

# 基于格网的石漠化地区生态系统服务与经济空间耦合

朱昌丽<sup>1,2</sup>, 周忠发<sup>1,2</sup>, 吴跃<sup>1,2</sup>, 谭玮颐<sup>1,3</sup>, 马国璇<sup>1,3</sup>, 安丹<sup>1,3</sup>

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院/喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州 贵阳 550001; 3. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** [目的] 分析石漠化地区生态系统服务价值与经济的空间耦合关系, 为石漠化地区生态环境保护与社会经济协调发展提供依据。[方法] 以贵州省盘州市为例, 基于格网尺度, 计算了研究区生态服务价值(ESV)与国内生产总值GDP, 并利用耦合协调模型, 对两者间的耦合协调发展程度进行定量评估。[结果] ①盘州市ESV热点区主要分布在东北部的几个少数民族乡镇, 冷点区主要分布在经济发展较快且城市化率较高的区域; ②盘州市GDP在空间上呈现出局部高的特点, 高值区主要集中在石桥镇、亦资街道、翰林街道等工业镇和政治、经济、文化中心; ③盘州市ESV与GDP耦合协调度值较低, 空间上存在明显的自相关性, 耦合协调度较低的区域主要分布在盘州市东南部、北部以及中部; ④盘州市ESV与GDP耦合协调度类型以严重失调衰退经济损益型为主, 占区域总面积的79.95%。[结论] 盘州市ESV与GDP在空间上存在一定矛盾, 耦合协调度较低, 兼顾生态环境保护与经济发展有助于提升协调度。

**关键词:** 石漠化; 空间耦合; 生态系统服务; GDP; 空间异质性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)03-0189-06

中图分类号: F127, X171.7

**文献参数:** 朱昌丽, 周忠发, 吴跃, 等. 基于格网的石漠化地区生态系统服务与经济空间耦合[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 189-194. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.03.027; Zhu Changli, Zhou Zhongfa, Wu Yue, et al. Spatial coupling between ecosystem services and economy based on grid in rocky desertification area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 189-194.

## Spatial Coupling Between Ecosystem Services and Economy Based on Grid in Rocky Desertification Area

Zhu Changli<sup>1,2</sup>, Zhou Zhongfa<sup>1,2</sup>, Wu Yue<sup>1,2</sup>, Tan Weiyi<sup>1,3</sup>, Ma Guoxuan<sup>1,3</sup>, An Dan<sup>1,3</sup>

(1. School of Geography and Environmental Science/Institute of Karst Science,

Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 2. The State Key Laboratory

Incubation Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001,

China; 3. State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang, Guizhou 550001, China)

**Abstract:** [Objective] The spatial coupling relationship between the ecosystem service value and regional economy was analyzed to provide the basis for coordinated development of environmental protection and social economy in rocky desertification areas. [Methods] Based on the grid scale, the coupling coordination model was used to quantitatively evaluate the degree of coordinated development of ecological service value (ESV) and gross domestic product (GDP) in Panzhou City of Guizhou Province. [Results] ① The ESV “hot spot” area was mainly distributed in the minority villages and towns in the northeast, and the “cold spot” area was mainly distributed in the areas with rapid economic development and high urbanization rate. ② The spatial distribution of GDP in Panzhou City was characterized by its local high, and the high-value areas were mainly

收稿日期: 2019-12-14

修回日期: 2020-12-31

**资助项目:** 贵州师范大学研究生创新基金“石漠化地区生态系统服务价值与居民福祉空间关联及其效率评估: 以盘州市为例”(YC[2018]033); 国家自然科学基金地区项目“喀斯特石漠化地区生态资产与区域贫困耦合机制研究”(41661088); 贵州省教育科学规划课题(2019BI74); 贵州省研究生教育创新计划项目(黔教合 YJSCXJH[2019]046); 贵州省软科学课题(黔科合支撑[2018]20018)

**第一作者:** 朱昌丽(1993—), 女(汉族), 贵州省安顺市人, 博士研究生, 主要研究方向为 3S 技术与山区可持续发展。Email: zhu\_changli@163.com。

**通讯作者:** 周忠发(1969—), 男(汉族), 贵州省遵义市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事喀斯特生态环境、GIS 与遥感方面研究。Email: fa6897@163.com。

concentrated in industrial towns or economic and cultural centers, such as Shiqiao Town, the Yizi Subdistrict, and the Hanlin Subdistrict. ③ The overall distribution of ESV and GDP coupling coordination in Panzhou City was low, there was evident autocorrelation in the space, and the regions with low coupling coordination were mainly distributed in the southeast, north, and central parts of Panzhou City. ④ The type of coupling coordination between ESV and GDP in Panzhou City was mainly a severe imbalance type, accounting for 79.95% of the total area of the region. [Conclusion] Considering the low degree of spatial coupling of ESV and GDP in Panzhou City, balancing environmental protection and economic development would help to improve the coordination.

**Keywords:** rocky desertification; spatial coupling; ecosystem service; gross domestic product; spatial heterogeneity

随着社会经济的发展,生态环境遭受一定程度上的破坏,如何兼顾发展与保护是新时期面临的主要问题。1962年,《寂静的春天》的问世,被认为是人类制止科技破坏环境的第一枪<sup>[1]</sup>。随后,Boulding K E 提出经济发展中的环境问题已经从数量问题变成了质量问题<sup>[2]</sup>。1972年《增长的极限》提出资源问题、环境污染及人口增长等全球性的问题<sup>[3]</sup>。1987年《我们共同的未来》提出了“可持续发展”的概念,要同时兼顾经济发展和环境保护这两个重大问题<sup>[4]</sup>。1992年的环境与发展大会通过的《21世纪议程》成为了指导全球可持续发展的纲领性文件<sup>[5]</sup>。为促进世界各国经济发展、社会包容以及环境保护,2012年的联合国可持续发展会议提出了“可持续发展目标”<sup>[6]</sup>。生态与经济的耦合协调,有利于调节生态环境与经济发展间的矛盾,为区域生态系统与社会经济的发展提供科学依据<sup>[7]</sup>。学者们从生态环境与经济发展间的耦合关系<sup>[8]</sup>、协调发展<sup>[9]</sup>及时空演变<sup>[10]</sup>等方面进行了研究,提出了区域经济与生态协调发展的政策建议,但当前对生态与经济的耦合协调研究大多局限于大尺度,缺少精细化的小尺度分析。

石漠化地区地形破碎,水土流失与石漠化对当地生态环境和人类生存环境产生了严重威胁。如何将生态环境治理与经济发展结合是石漠化地区可持续发展首要解决的任务。借鉴其他研究成果<sup>[11]</sup>,选取国内生产总值(GDP, gross domestic product)作为衡量经济发展的重要指标。为实现社会经济数据空间化表达,建立生态系统与GDP的空间联系。现有的GDP数据空间化方法主要分为4种类型:面积—距离加权法、夜间灯光指数法、多源遥感数据、地表覆盖的空间化方法<sup>[12-14]</sup>。喀斯特山区大多属于多云雨且夜间灯光较弱甚至无灯光的地区,夜间灯光指数法与基于多源遥感数据的空间化方法在研究区不适用,且面积—距离加权法不能反映GDP在空间上的实际分布。基于地表覆盖的数据空间化方法<sup>[15]</sup>是目前较为

常用的空间化方法,该方法能体现土地利用与产业分布的空间特征,因此本文采用基于地表覆盖的空间化方法来对石漠化地区GDP进行空间网格化处理。

本文以位于石漠化地区的贵州省盘州市为例,定量评估盘州市生态系统服务价值与GDP,利用土地利用覆盖的数据空间化方法对GDP进行网格化,计算生态系统与GDP间在空间上的耦合协调性。打破行政边界的限制,实现经济与生态系统服务空间上的耦合,为改进生态环境脆弱区生态环境与经济发展间的矛盾提供一定科学依据。

## 1 研究区概况

盘州市地处滇、黔交界处(25°19'36"—26°17'36"N, 104°17'46"—104°57'46"E),云南高原向黔中高原过渡的斜坡部位、广西丘陵与黔西北高原之间的过渡地带<sup>[16]</sup>,国土面积4 056 km<sup>2</sup>。地势总体上东部和南部较低,西北高,中南部隆起<sup>[17]</sup>。盘州市是典型的石漠化重点区域,2015年石漠化面积达1 190.44 km<sup>2</sup>,占区域总面积的29.35%。此外,盘州市社会经济发展相对滞后,属于14个集中连片特困地区中的乌蒙山区范畴,2015年贫困发生率为16.64%,高出全国平均水平的10.97%。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

研究数据主要包括盘州市2015年土地利用及社会经济数据。2015年土地利用数据来源于贵州省测绘地理信息行政主管部门。社会经济数据来源于六盘水市生态移民局;生态系统服务基础单价计算所涉及的社会经济数据主要来源于《全国农产品收益汇编2016》及《六盘水统计年鉴2016》。利用ArcGIS软件对盘州市社会经济和土地利用数据进行网格化处理,考虑到石漠化地区破碎的地形及数据处理的难度,将网格大小设置为500 m×500 m。

## 2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务价值 借鉴谢高地等<sup>[18]</sup>提出的全国生态系统服务价值 (ESV, ecological service value) 当量表, 经过修正之后, 计算研究区 ESV。计算方法如下: 首先, 对土地利用数据进行归并, 将土地利用归并到相近的地类, 建设用地被认为没有 ESV<sup>[18-20]</sup>, 所以建设用地 ESV 为 0; 其次, 根据 2015 年盘州市平均粮食单产和全国粮食平均出售价格, 计算 2015 年盘州市 1 hm<sup>2</sup> 农田所生产的粮食的经济价值, 即盘州市 ESV 核算单价; 最后, 计算研究区格网尺度下 ESV, 计算公式为<sup>[21]</sup>:

$$ESV_n = \sum_k \sum_f A_{kn} \times VC_{kf} \quad (1)$$

式中:  $ESV_n$  为第  $n$  个格网的生态系统服务价值 (元);  $A_{kn}$  为第  $n$  个格网上第  $k$  类土地利用面积 (hm<sup>2</sup>);  $VC_{kf}$  为第  $k$  类型土地利用第  $f$  项服务功能单位面积的服务价值 (元)。

2.2.2 GDP 空间化 土地承载了国民经济活动, 土地利用是 GDP 产生的基础<sup>[22]</sup>。根据黄莹等<sup>[23]</sup>, 刘红辉等<sup>[24]</sup>发现的一、二、三产产值与土地利用方式的对应关系。结合各产业产值统计数据, 将各行政单元内各产业产值分配到不同的土地利用方式上, 再将格网内的各产业的产值相加, 最终得到网格 GDP 的产值即经济空间化值。

2.2.3 耦合协调度模型 1999 年廖重斌<sup>[25]</sup>推导出协调度和协调发展度的计算模型, 之后逐渐演变成耦合度、协调度及耦合协调度等计算模型<sup>[26-27]</sup>, 在分析两个及以上系统间的空间相关性中耦合协调度应用最广, 故利用耦合协调度模型分析 ESV 与 GDP 两者间的相关关系。其公式<sup>[28]</sup>如下:

$$C = \left\{ \frac{ESV \times GDP}{\left[ \frac{ESV + GDP}{2} \right]^2} \right\}^k \quad (k \geq 2) \quad (2)$$

$$T = \alpha \times ESV + \beta \times GDP \quad (3)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (4)$$

式中:  $C$  为耦合度;  $k$  取值为 2。耦合度  $C$  表征 ESV 与 GDP 相互影响的强弱程度。  $D$  为耦合协调度;  $T$  为 ESV 与 GDP 的综合评价指数;  $\alpha, \beta$  为待定系数, 本文认为 ESV 与 GDP 同等重要, 故  $\alpha, \beta$  均取值为 0.5。

2.2.4 空间分异分析 为反映 ESV 与 GDP 耦合协调度在空间上的分布特征, 利用 ArcGIS 中的空间统计工具, 对其空间自相关系数进行计算, 检验两者间的耦合协调度的值在空间上是否显著相关<sup>[29]</sup>。此外,  $0 \leq D \leq 1$ ,  $D$  值越大, ESV 与 GDP 两者间的耦合协调发展程度越高, 因此, 借鉴环境与经济协调发展分类体系<sup>[25]</sup>, 结合研究区实际情况, 将研究区格网协调发展类型分为 2 个一级类 4 个二级类和 12 个三级类 (见表 1)。

表 1 盘州市生态系统服务价值 (ESV) 与国内生产总值 (GDP) 耦合协调度类型分类

一级类	二级类	耦合协调度	三级类	差异分类依据
濒临衰退失调类	濒临衰退失调类	[0.4, 0.5)	濒临衰退失调经济损益型 ( $D_1$ )	$ESV/GDP < 0.8$
			濒临衰退失调生态—经济共损型 ( $D_2$ )	$0.8 \leq ESV/GDP \leq 1.2$
			濒临衰退失调生态损益型 ( $D_3$ )	$ESV/GDP > 1.2$
失调衰退类	轻度失调衰退类	[0.3, 0.4)	轻度失调衰退经济损益型 ( $L_1$ )	$ESV/GDP < 0.8$
			轻度失调衰退生态—经济共损型 ( $L_2$ )	$0.8 \leq ESV/GDP \leq 1.2$
			轻度失调衰退生态损益型 ( $L_3$ )	$ESV/GDP > 1.2$
严重失调衰退类	中度失调衰退类	[0.1, 0.3)	中度失调衰退经济损益型 ( $M_1$ )	$ESV/GDP < 0.8$
			中度失调衰退生态—经济共损型 ( $M_2$ )	$0.8 \leq ESV/GDP \leq 1.2$
			中度失调衰退生态损益型 ( $M_3$ )	$ESV/GDP > 1.2$
严重失调衰退类	严重失调衰退类	[0, 0.1)	严重失调衰退经济损益型 ( $H_1$ )	$ESV/GDP < 0.8$
			严重失调衰退生态—经济共损型 ( $H_2$ )	$0.8 \leq ESV/GDP \leq 1.2$
			严重失调衰退生态损益型 ( $H_3$ )	$ESV/GDP > 1.2$

## 3 结果与分析

### 3.1 ESV 空间分析

2015 年盘州市林草地面积分别占全域总面积的 45.60% 和 10.30%, 林草覆盖率为 55.90%, 生态环境良好。利用调整后的 ESV 评价模型对盘州市 ESV 进行计算, 其中针叶林生态系统服务价值总量最高,

为  $3.30 \times 10^8$  元 (见表 2)。受土地利用状况的影响, ESV 在空间上呈零散分布 (见图 1)。单个格网的 ESV 平均值为 476.83 元, 最大值为 3 365.24 元, 最小值为 0 元。空间分布总体呈现出东高西低、南北高中部低。利用 ArcGIS 软件对 ESV 的值进行冷热点分析, 得到 ESV 空间分布的冷点和热点区域分布 (见封 3 附图 11)。盘州市 ESV 热点区主要集中在东北

部的普古彝族苗族乡、淤泥彝族乡及保基苗族彝族乡等少数民族乡镇。中国少数民族大多都有自然崇拜,正是因为这种自然崇拜,少数民族集聚区的生态环境

保护较好。ESV 的冷点区主要集中在经济发展较快且城市化率较高的乡镇政府驻地及人口较为集中的行政村。

表 2 2015 年盘州市土地利用类型及生态服务价值(ESV)

土地利用类型	旱地	水田	针叶	针阔混交	阔叶	灌木	草原	灌草丛	草甸	荒漠	裸地	水系	建设用地
面积/km <sup>2</sup>	1 529.29	28.96	990.78	18.49	151.78	691.93	390.74	4.53	0.06	0.24	1.69	11.16	222.37
ESV/万元	11 664.63	214.27	33 036.56	812.27	6 625.90	20 031.45	3 768.16	169.55	1.20	0.50	0.64	2 667.21	0.00

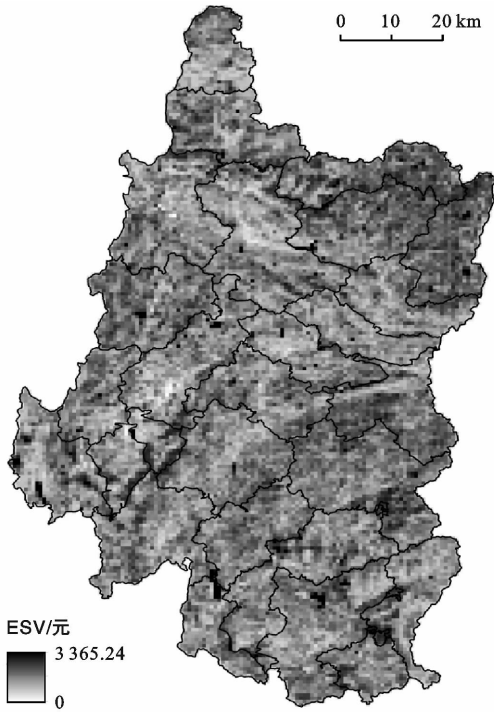


图 1 盘州市生态服务价值(ESV)空间分布特征

### 3.2 GDP 空间分析

基于地表覆盖的 GDP 数据空间化方法,将盘州市各行政区 GDP 数据分散到格网上(见图 2)。盘州市 GDP 空间差异较大,最小值落在石桥镇土地利用为裸地的格网上,最大 7 029.92 元落在县政府所在的亦资街道土地利用为建设用地的格网上。总体来看,盘州市 GDP 在空间上呈现出局部高的特点,GDP 高值区主要集中在石桥镇、亦资街道、翰林街道等地。石桥镇是盘州市重要的工业镇,境内有 11 个煤矿,区域 GDP 产值较高。亦资街道、翰林街道是盘州市重要的政治、经济、文化中心。利用 ArcGIS 软件对 GDP 的值进行冷热点分析,得到 GDP 空间分布的冷点和热点区域分布(见封 3 附图 12)。盘州市 GDP 在空间上没有显著的冷点区,热点区主要集中在石桥镇。

### 3.3 耦合协调空间自相关与集聚效应

利用耦合协调度模型,计算出 ESV 与 GDP 空间耦合协调度。并利用 ArcGIS 计算盘州市耦合协调度

空间自相关系数(Moran  $I$ ),得到 Moran  $I$  值为 0.75,  $p$  值为  $0 < 0.05$ ,即盘州市耦合协调度在空间上存在明显的自相关性,说明盘州市 ESV 与 GDP 在空间上的协调发展程度分布具有规律性。

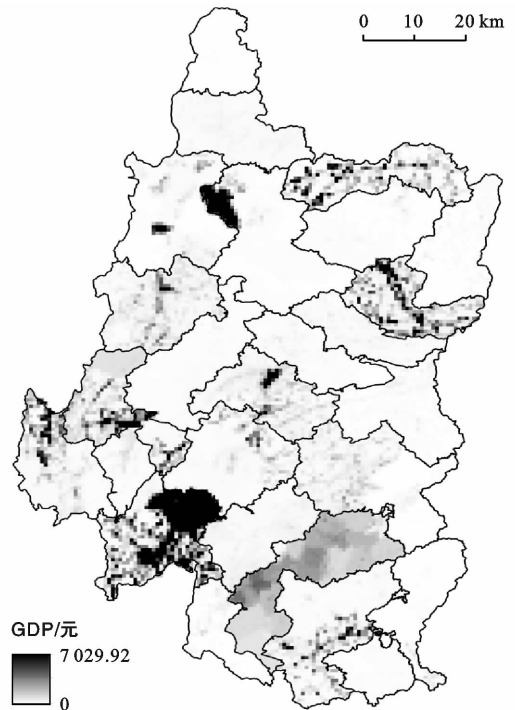


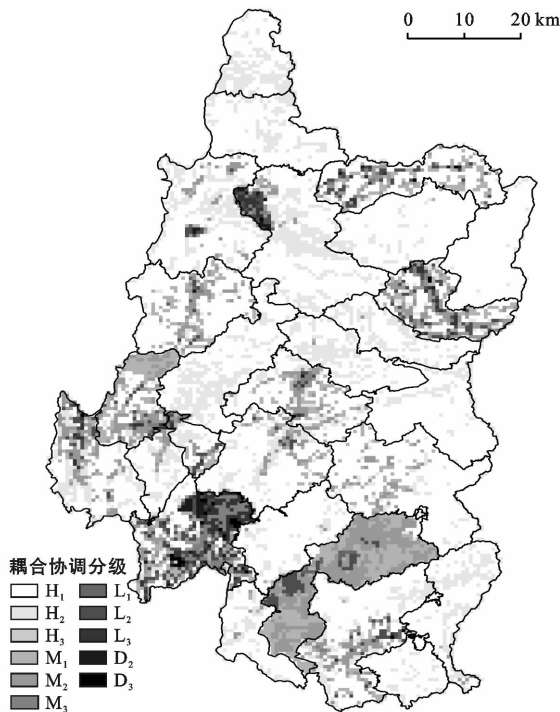
图 2 盘州市国内生产总值(GDP)空间分布

从附图 13(见封 3)可以看出,盘州市 ESV 与 GDP 空间耦合协调度值在  $0 \sim 0.4934$  之间,耦合协调度主要受 GDP 和 ESV 的共同影响,GDP 和 ESV 两者间由具有一定的矛盾性。耦合协调度较高的区域主要集中在盘州市西部的石桥镇、亦资街道、红果街道,南部大山镇以及东北部普古彝族苗族乡和淤泥彝族乡南部,耦合协调度低的区域主要分布在盘州市东南部、北部以及中部。

### 3.4 耦合协调空间分布

对盘州市生态服务价值 ESV 与国内生产总值 GDP 耦合协调度进行分类,其空间分布如图 3 所示。严重失调衰退经济损益型( $H_1$ )占区域总面积的 79.95%,严重失调衰退生态—经济共损型( $H_2$ )与严

重失调衰退生态损益型( $H_3$ )仅占区域总面积的0.02%和0.06%。中度失调衰退类占区域总面积的15.42%,其中中度失调衰退经济损益型( $M_1$ )占中度失调衰退类总面积的95.44%,主要分布在盘州市东南部的大山镇、西部的红果街道和亦资街道及东北部的普古彝族苗族乡和淤泥彝族乡南部。轻度失调衰退类占区域总面积的3.98%,其中轻度失调衰退生态损益型( $L_3$ )占轻度失调衰退类总面积的53.33%,主要分布在石桥镇、淤泥彝族乡南部以及鸡场坪镇西北部。濒临衰退失调类仅占区域总面积的0.57%,不存在濒临衰退失调经济损益型( $D_1$ ),濒临衰退失调生态损益型( $D_3$ )占濒临衰退失调类总面积的81.52%,主要分布在石桥镇。



注: $H_1$ 为严重失调衰退经济损益型; $H_2$ 为严重失调衰退生态—经济共损型; $H_3$ 为严重失调衰退生态损益型; $M_1$ 为中度失调衰退经济损益型; $M_2$ 为中度失调衰退生态—经济共损型; $M_3$ 为中度失调衰退生态损益型; $L_1$ 为轻度失调衰退经济损益型; $L_2$ 为轻度失调衰退生态—经济共损型; $L_3$ 为轻度失调衰退生态损益型; $D_2$ 为濒临衰退失调生态—经济共损型; $D_3$ 为濒临衰退失调生态损益型。

图3 盘州市生态服务价值(ESV)与国内生产总值(GDP)耦合协调度分级

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本文基于格网尺度,对研究区ESV与GDP进行了计算,并利用耦合协调模型,对研究区ESV与GDP耦合协调发展程度进行定量评估,结果表明:

(1) 盘州市格网ESV的平均值为476.83元。

ESV的热点区主要分布在东北部的几个少数民族乡镇,该区域主要是坡上草原风景名胜区分布区域,生态环境良好。此外,其他风景名胜区与自然保护区的ESV也相对较高。冷点区主要分布在经济发展较快且城市化率较高的乡镇政府驻地及人口较为集中的行政村,该区域建设用地分布集中,以第二产业为主要产业,生态环境破坏较大。

(2) 盘州市格网GDP差距较大,在空间上呈现出局部高的特点。高值区主要集中在第二产业或第三产业发展较好的区域,2015年盘州市第二产业增加值和第三产业增加值分别是第一产业增加值的6.33倍和3.06倍。第二、三产业发展较好的石桥镇、亦资街道、翰林街道等工业镇和政治、经济、文化中心GDP值较高。

(3) 盘州市ESV与GDP耦合协调度值较低,空间上的协调发展程度分布具有规律性,耦合协调度较低的区域主要分布在盘州市东南部、北部以及中部。耦合协调度较高的区域经济发展和生态环境保护均较好,主要以第三产业为主导产业,同时兼顾生态与经济。

(4) 盘州市ESV与GDP耦合协调度类型以严重失调衰退经济损益型为主,占区域总面积的79.95%,分布在盘州市二、三产业发展较差的区域;濒临衰退失调面积仅占区域总面积的0.57%,其中濒临衰退失调生态损益型占濒临衰退失调类总面积的81.52%,主要分在西南部的石桥镇。在盘州市资源型城市转型的时期,加快第二产业向第三产业转型,发展全域旅游有利于促进区域生态环境保护与经济协调发展。

### 4.2 讨论

结合盘州市石漠化数据对ESV与GDP空间耦合进行了分析,发现严重失调衰退生态—经济共损型和严重失调衰退生态损益型的石漠化面积占严重失调衰退类总面积的36.96%,高出盘州市平均石漠化比例的7.61%;濒临衰退失调经济损益型的石漠化面积占濒临衰退失调类总面积的30.86%;轻度失调衰退类和中度失调衰退类石漠化面积比重低于全市平均石漠化面积比重。ESV与GDP空间耦合和石漠化面积比例之间的规律并不显著,其关联性有待进一步深入研究。

本文利用GDP空间化的方法,打破行政界线,实现ESV与GDP空间上的耦合。基于格网尺度定量测算了ESV与GDP耦合协调度,揭示了研究区ESV与GDP协调发展的分异特征。盘州市ESV与GDP空间耦合协调度较低,这与现实生活中发展与保护间的矛盾有很大的联系。水体、森林等ESV较高的地

类产生的 GDP 较低,建设用地的 ESV 为 0,但却是 GDP 产值最高的地类,ESV 与 GDP 之间存在一定的矛盾。而风景名胜区实现了生态环境保护与经济发展的协调,未来山区发展山地旅游将是助推区域经济与环境协同发展的一个思路,这也与盘州市资源转型的发展思路一致。因研究区地形破碎,利用地理探测器对区域耦合协调度进行驱动力分析时,效果并不显著,故本文并未在文中对驱动力进行分析。后续研究将进一步对石漠化地区生态与经济耦合协调度的驱动力指标选择、方法及时空变化上进行研究,以便更深层次剖析发展与保护之间的矛盾。此外,精细的社会经济数据空间化一直是当前研究面临的难题,如何攻克这个难题?值得思考及深入研究。

### [参 考 文 献]

- [1] 蕾切尔·卡森(RachelCarson). 寂静的春天[M]. 吕瑞兰,李长生,译. 上海:上海译文出版社,2008.
- [2] Cesari G S, Jarrett H. Environmental quality in a growing economy [J]. *Technology and Culture*, 1967,8(4):523.
- [3] Meadows Donella, Randers J, Meadows Denni. 增长的极限[M]. 李宝恒,译. 长春:吉林人民出版社,1997.
- [4] 世界环境与发展委员会. 我们共同的未来[M]. 王之佳,柯金良,译. 长春:吉林人民出版社,1997.
- [5] 郭日生.《21 世纪议程》:行动与展望[J]. *中国人口·资源与环境*,2012,22(5):5-8.
- [6] Casini M, Bastianoni S, Gagliardi F, et al. Sustainable development goals indicators: A methodological proposal for a multidimensional fuzzy index in the Mediterranean area[J]. *Sustainability*, 2019,11(4):1198.
- [7] 陈端吕,陈哲夫,彭保发. 土地利用生态服务价值与经济发展的协调及空间分异:以西洞庭湖区为例[J]. *地理研究*,2018,37(9):1692-1703.
- [8] 陈端吕,彭保发,熊建新. 环洞庭湖区生态经济系统的耦合特征研究[J]. *地理科学*,2013,33(11):1338-1346.
- [9] 塔娜,宁小莉. 乌海市生态环境与经济协调发展评价[J]. *干旱区资源与环境*,2017,31(5):94-99.
- [10] 孔伟,任亮,王淑佳,等. 河北省生态环境与经济协调发展的时空演变[J]. *应用生态学报*,2016,27(9):2941-2949.
- [11] 王大尚,李屹峰,郑华,等. 密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系[J]. *生态学报*,2014,34(1):70-81.
- [12] 朱昌丽,张继飞,赵宇鸾,等. 青藏高原东缘典型流域生态系统服务的地形梯度效应:以岷江上游为例[J]. *长江流域资源与环境*,2017,26(10):1687-1699.
- [13] 杨妮,吴良林,邓树林,等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数
- 据的省域 GDP 统计数据空间化方法:以广西壮族自治区为例[J]. *地理与地理信息科学*,2014,30(4):108-111.
- [14] 熊俊楠,韦方强,苏鹏程,等. 基于多源数据的四川省 GDP 公里格网化研究[J]. *应用基础与工程科学学报*,2013,21(2):317-327.
- [15] 吴吉东,王旭,王菜林,等. 社会经济数据空间化现状与发展趋势[J]. *地球信息科学学报*,2018,20(9):1252-1262.
- [16] 李阳兵,邵景安,周国富,等. 喀斯特山区石漠化成因的差异性定量研究:以贵州省盘县典型石漠化地区为例[J]. *地理科学*,2007,27(6):785-790.
- [17] 周忠发,朱昌丽,谭玮颐,等. 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[J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*,2019,37(1):1-9.
- [18] 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.
- [19] 陈永春,邓国志. 资源型城市土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以安徽省淮南市为例[J]. *水土保持通报*,2018,38(4):247-252.
- [20] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 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[J]. *自然资源学报*,2015,30(8):1243-1254.
- [21] 谭学玲,闫庆武,李晶晶,等. 盘县农村居民点空间分布特征及其地形地貌影响因素分析[J]. *长江流域资源与环境*,2017,26(12):2083-2090.
- [22] 周秋文,杨胜天,蔡明勇. 雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域 GDP 数据空间化估算与分析[J]. *南水北调与水利科技*,2017,15(5):176-182.
- [23] 黄莹,包安明,陈曦,等. 基于绿洲土地利用的区域 GDP 公里格网化研究[J]. *冰川冻土*,2009,31(1):158-165.
- [24] 刘红辉,江东,杨小唤,等. 基于遥感的全国 GDP 1 km 格网的空间化表达[J]. *地球信息科学*,2005,7(2):120-123.
- [25] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J]. *热带地理*,1999,19(2):171-177.
- [26] 张雅杰,刘辉智. 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调关系的时空分析[J]. *水土保持通报*,2017,37(6):334-340.
- [27] 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[J]. *地理科学*,2018,38(7):1089-1097.
- [28] 孟斌,王劲峰,张文忠,等. 基于空间分析方法的中国区域差异研究[J]. *地理科学*,2005,25(4):393-400.
- [29] 张广纳,邵景安,王金亮,等. 三峡库区重庆段农村面源污染时空格局演变特征[J]. *自然资源学报*,2015,30(7):1197-1209.