem		生态系统服务价值/(10 <sup>8</sup> 元) Ecosystem service value			价值变化/(10 <sup>8</sup> 元) Change in value		变化率/% Growth rate	
一级分类	二级分类	2009 年	2015 年	2020 年	2009—2015	2015—2020	2009—2015	2015—2020
农田 Cropland	旱地	0.56	0.57	0.41	0.01	-0.16	2.52	-28.53
	水田	0.21	0.20	0.16	-0.01	-0.04	-3.77	-20.41
森林 Forestland	针叶	10.84	12.10	15.13	1.27	3.03	11.68	25.03
	针阔混交	0.52	0.47	0.33	-0.05	-0.14	-10.26	-30.23
	阔叶	26.91	27.93	34.91	1.02	6.98	3.80	25.00
	灌木	0.72	0.36	0.17	-0.35	-0.19	-49.32	-52.65
草原 Grassland	灌草丛	1.50	1.45	0.15	-0.04	-1.30	-2.69	-89.62
荒漠 Barren desert	裸地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.47	-77.38
水域 Water area	水系	3.22	3.20	3.36	-0.01	0.15	-0.39	4.75
合计 Total		44.46	46.30	54.62	1.83	8.32	4.13	17.97

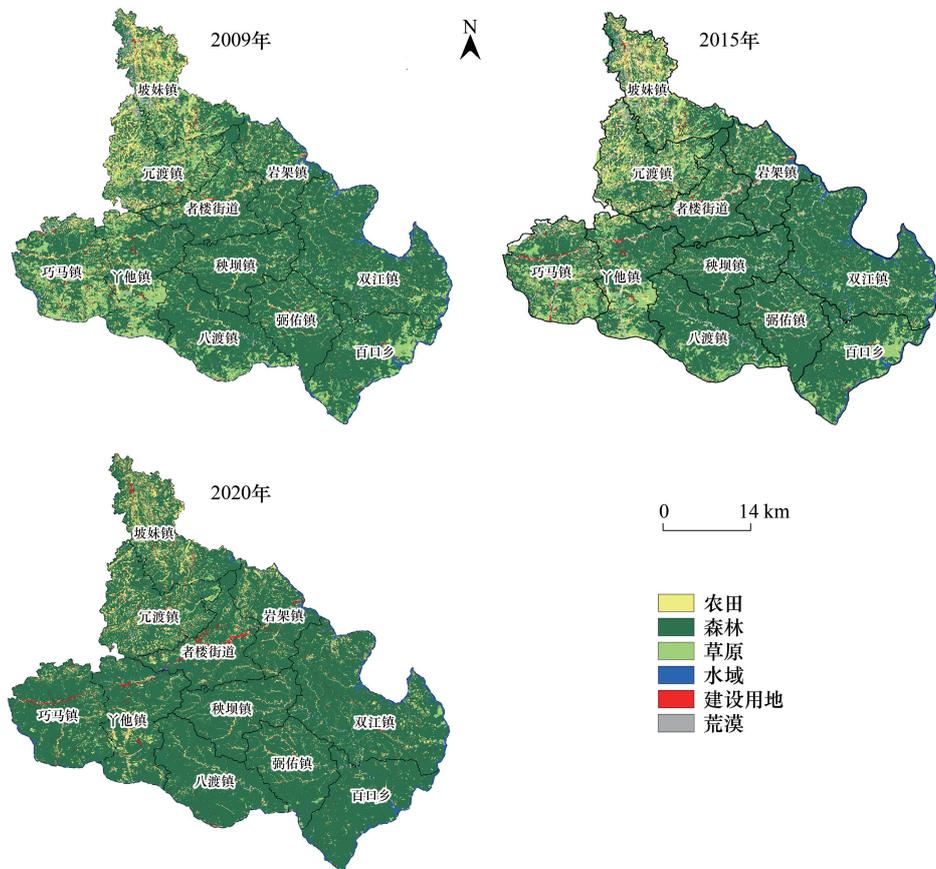


图 2 研究区 2009—2020 年土地利用现状植被覆盖图

Fig.2 Vegetation coverage map of land used between 2009 and 2020

根据搬迁前后研究区 ESV 变量分析,搬迁后研究区 ESV 增长率达 17.97%,较搬迁前有显著提高。2011 年研究区开始实施森林资源可持续发展等工程<sup>[31]</sup>,林地规模化经营已经取得一定成效。但是当地人地矛盾仍然未能消除,农户为维持生计退耕意愿不强,退耕还林等项目推进存在一定阻力,山区小农经营模式也使得林地规模化经营遭遇一定瓶颈。2015 年后,易地扶贫搬迁实施,退耕还林、林地规模化经营等得以有序推进,促进了生态系统服务价值快速增长。较搬迁前,搬迁后研究区农田 ESV 降低 25.97%,草原 ESV 降低 89.62%,森林中灌木林 ESV 降低 52.65%,生态服务价值较高的针叶林、阔叶林 ESV 共计增加 10.01 亿元。

为有效分析研究区 ESV 空间分布特征,揭示区域 ESV 空间演变规律,本文以研究区 132 个村域(含行政村、村级林场、村级牧场)为基本研究单元,经过 ArcGIS 10.3 处理得到 2009、2015、2020 三个年度各研究单元 ESV,计算研究单元搬迁前后两个阶段 ESV 变量并经过自然断点法结合经验判断,将两个阶段 ESV 变量划分为 5 个等级。根据研究区 ESV 测算结果显示(图 3),搬迁后 2015—2020 年间,ESV 增加最为显著区域集中在坡妹镇、冗渡镇、巧马镇、丫他镇、八渡镇、百口乡一线,基本沿册亨县中北侧逆时针延续至东南侧呈半环状,而且易地扶贫搬迁后(2015—2020 年)增长幅度较搬迁前(2009—2015 年)有较为明显的提升。

当量因子法中 ESV 变化主要源于研究区土地利用方式转变,不同类型用地面积的 ESV 贡献有明显差异。2009—2015 年研究区一级生态系统除建设用地增幅达到 22.44%变化率较高外(增量 7.73km<sup>2</sup>,对区域 ESV 变化影响不显著),其他一级生态系统整体变化不明显,大部分变化范围处于 3% 以内(荒漠减幅为 5.47%,但减量 1.51km<sup>2</sup>,影响有限)。期间 ESV 增长贡献最大类型来源于森林中的灌木林大量调整为单位面积生态系统服务价值当量(VC)更高的阔叶林、针叶林,灌木林减少 105.71km<sup>2</sup>,针叶林、阔叶林分别增加 61.91km<sup>2</sup>、39.13 km<sup>2</sup>。2009—2015 年 ESV 增量明显区域集中在巧马镇巧马林场和百口乡或扒村、弄丁村及冗渡镇美井村、冗

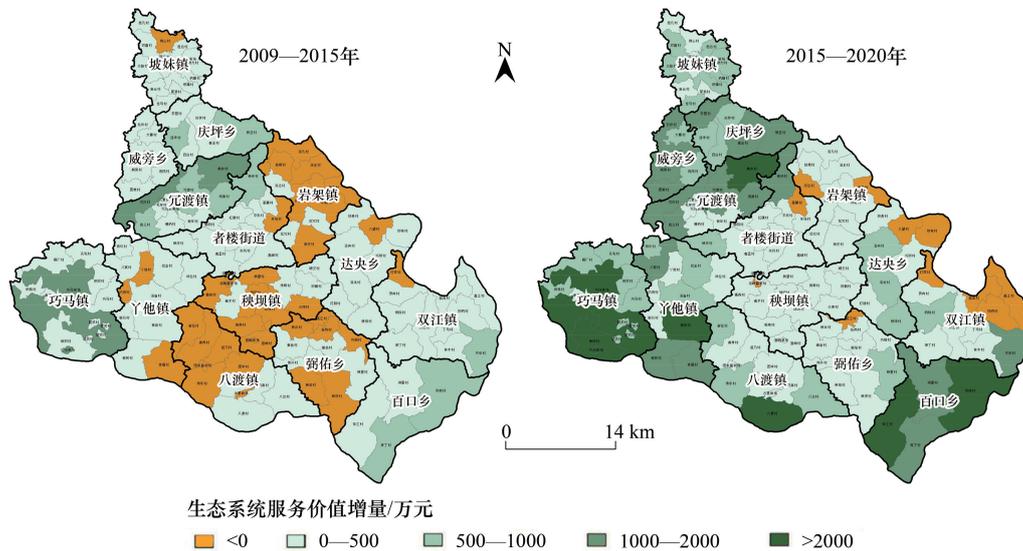


图3 2009—2020年土生态系统服务价值变化图

Fig.3 Change map of ecosystem service value of soil in 2009—2020

贝村等村域。

2015—2020年研究区各类用地均有明显变化,其中农田减少 $100.24\text{km}^2$ ,减幅 $26.37\%$ ,草原减少 $235.61\text{km}^2$ ,减幅 $89.62\%$ ,荒漠减少 $20.21\text{km}^2$ ,减幅 $77.38\%$ ,研究区范围内VC较低的地类均有较为明显的减少。而VC较高的森林增加 $340.50\text{km}^2$ ,增幅 $18.65\%$ ,其中阔叶林、针叶林占绝对主导,增量分别为 $266.93\text{km}^2$ 、 $148.19\text{km}^2$ 。2015—2020年ESV增量较为明显区域集中在北部的坡妹镇、元渡镇大部分村域及南部巧马镇、丫他镇、八渡镇、百口乡的大部分村域,该区域农田较为集中,易地扶贫搬迁引起人口密度降低,人地矛盾得到缓解,搬迁农户生计中心已由耕地转移,其退耕意愿大幅提升,退耕还林得以顺利推进,6个乡镇退耕面积占研究区的 $84.78\%$ 。同时农户搬迁后规模化经营土地得以有效实施,在政府引导下土地流转顺利推进,农业公司、农业合作社、农业大户租用农地意愿得以激发,土地规模化经营全面展开,区域范围内大量灌草丛、灌木林得以调整为经济价值更高的针叶林、阔叶林,该区域草原调整为森林面积占总调整面积 $82.02\%$ 。6个乡镇ESV增量占研究区总增量的 $82.89\%$ ,是研究区ESV增量贡献最大的区域。

## 2.2 生态系统服务价值变量与易地扶贫搬迁耦合协调

搬迁人口密度含搬迁人口数量及搬迁人口占农村人口比重。册亨县整个易地扶贫搬迁期间,共计搬迁 $87540$ 人。册亨县搬迁人口,以坡妹镇经元渡镇、巧马镇、丫他镇、八渡镇至百口乡一线最为集中,搬迁人口超过 $1000$ 人的 $24$ 个村域中,有 $19$ 个位于这 $6$ 个乡镇。册亨县搬迁人口占农村人口比重达到 $39.12\%$ ,根据空间分布结果(图4),搬迁人口比重基本呈现与搬迁总数相对应关系。

根据公式(4)、(5),计算得到册亨县 $132$ 个行政村搬迁人口密度与ESV增量的耦合度 $C$ 与耦合协调度 $D$ 空间相关关系(图5)。研究区耦合度以高度耦合占主导。

基于研究区ESV增量与搬迁人口数量耦合协调度分析,研究区以一般耦合协调占主导,搬迁力度越大的研究单元其ESV增长越明显,对应的耦合协调水平越高。ESV增量和搬迁人口密度耦合协调度较高区域,集中在坡妹镇、元渡镇、巧马镇、丫他镇、八渡镇、百口乡一线,在空间表现基本沿册亨县中北侧逆时针延续至东南侧呈半环状。总体表现为ESV增幅较大区域与搬迁人口密度较大区域呈高等级耦合协调趋势。

易地扶贫搬迁促成农户大量迁入城镇,原有宅基地基本实现复垦复绿,农户的生产生活方式完全转变,其所有农用地所呈现价值由经营性收入转变为资产性收入,退耕还林、林地规模化经营等工作得以顺利推进。易地扶贫搬迁引起的土地利用方式转变,对研究区ESV提升和改善当地生态环境具有显著的影响效果,并促

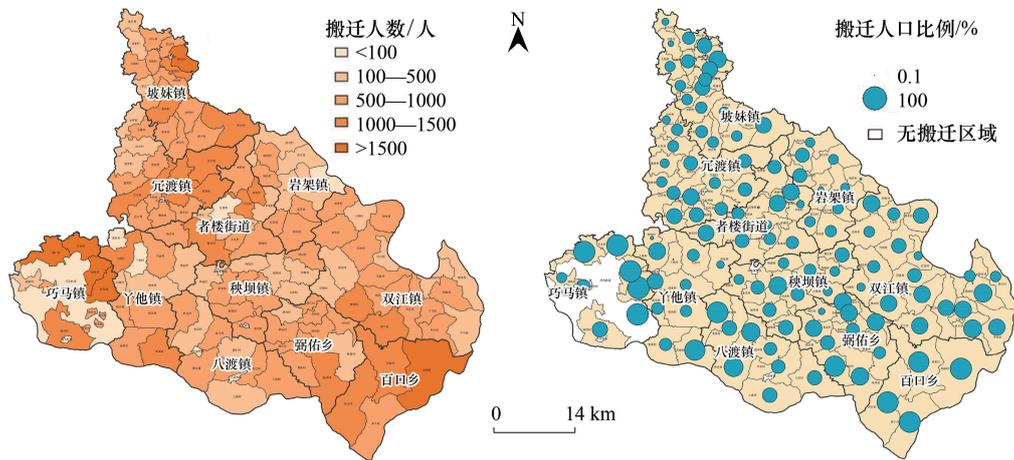


图 4 搬迁人口分布图

Fig.4 Relocation population distribution map

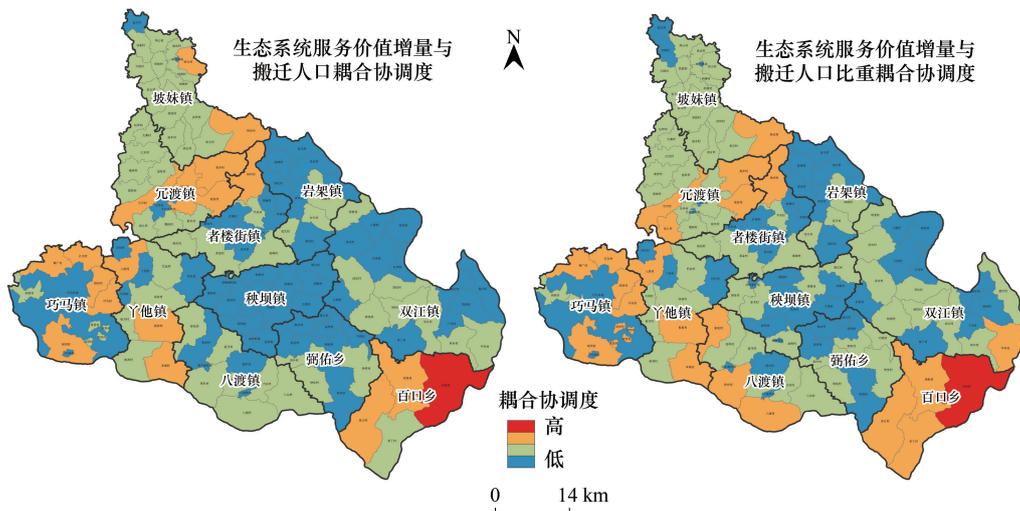


图 5 生态服务价值增量与搬迁人口耦合协调度分布图

Fig.5 Distribution of coupling coordination extent among ESV growing and moving population intensity

使当地生态系统持续向好发展,为当地生态环境改善与保护起到关键性作用。

2009—2015 年,研究区 132 个村域有 94 个 ESV 实现增长,其中增幅超过 500 万元有 12 个村域,大部分集中于元渡镇、巧马镇、百口乡区域,研究区生态现状呈“总体平稳、局部好转”的局面。2015—2020 年,研究区 ESV 变化呈显著的区域分异特征,有 121 个村域 ESV 实现增长,其中增幅超过 500 万元的有 55 个村域。ESV 增幅较高区域主要集中在坡妹镇经元渡镇、巧马镇、丫他镇、八渡镇至百口乡一线。研究区大部分区域 ESV 呈现平稳增长状态,区域生态现状实现由“总体平稳、局部好转”向“总体好转、局部良性循环”转变。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 讨论

生态修复项目实施对全球生态改善具有明显效果,中国贡献尤其突出<sup>[32]</sup>。其中易地扶贫搬迁对生态修复成效显著<sup>[33]</sup>。研究表明,易地扶贫搬迁人口外迁从源头缓解了生态脆弱区人地矛盾,由于人口外迁生

态脆弱区退耕还林得以快速推进,土地利用结构调整得以有效实行,农田、草原及荒漠逐渐调整为森林。这些因素使得农田、草原及荒漠等用地类型在实施易地移民搬迁的生态脆弱区占比逐渐降低,森林尤其是具备一定经济价值的森林类型面积逐渐扩大,从而引起研究区内农田、草原及荒漠等 VC 较低植被覆盖大幅减少,而 VC 相对较高的森林,尤其是阔叶林、针叶林在退耕还林、用地结构调整后面积普遍得到增加。由此可见,在生态脆弱区实施易地扶贫搬迁加速土地利用及植被覆盖的演变,从而引起 ESV 在时空分布上发生较为明显的增加。

研究从充分利用区县政府掌握的基础数据出发,指标系统涵盖了生态系统供给服务、调节服务、支持服务及文化服务等评价指标,分析 ESV 时空演变作为易地扶贫搬迁生态修复成效评估依据的可行性,进一步增强科学论证,尝试向全国区县进行试行和推广。同时,还可以以此判断县域空间上的生态修复成效,引导县域生态功能区的划定,结合搬迁人口密度及生态修复水平有针对性制定宅基地、承包地、山林地“三块地”盘活政策,指引村域发展定位。旨在保障生态系统服务功能的同时兼顾生态系统的经济效能,提高易地扶贫搬迁后续政策的空间针对性,全面推进区域的可持续发展。

此外,通过与其他相关研究进行比较分析,进一步增强研究的科学性和实用性,以期进一步优化研究方法和指标体系。如比较生态恢复综合效益评估指标体系<sup>[34]</sup>及 GEP 核算指标体系<sup>[35]</sup>,本文尚未结合生态恢复的综合效益及与人类福祉关联性评估方面开展相关的研究<sup>[36]</sup>,考虑到易地扶贫搬迁成效评估研究大部分集中于社会可持续发展方面,本研究聚焦于生态脆弱区的 ESV 空间演变特征,体现易地扶贫搬迁生态恢复成效具有一定可行性。同时,比较 TSS-RESTREND 算法、多元回归残差分析或人类活动强度指数(HAI)等方法解译人类活动对生态环境影响<sup>[37-39]</sup>,本研究具有相似性,通过耦合协调度分析方法相对直观的反映出搬迁人口密度与 ESV 变量直接的时空关联特征。但这样的方法在综合性及全面性仍然存在一些不足,如搬迁人口密度与 ESV 变量之间关联性放到耦合协调度较低的村域未能充分体现易地扶贫搬迁的生态修复效果,后期将尝试增加莫兰指数等研究方法,进一步分析搬迁人口密度与 ESV 变量之间的时空关联关系。此外,本文关注了研究区 ESV 大幅提升的主要驱动力,未就气候、地形、土壤等辅助驱动力进行分析,后期将收集温度、湿度、土壤等指数数据,参照 RSEI 模型等研究方法<sup>[40]</sup>综合分析生态系统基于面积和质量引起的价值变化,以期更全面分析生态系统修复成效。本研究采用的土地利用现状地表覆盖数据在统一性、精准性上还有一定欠缺,今后需要尝试更为精细的遥感影像提取技术<sup>[41]</sup>以提升基础数据精度。

### 3.2 结论

本文采用当量因子法评估典型喀斯特生态脆弱县域的 ESV,通过两次修正保障评估精度,并分阶段定量估算研究区 ESV 时空演变,最后完善和强化了易地扶贫搬迁的综合效益及生态修复成效评估。经过分析讨论得出以下主要几点结论:

(1) 实施易地扶贫搬迁对生态系统服务价值提升具有显著的促进作用,搬迁后(2015—2020年)研究区的 ESV 增幅达 17.97%,增长 8.32 亿元,比较搬迁前(2009—2015年)4.13%的增幅有显著提高;

(2) 研究区 ESV 组成中的阔叶林及针叶林的价值量占比普遍较高。此外,坡妹、冗渡、巧马、丫他、八渡及百口 6 个乡镇的退耕面积为研究区的 84.78%,草原调整为森林面积占总调整面积 82.02%,其 ESV 增量占研究区总增量的 82.89%,是研究区 ESV 增量贡献最大的区域;

(3) 研究区 ESV 增幅与搬迁人口密度存在显著的正相关,搬迁力度越大其 ESV 增加越明显,且对应的耦合协调水平越高,研究区高耦合协调度区域主要集中于坡妹镇等搬迁人口较为集中的 6 个乡镇。

### 参考文献(References):

- [ 1 ] Daily G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington: Island Press, 1997.
- [ 2 ] Hunsaker C T, Graham R L, Suter II G W, O'Neill R V, Barnhouse L W, Gardner R H. Assessing ecological risk on a regional scale. *Environmental Management*, 1990, 14(3): 325-332.
- [ 3 ] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估. *生态学报*, 2001, 21(11): 1918-1926.
- [ 4 ] Bryan B A, Ye Y Q, Zhang J E, Connor J D. Land-use change impacts on ecosystem services value: incorporating the scarcity effects of supply and

- demand dynamics. *Ecosystem Services*, 2018, 32: 144-157.
- [ 5 ] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [ 6 ] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(15): 911-919.
- [ 7 ] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [ 8 ] 王效科, 杨宇, 吴凡, 任玉芬, 王思远, 薄乖民, 蒋高明, 王玉宽, 孙玉军, 张路, 欧阳志云. 生态效益及其特性. *生态学报*, 2019, 39(15): 5433-5441.
- [ 9 ] 赖元长, 李贤伟, 冯帅, 王鹏, 唐骄萍, 赵安玖, 赖家明. 退耕还林工程对四川盆周低山丘陵区生态系统服务价值的影响——以洪雅县为例. *自然资源学报*, 2011, 26(5): 755-768.
- [ 10 ] 赵志刚, 余德, 王凯荣, 吕爱清. 赣西地区生态系统服务价值与生态补偿策略. *生态学报*, 2020, 40(20): 7507-7518.
- [ 11 ] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 肖玉, 鲁春霞. 中国生态系统服务的价值. *资源科学*, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [ 12 ] 周忠发, 陈全, 谭玮颐, 朱昌丽, 冯倩, 马国璇. 生态文明建设视角下的喀斯特地区易地扶贫搬迁. *生态文明新时代*, 2019, (3): 44-53.
- [ 13 ] Li H, Yao S B, Yin R S, Liu G Q. Assessing the decadal impact of China's sloping land conversion program on household income under enrollment and earning differentiation. *Forest Policy and Economics*, 2015, 61: 95-103.
- [ 14 ] 宁静, 殷浩栋, 汪三贵, 王琼. 易地扶贫搬迁减少了贫困脆弱性吗? ——基于 8 省 16 县易地扶贫搬迁准实验研究的 PSM-DID 分析. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(11): 20-28.
- [ 15 ] 李双成. 贵州易地扶贫搬迁实现发展与生态双赢. *当代贵州*, 2020, (3): 30-30.
- [ 16 ] 王君涵, 李文, 冷淦潇, 仇焕广. 易地扶贫搬迁对贫困户生计资本和生计策略的影响——基于 8 省 16 县的 3 期微观数据分析. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(10): 143-153.
- [ 17 ] 高博发, 李聪, 李树苗, 韩秀华. 生态脆弱地区易地扶贫搬迁农户福利状况及影响因素研究. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(8): 88-95.
- [ 18 ] 朱永甜, 余劲. 陕南易地扶贫搬迁减贫效应研究——基于分阶段的讨论. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(5): 64-69.
- [ 19 ] 陈峰, 李红波, 张安录. 基于生态系统服务的中国陆地生态风险评价. *地理学报*, 2019, 74(3): 432-445.
- [ 20 ] 周忠发, 田进祯, 殷超, 闫利会, 陈全. 人为干预下喀斯特峰丛盆地区不同土地利用类型的土壤理化性质. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 2017, 35(4): 1-6, 30-30.
- [ 21 ] 周忠发, 朱昌丽, 谭玮颐, 陈全, 冯倩. 基于空间开发适宜性评价的石漠化地区可持续发展研究——以贵州省盘州市为例. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 2019, 37(1): 1-9.
- [ 22 ] 熊康宁, 池永宽. 中国南方喀斯特生态系统面临的问题及对策. *生态经济*, 2015, 31(1): 23-30.
- [ 23 ] 陈洪松, 岳跃民, 王克林. 西南喀斯特地区石漠化综合治理: 成效、问题与对策. *中国岩溶*, 2018, 37(1): 37-42.
- [ 24 ] 郝新朝, 安裕伦, 朱启雄, 伍显, 陈啟英, 安宏锋, 夏林. 基于覆被变化的贵州草海自然保护区生态系统服务价值研究. *上海农业学报*, 2019, 35(2): 56-62.
- [ 25 ] 李晓赛, 朱永明, 赵丽, 田京京, 李静. 基于价值系数动态调整的青龙县生态系统服务价值变化研究. *中国生态农业学报*, 2015, 23(3): 373-381.
- [ 26 ] 刘芳, 迟耀斌, 王智勇, 王艳艳. NPP 列入生态统计指标体系的潜力分析——以北京地区 NPP 测算与空间分析为例. *生态环境学报*, 2009, 18(3): 960-966.
- [ 27 ] 朱文泉, 潘耀忠, 何浩, 于德永, 扈海波. 中国典型植被最大光利用率模拟. *科学通报*, 2006, 51(6): 700-706.
- [ 28 ] 汪德根, 孙枫. 长江经济带陆路交通可达性与城镇化空间耦合协调度. *地理科学*, 2018, 38(7): 1089-1097.
- [ 29 ] 王少剑, 崔子恬, 林靖杰, 谢金燕, 苏坤. 珠三角地区城镇化与生态韧性的耦合协调研究. *地理学报*, 2021, 76(4): 973-991.
- [ 30 ] 张广纳, 邵景安, 王金亮, 倪九派, 谢德体. 三峡库区重庆段农村面源污染时空格局演变特征. *自然资源学报*, 2015, 30(7): 1197-1209.
- [ 31 ] 国家林业局. 关于开展森林资源可持续经营管理试点的通知(林资发[2011]248号). 北京: 国家林业局, 2011.
- [ 32 ] Chen C, Park T, Wang X H, Piao S L, Xu B D, Chaturvedi R K, Fuchs R, Brovkin V, Ciais P, Fensholt R, Tømmervik H, Bala G, Zhu Z C, Nemani R R, Myneni R B. China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nature Sustainability*, 2019, 2(2): 122-129.
- [ 33 ] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委负责同志:“十三五”易地扶贫搬迁任务已全面完成. (2020-12-03)[2021-03-16]. [https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/wld/zcx/lddt/202012/t20201203\\_1252215.html](https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/wld/zcx/lddt/202012/t20201203_1252215.html).
- [ 34 ] 张毅茜, 冯晓明, 王晓峰, 傅伯杰, 周潮伟. 重点脆弱生态区生态恢复的综合效益评估. *生态学报*, 2019, 39(20): 7367-7381.
- [ 35 ] 游旭, 何东进, 肖焱, 王莉雁, 宋昌素, 欧阳志云. 县域生态保护成效评估方法——以峨山县为例. *生态学报*, 2019, 39(9): 3051-3061.
- [ 36 ] 周丽, 黎红梅, 李培. 易地扶贫搬迁农户生计资本对生计策略选择的影响——基于湖南搬迁农户的调查. *经济地理*, 2020, 40(11): 167-175.
- [ 37 ] 邓晨晖, 白红英, 高山, 刘荣娟, 马新萍, 黄晓月, 孟清. 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.
- [ 38 ] 殷崎栋, 柳彩霞, 田野. 基于 MODIS NDVI 数据的陕西省植被绿度时空变化及人类活动影响. *生态学报*, 2021, 41(4): 1571-1582.
- [ 39 ] 王庭辉, 王喜, 秦耀辰, 高攀, 王海楠. 丹江口库区生态系统服务价值与人类活动时空关联分析. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(2): 330-341.
- [ 40 ] 李婷婷, 马超, 郭增长. 基于 RSEI 模型的贺兰山长时序生态质量评价及影响因素分析. *生态学杂志*, 2021, 40(4): 1154-1165.
- [ 41 ] 吴田军, 骆剑承, 沈占锋, 夏列刚, 徐楠. 高分辨率遥感土地覆盖分类技术的应用研究——以重庆市黔江贫困区为例. *地球信息科学学报*, 2016, 18(3): 353-361.