

DOI: 10.5846/stxb201904090692

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.

Zhao Z G, Yu D, Wang K R, Lü A Q. Ecosystem services value evaluation and strategies of payment for ecosystem service in western Jiangxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7507-7518.

## 赣西地区生态系统服务价值与生态补偿策略

赵志刚<sup>1</sup>, 余 德<sup>2</sup>, 王凯荣<sup>3,\*</sup>, 吕爱清<sup>1</sup>

1 宜春学院, 宜春 336000

2 中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074

3 青岛农业大学青岛市农村环境工程研究中心, 青岛 266109

**摘要:**生态补偿是解决区域生态保护与经济发展诸多矛盾的一项重要措施。基于土地利用变化,采用当量因子计算方法,对赣西地区 2002—2016 年的生态系统服务价值时空变化特征进行了分析。综合考虑区域自然、经济发展水平,测算了区域内各县(市、区)生态补偿优先级和生态补偿额度,探讨了区域生态补偿策略。研究表明:(1)赣西地区林地的生态系统服务价值最高,占总价值比例的 80.39%,水源涵养、土壤保持、气体调节等是生态系统内的主要服务类型,三者占到总比例的 51.18%,但从整个区域来看,总的生态系统服务价值和生态系统各单项服务价值均呈不同程度降低趋势。从县域单元看,生态系统服务价值相对较低的分别是渝水区、樟树市、丰城市和高安市;相对较高的主要分布在铜鼓县、宜丰县、奉新县和靖安县;生态系统服务价值下降率最高的是安源区、袁州区和渝水区。(2)赣西地区理论生态补偿总额度为 3.9262 亿元,占总 GDP 的 0.13%,林地生态系统的补偿额为 3.1820 亿元,占总补偿的 81.04%。从县域单元看,铜鼓、靖安和宜丰县为优先补偿顺序的前三位,补偿额度分别为 0.9622、0.6822 和 0.4735 亿元,占总补偿额度的 53.94%,处于后三位的分别是安源区、樟树市和上高县,占总补偿额度的 1.66%。测算出的补偿顺序与理论补偿额度,与县区统计数据资料部分印证,这表明该研究具有一定的科学性和合理性。补偿资金占 GDP 值比重低,对地方财政压力小,在保护区域生态环境与可持续发展的具体实践中,具有一定的可操作性。

**关键词:**生态系统服务价值;生态补偿额度;生态补偿优先级;赣西地区

## Ecosystem services value evaluation and strategies of payment for ecosystem service in western Jiangxi Province

ZHAO Zhigang<sup>1</sup>, YU De<sup>2</sup>, WANG Kairong<sup>3,\*</sup>, LÜ Aiqing<sup>1</sup>

1 Yichun University, Yichun 336000, China

2 School of Public Administration, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3 Qingdao Engineering Research Center for Rural Environment, Qingdao 266109, China

**Abstract:** Payment for ecosystem service is an important measure to solve contradiction between regionally ecological protection and economic development. Based on land use changes, the spatio-temporal variation characteristics of ecosystem services value (ESV) in western Jiangxi from 2002 to 2016 were analyzed using equivalent factor calculation method. Taking regional nature condition and economic development level into consideration, the ecological compensation priority and quota of counties (cities and districts) in the study region were calculated and ecological compensation strategies were also discussed. The results are as follows. (1) The ESV of forest land in western Jiangxi is the highest, accounting for 80.39% of the total value. Water and soil conservation and gas regulation are the main service types in the ecosystem, accounting for 51.18%. The total and each individual ESV show decreasing trends in varying degrees. In terms of county

基金项目:江西省社会科学“十二五”规划项目(15YJ13)

收稿日期:2019-04-09; 网络出版日期:2020-08-27

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: krwang1@163.com

units, the ESV of Yushui, Zhangshu, Fengcheng and Gao'an is relatively low, while that of Tonggu, Yifeng, Fengxin and Jing'an County is relatively high. And areas with the highest declined rates of ESV are mainly distributed in Anyuan, Yuanzhou and Qinshui district. (2) Total theoretically ecological compensation amount of western Jiangxi is 392.62 million yuan, accounting for 0.13% of GDP, among which the ecological compensation amount of forest land is 318.20 million yuan, accounting for 81.04% of the total compensation. From the perspective of county units, Tonggu, Jing'an and Yifeng are the first three priority compensation counties, with compensation amounts of 96.22, 68.22 and 47.35 million yuan, respectively, while the last three compensation counties are Anyuan, Zhangshu and Shanggao accounting for 1.66% of the total compensation amount. The priority and theoretical compensation amount calculated in this study are partly verified by the statistical data supplied by the counties and districts, which shows that the research is scientific and reasonable to some extent. The compensation funds take up a low proportion of GDP and have little pressure on local finance, which are operable in the practice of ecological environment protection and sustainable development.

**Key Words:** ecosystem services value; ecological compensation quota; ecological compensation priority sequence; western Jiangxi Province

生态系统服务是指人类直接或者间接从生态系统功能中获得的收益,这些收益包括影响人类生活的支持、调节、供给和文化服务 4 大类<sup>[1-2]</sup>。研究者通常采用货币形式对生态系统服务的价值进行估算。随着 Daily<sup>[3]</sup> 和 Costanza 等<sup>[4]</sup> 学者对于生态系统服务研究工作的开展及 MA (Millennium Assessment) 的报告<sup>[2]</sup> 发表,使得全球范围的生态系统服务价值(Ecosystem Services Value, ESV)评估研究受到广泛关注并逐渐成为热点。生态系统服务作为人类社会的物质基础和自然资本,其价值的稳定性是衡量一个地区能否实现可持续发展的重要依据<sup>[5-6]</sup>。由于人类对自然资源的过度开发利用,一些地区生态系统功能遭受巨大破坏,生态系统服务价值明显下降。为促进区域生态系统的保护与修复,调动保护区的生态保护积极性,生态补偿政策应运而生。管理者通过政策手段对损害(或保护)资源环境的行为进行收费(或补偿),以经济手段调节利益相关者的利益关系,实现保护和可持续利用生态系统服务的目的<sup>[7]</sup>。

生态补偿额度的确定是建立生态补偿机制的核心和难点<sup>[8]</sup>。一般来说,生态系统服务的价值是制定生态补偿额度的主要依据<sup>[9-10]</sup>。因此,从某种意义上说,区域生态补偿是生态系统服务价值研究的具体实践,因为生态补偿的本质就是生态保护受益者或生态破坏者向生态保护主体付费的行为<sup>[11]</sup>。国内外学者围绕生态系统服务开展了大量研究,从概念<sup>[12]</sup>、价值评估模型<sup>[13]</sup>和方法<sup>[14-16]</sup>、时空变化<sup>[17-19]</sup>,再到具体实例,涉及农田<sup>[20-21]</sup>、草地<sup>[22]</sup>、森林<sup>[23-24]</sup>、湿地<sup>[25-26]</sup>、流域<sup>[27]</sup>等诸类生态系统,这些研究为制订区域生态补偿量化标准、提供合理的生态补偿额度奠定了科学基础。对于涉及区域内多个单元间的补偿额度与顺序等问题时,王女杰等<sup>[28]</sup>以山东省为例,从区域间生态补偿的迫切程度入手,在综合考虑区域生态系统服务价值和经济发展水平的基础上,提出了生态补偿优先级概念(Ecological Compensation Priority Sequence, ECPS)。该方法已被一些学者应用于不同区域的生态补偿研究中<sup>[29-31]</sup>。在此基础上,高振斌等<sup>[32]</sup>运用区域单元补偿需求强度与生态价值量等指标对东江流域 19 县(市、区)的生态补偿额度进行了估算。

赣西地区以山地和丘陵为主,位于长株潭经济圈与鄱阳湖生态经济区之间,是两大经济都市圈的重要生态屏障区,在自然资源保护与农业生产等方面发挥着重要作用,为周边区域的生态环境稳定和经济发展做出了巨大贡献。但是,随着赣西地区城市化的发展,人为扰动加剧,近年来该区域植被覆盖度减少,高温与次高温面积扩大,热岛效应增强,生态功能退化,水土流失和土壤侵蚀增强,对区域生态系统安全造成严重威胁<sup>[33]</sup>。本研究以赣西地区为对象,基于土地利用变化数据,采用当量因子计算方法对 2002—2016 年该区域生态系统服务价值的时空特征进行分析,并综合考虑区域自然、经济发展水平,对各县(区)生态补偿优先级和生态补偿额度进行测算,旨在为促进赣西地区生态系统健康和社会经济协调发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

赣西地处  $113^{\circ}34'—116^{\circ}9'E, 29^{\circ}57'—29^{\circ}6'N$  之间,辖宜春、萍乡和新余三个地级市,17 个县(区)(图 1)。东部和中部地形相对平坦,西北—北部、西南部海拔相对较高,主要山脉有九岭山和罗霄山脉。该区多年平均气温  $17^{\circ}C$ ,年均降水量  $1500—1600\text{ mm}$ ,年均日照数  $1650\text{ h}$ ,无霜期  $270\text{ d}$ ,属亚热带季风气候区,林草覆盖率  $60\%$  以上,为江西、湖南和湖北等省的发展提供了重要的生态屏障。

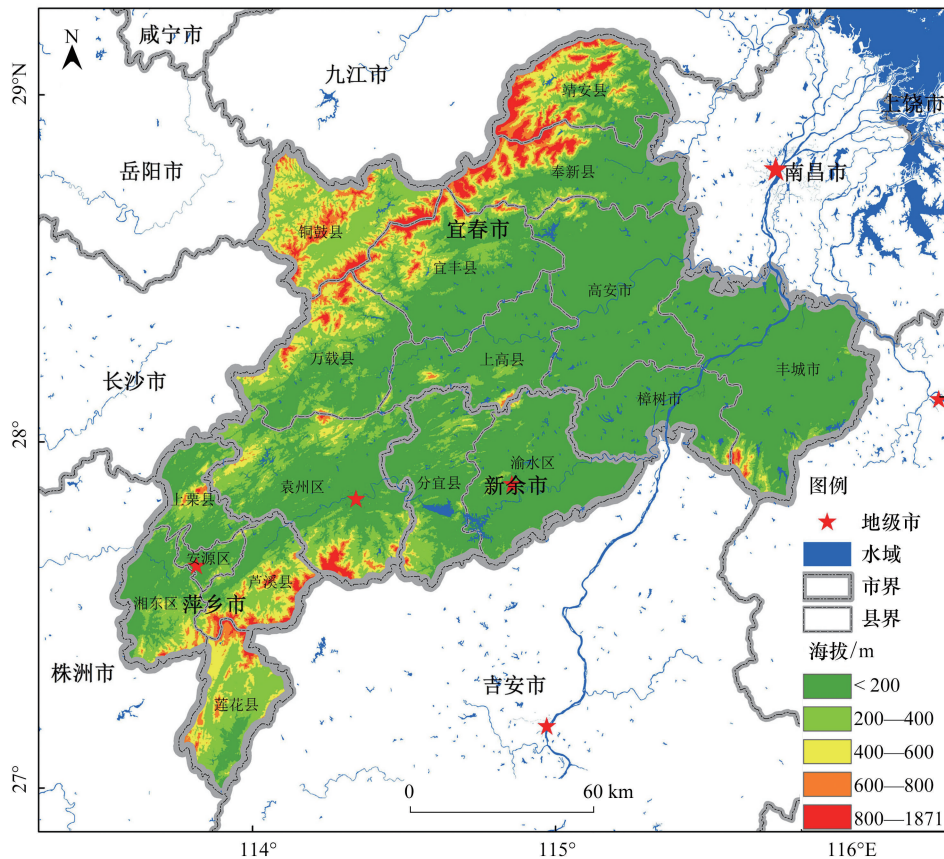


图 1 赣西区位示意图

Fig.1 Sketch map of western Jiangxi Province

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

土地利用/覆被分类数据通过解译 2002 年、2009 年和 2016 年的 TM/ETM+/OLI 影像获得(影像来源于地理空间数据云, <http://www.gscloud.cn/>),影像轨道号分别为 121/040、121/041、122/040、122/41 和 123/41,各期影像含云量均低于  $5\%$ 。在对影像进行拼接、几何配准、裁剪等处理后结合 DEM 数据构建新的数据集,然后采用目视解译和实地调查方法获得训练样本制作感兴趣区(Region of Interest, ROI),基于 CART 算法的决策树分类方法将研究区分为耕地、林地、草地、建设用地、水域和未利用地 6 个类别,并使用训练样本、实地调查样点和部分县的土地利用现状图进行精度检验,证实各年份分类总体精度均在  $85\%$  以上,符合研究要求;社会经济数据来源于域内各市、县统计年鉴及政府网站公报数据;行政区数据为国家基础地理信息中心的  $1:100$  万比例尺数据。

研究区域总面积  $25677.44\text{ km}^2$ ,占江西省全域面积的  $15.38\%$ ,土地利用类型以林地和耕地为主(图 2)。

从空间分布来看,林地多集中于西北—北部、西南部海拔相对较高地区,耕地主要集中于东部相对平缓区域。

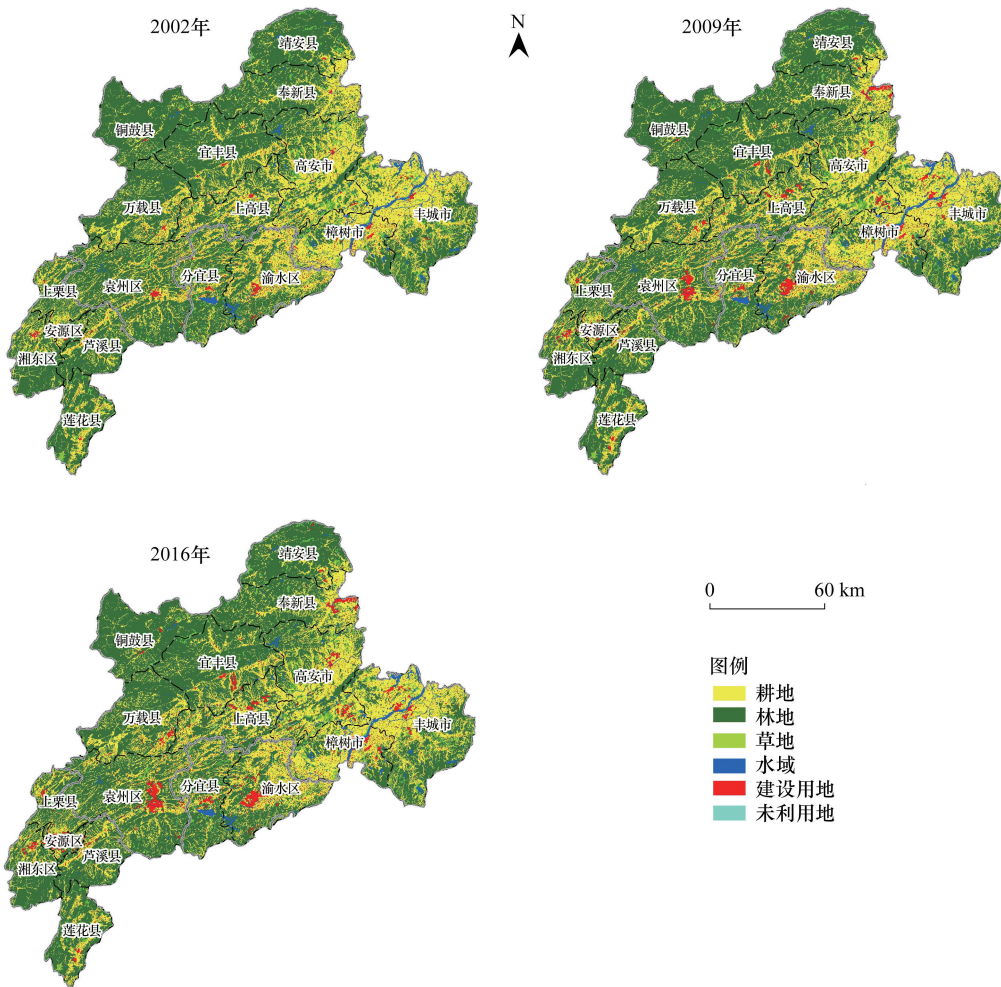


图2 赣西土地利用/覆被分类图

Fig.2 Land use/cover classification in western Jiangxi Province

统计各地类面积(表1)可知,2002—2016年,赣西地区耕地、林地、草地和未利用地面积呈减少状态,水域和建设用地面积呈增加状态,其中建设用地增加率最大,达到58.31%。

表1 2002—2016年赣西地区土地利用变化

Table 1 Land use changes in western Jiangxi Province from 2002 to 2016

土地利用类型 Land use types	面积 Area/( $\times 10^4 \text{ hm}^2$ )			2002—2016	
	2002	2009	2016	变化值/( $\times 10^4 \text{ hm}^2$ ) Value changes	变化率/% Rate of changes
耕地 Arable land	85.6731	84.3222	83.8070	-1.8662	-2.18
林地 Forest land	151.7720	150.6096	149.9550	-1.8170	-1.20
草地 Grassland	6.5161	6.2880	6.2187	-0.2974	-4.56
水域 Water area	6.0884	6.1964	6.1925	0.1041	1.71
建设用地 Construction land	6.6673	9.3118	10.5548	3.8875	58.31
未利用地 Unused land	0.0575	0.0464	0.0464	-0.011	-19.21
合计 Total	256.7744	256.7744	256.7744	0.0000	—

## 2.2 生态系统服务价值计算与空间分析

生态系统服务价值计算方法以谢高地等<sup>[16]</sup>的研究结果为基础数据,参考葛全胜等<sup>[34]</sup>、郭志华等<sup>[35]</sup>研究成果计算出赣西地区各类型土地自调节系数,获得单位面积生态服务价值基础数据(表 2)<sup>[36]</sup>。然后结合土地利用分类数据计算得到 2002 年、2009 年和 2016 年各栅格像元上生态系统服务价值,以 3 km×3 km 的网格为基础单元统计生态系统服务价值,按照 < 300 万元、300—600 万元、600—900 万元、900—1200 万元、>1200 万元分级符号化,并计算各网格内生态系统服务价值年均变化率,进一步分析生态系统服务价值的空间变化特征。

表 2 赣西地区单位面积生态系统服务价值/(元 hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)

Table 2 Ecosystem services value per unit area in western Jiangxi Province

生态系统服务 Ecosystem services	耕地 Arable land	林地 Forest land	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
食物生产 Food production	556.88	330.49	227.87	238.02	0.00	8.98
原材料生产 Raw material production	176.90	896.67	150.36	157.19	0.00	17.96
气体调节 Gas regulation	339.52	2677.35	687.12	229.04	0.00	26.95
气候调节 Climate regulation	487.91	2102.02	1015.87	925.15	0.00	58.38
水源涵养 Water conservation	660.50	2847.07	1112.69	8429.61	0.00	31.44
废物处理 Waste disposal	593.04	872.87	741.01	6669.14	0.00	116.77
土壤保持 Erosion control	1359.97	2527.53	1629.69	184.13	0.00	76.35
生物多样性保护 Biodiversity conservation	471.82	2329.26	1116.96	1540.41	0.00	179.64
娱乐文化 Entertainment	76.35	934.13	390.72	1994.00	153.60	107.78
合计 Total	4722.89	15517.39	7072.29	20366.69	153.60	624.25

## 2.3 生态补偿优先级计算

在资金有限的情况下,如何统筹各县(市、区)实施生态补偿的顺序、提高资金利用效益是实践中必须优先解决的问题。生态补偿优先级指数的提出,为客观反映区域生态系统服务供需关系,衡量地区生态受偿迫切度提供了依据<sup>[28]</sup>。本研究中优先级的确定由经济发展水平和生态系统服务价值两个变量决定。由于生态系统服务的市场价值(食物生产与原材料生产价值)已在市场机制中转化成货币,并在区域经济发展中得到体现,故在估算生态系统服务价值时,只考虑非市场价值。其具体表达式如下:

$$ECPS = \frac{N\_ESV}{GDP} \quad (1)$$

式(1)中,ECPS 为区域生态补偿优先级指数,N\_ESV 代表各县(市、区)生态系统服务价值中除食物生产、原材料生产价值以外的非市场服务价值,GDP 代表县(市、区)域国民经济生产总值。ECPS 值越高,说明该区域支付生态补偿后对其经济状况影响越大,应当率先得到生态补偿支持;反之,说明该区域支付生态补偿后对其经济状况影响较小,应当率先支付生态补偿资金。

## 2.4 生态补偿额度估算方法

为降低经济相对落后、生态环境良好地区想实现快速发展而加大资源开发力度、破坏生态系统的风险,在支付能力有限的情况下,应优先考虑对这些地区进行生态补偿<sup>[32]</sup>。基于此,本文通过引入区域生态补偿需求强度(不同区域间对需要进行生态补偿的紧迫程度)和非市场生态系统服务价值折算系数(按区域实际非市场生态系统服务价值进行折算)来反映生态补偿额度的区域差异。区域生态补偿需求强度系数采用生态补偿优先级归一化结果来表征。其具体表达式如下:

$$V_i = k \times N\_ESV_i \times T_i \quad (2)$$

$$T_i = 2 \times \arctan ECPS_i / \pi \quad (3)$$

式中, $V_i$ 为第  $i$  区域生态补偿总量, $N\_ESV_i$ 为第  $i$  区域非市场生态系统服务价值, $k$  为非市场生态系统服务价

值折算系数,参照资料<sup>[37]</sup>选择数值为 15%, $T_i$ 为区域生态补偿需求强度,ECPS<sub>*i*</sub>为第 *i* 区域生态补偿优先级指数, $\pi$  为圆周率,*i* 为研究区域不同县(市、区)。

### 3 结果与分析

#### 3.1 赣西地区生态系统服务价值的时空变化特征

##### 3.1.1 生态系统服务价值的时间变化

表 3 结果显示,2002—2016 年间,赣西地区生态系统服务价值总体呈下降趋势,由 293.09 亿元下降至 289.45 亿元,变化率为-1.24%。从不同土地类型对生态系统服务价值贡献来看,林地是提供生态系统服务价值最重要的类型,两期数据占比都在 80.00%以上;其次为耕地,占比均在 13.50%以上;再次是水域和草地,占比分别为 4.00%和 1.50%;建设用地和未利用地的生态系统服务价值占比很低。

表 3 2002—2016 年赣西地区各土地类型生态系统服务价值变化

Table 3 Changes of ecosystem services value of land types in western Jiangxi Province from 2002 to 2016

土地利用类型 Land use types	生态系统服务价值 Ecosystem services value/( $\times 10^8$ 元)			变化值/( $\times 10^8$ 元) Value changes	变化率/% Rate of changes
	2002	2009	2016		
耕地 Arable land	40.4625	39.8245	39.5811	-0.8814	-2.18
林地 Forest land	235.5106	233.7068	232.6910	-2.8196	-1.20
草地 Grassland	4.6084	4.4470	4.3980	-0.2103	-4.56
水域 Water area	12.4001	12.6199	12.6121	0.2121	1.71
建设用地 Construction land	0.1024	0.1430	0.1621	0.0597	58.31
未利用地 Unused land	0.0036	0.0029	0.0029	-0.0007	-19.21
合计 Total	293.0875	290.7442	289.4473	-3.6402	-1.24

2002—2016 年间,赣西草地生态系统服务价值下降比例最高,为-4.56%,耕地次之,水域生态系统服务价值略有增加;林地生态系统服务价值尽管下降比例不高,但总量降低最多,为 2.82 亿元。分阶段来看,耕地、林地、草地、未利用地生态系统服务价值持续下降,但减少速度在后一时期有所降低,水域生态系统服务价值则是先增后减。

对赣西地区 2002 年和 2016 年的生态系统各单项服务价值进行统计,得到结果如表 4 所示。

表 4 2002—2016 年赣西地区生态系统各单项服务价值变化

Table 4 Changes of each individual ecosystem services value in western Jiangxi Province from 2002 to 2016

生态系统服务 Ecosystem services	价值 Value/( $\times 10^8$ 元)			变化值 Value changes / ( $\times 10^8$ 元)	变化率 Rate of changes/%	排序(趋势) Ranking(trend)
	2002	2009	2016			
食物生产 Food production	10.0803	9.9640	9.9120	-0.1683	-1.67	9(↓)
原材料生产 Raw material production	15.3183	15.1884	15.1195	-0.1988	-1.30	8(↓)
气体调节 Gas regulation	44.1308	43.7605	43.5629	-0.5679	-1.29	3(↓)
气候调节 Climate regulation	37.3084	36.9849	36.8148	-0.4936	-1.32	5(↓)
水源涵养 Water conservation	54.7268	54.3722	54.1408	-0.5860	-1.07	1(↓)
废物处理 Waste disposal	22.8725	22.7458	22.6504	-0.2221	-0.97	6(↓)
土壤保持 Erosion control	51.1866	50.6738	50.4269	-0.7597	-1.48	2(↓)
生物多样性保护 Biodiversity conservation	41.0606	40.7171	40.5319	-0.5287	-1.29	4(↓)
娱乐文化 Entertainment	16.4033	16.3375	16.2880	-0.1153	-0.70	7(↓)
合计 Total	293.0875	290.7442	289.4473	-3.6402	-1.24	—

表 4 可以看出,赣西地区生态系统各单项服务价值排序依次为:水源涵养、土壤保持、气体调节、生物多样性保护、气候调节、废物处理、娱乐文化、原材料生产和食物生产,三个时期的大小顺序保持不变。对比两期生态系统各单项服务价值变化值,表内各项均呈下降趋势,按减少总量大小排序依次为土壤保持(0.7597 亿元)、水源涵养(0.5860 亿元)、气体调节(0.5679 亿元)、生物多样性保护(0.5287 亿元)、气候调节(0.4936 亿元)、废物处理(0.2221 亿元)、原材料生产(0.1988 亿元)、食物生产(0.1683 亿元)和娱乐文化(0.1153 亿元)。

### 3.1.2 生态系统服务价值的空间变化

由图 3 可以看出,赣西地区生态系统服务价值高( $\geq 1200$  万元)的区域主要分布在西北和北部,即万载—铜鼓—宜丰—奉新—靖安一带区域,以及湘东区,芦溪—袁州—分宜等南部地区。对比土地利用分类图(图 2)可以发现,上述地区主要为林地类型,植被覆盖率占比较高。而生态系统服务价值较低(300—600 万元)的区域主要分布在渝水区、樟树、丰城、高安及奉新东部区域,这些区域土地类型以耕地为主。单元网格内生态系统服务价值 $< 300$  万元的区域在 2002 年仅新余市渝水区有 2 个;2009 年共有 12 个,其中安源区 1 个、袁州区 3 个、渝水区 5 个、樟树市 1 个、丰城市 2 个;2016 年增加到了 15 个,其中安源区 1 个、袁州区 5 个、渝水区 6 个、樟树市 1 个、丰城市 2 个。总体来看,网格单元生态系统服务价值 $< 300$  万元的区域主要集中在袁州区和渝水区。

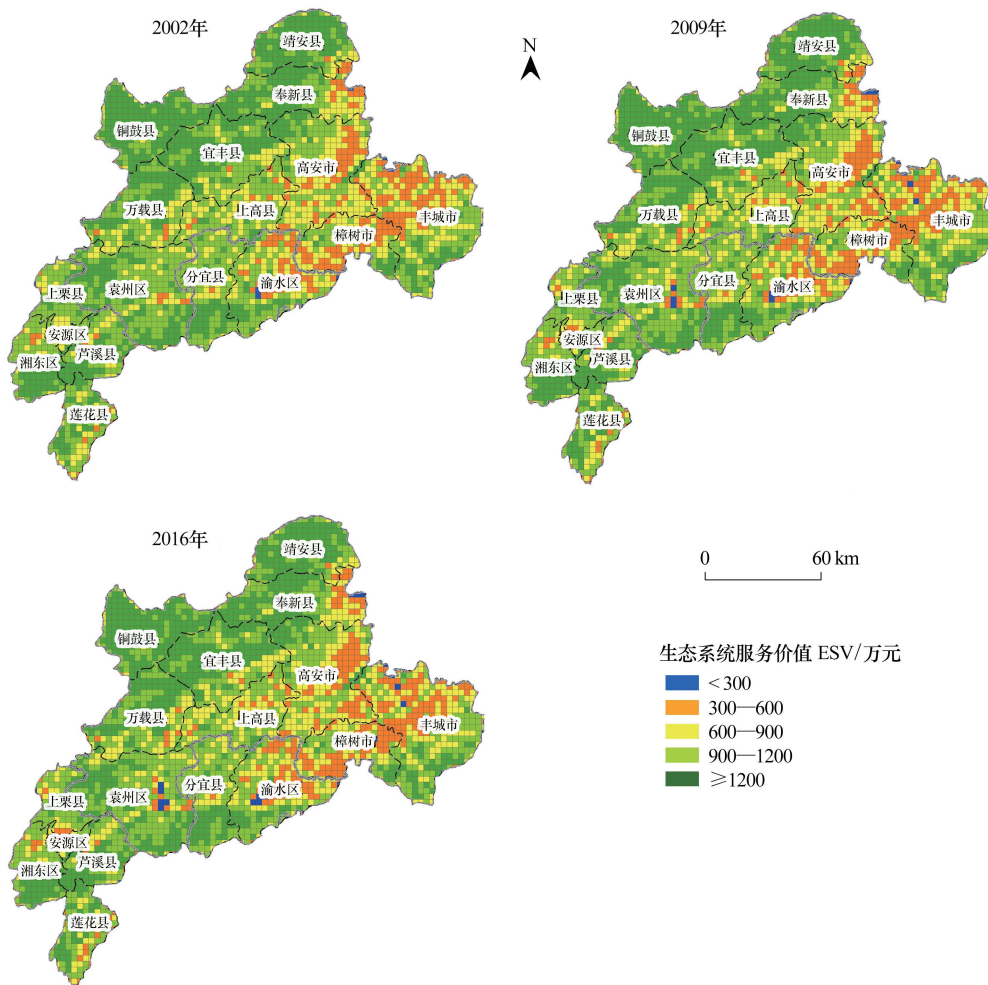


图 3 赣西地区生态系统服务价值空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of ecosystem services value in western Jiangxi Province

通过计算研究区域栅格尺度上的生态系统服务价值年均变化,可进一步解析其空间变化特征(图 4)。

2002—2016 年,赣西地区 17 个县(市、区)生态系统服务价值均出现不同程度的减少,且 2002—2009 年减少程度要比 2009—2016 年更大,减少像元主要分布在城市扩展区。总体来看,在 2002—2016 年,生态系统服务价值年均变化率 $<-4\%$ 的像元单元为 7 个,变化率在 $-4\%$ — $-2\%$ 的像元单元为 43 个,主要分布在安源、袁州和渝水。生态系统服务价值年均增长率 $2\%$ — $4\%$ 的像元数量在高安市与莲花县各有 1 个, $>4\%$ 的像元数量未见分布。

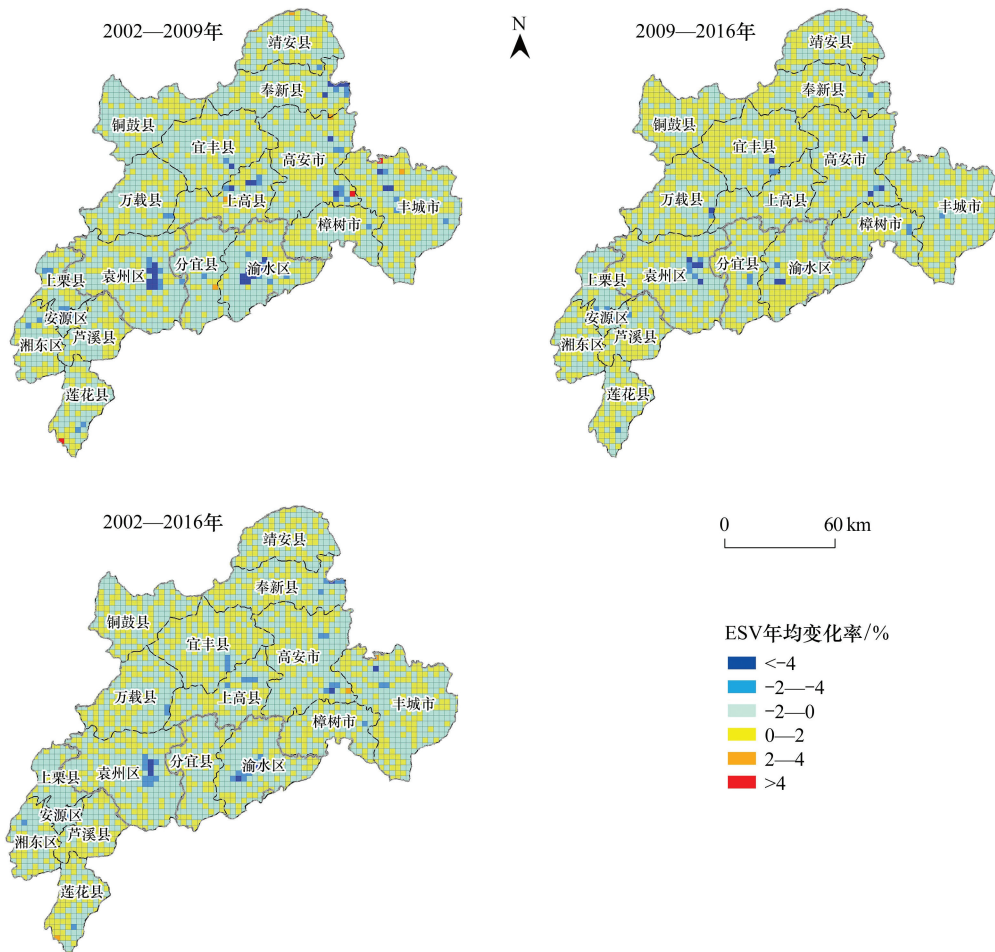


图 4 赣西地区生态系统服务价值变化空间分异图

Fig.4 Spatial variation of ecosystem services value in western Jiangxi Province

### 3.2 赣西地区生态补偿额度与优先级

根据赣西地区生态系统服务的受益与补偿范围,以 2016 年数据为基础,计算了各土地类型生态系统服务价值的理论生态补偿额度(表 5)。赣西地区理论生态补偿总额度为 3.9262 亿元,其中林地生态系统需补偿 3.1820 亿元,是该区域生态补偿的核心,占比达 81.04%;其次是耕地和水域,补偿额度分别为 0.4964 亿元和 0.1836 亿元,分别占比 12.64%和 4.68%。从生态系统各单项服务来看,补偿额度从高到低依次是水源涵养、土壤保持、气体调节、生物多样性、气候调节、废物处理和娱乐文化功能,占比分别为 20.48%、19.07%、16.48%、15.33%、13.92%、8.57%和 6.16%。

通过引入区域生态补偿需求强度系数和生态价值折算系数估算出研究区域各县(市、区)生态补偿额度(表 6)。结果显示,生态补偿优先顺序排名前三的分别是铜鼓、靖安和宜丰,数额分别为 0.9622 亿元、0.6822 亿元和 0.4735 亿元,占总补偿额度的 53.94%;处于后三位的分别是安源、樟树和上高,仅占总补偿额度的 1.66%。各县(市、区)优先级指数平均值为 0.0852,超过平均值的有 8 个,低于平均值的有 9 个。各县(市、



区)补偿额度与 GDP 值相比,所占比例均较低,总补偿额度仅占赣西地区总 GDP 总额的 0.13%,补偿额度最高的铜鼓县也仅占 2016 年该县 GDP 的 2.46%。按照生态补偿优先级排序,赣西地区依次为:铜鼓县、靖安县、宜丰县、莲花县、万载县、奉新县、袁州区、高安市、芦溪县、分宜县、上栗县、渝水区、丰城市、湘东区、上高县、樟树市、安源区。

表 5 赣西地区生态系统理论生态补偿额度(2016 年数据)/( $\times 10^8$ 元)

Table 5 Eco-compensation theoretical quota for western Jiangxi Province(2016 data)

生态系统服务 Ecosystem services	耕地 Arable land	林地 Forest land	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
气体调节 Gas regulation	0.0423	0.5962	0.0063	0.0021	0.0000	0.0000
气候调节 Climate regulation	0.0607	0.4681	0.0094	0.0085	0.0000	0.0000
水源涵养 Water conservation	0.0822	0.6340	0.0103	0.0775	0.0000	0.0000
废物处理 Waste disposal	0.0738	0.1944	0.0068	0.0613	0.0000	0.0000
土壤保持 Erosion control	0.1692	0.5628	0.0150	0.0017	0.0000	0.0000
生物多样性保护 Biodiversity conservation	0.0587	0.5187	0.0103	0.0142	0.0000	0.0000
娱乐文化 Entertainment	0.0095	0.2080	0.0036	0.0183	0.0024	0.0000
合计 Total	0.4964	3.1820	0.0618	0.1836	0.0024	0.0000

表 6 赣西地区各县(区)生态补偿额度与优先级测算(2016 年数据)

Table 6 Ecological compensation amount and priority calculation of the counties and cities in western Jiangxi Province (2016 data)

地区名称 Name of county	GDP/ ( $\times 10^8$ 元)	N_ESV/ ( $\times 10^8$ 元)	优先级 ECPS	补偿额度 Payment/ ( $\times 10^8$ 元)	占 GDP 比例 Ratio of GDP/%	排序 Ranking
铜鼓县	39.0746	20.6912	0.5295	0.9622	2.4625	1
靖安县	39.3031	17.2625	0.4392	0.6822	1.7358	2
宜丰县	102.7508	22.7530	0.2214	0.4735	0.4608	3
莲花县	60.1962	11.6472	0.1935	0.2126	0.3531	4
万载县	120.0318	18.7957	0.1566	0.2788	0.2323	5
奉新县	123.1119	17.3430	0.1409	0.2318	0.1883	6
袁州区	248.9444	27.7560	0.1115	0.2943	0.1182	7
高安市	208.0544	20.5779	0.0989	0.1944	0.0934	8
芦溪县	139.5728	10.2921	0.0737	0.0722	0.0517	9
分宜县	224.8000	15.2960	0.0680	0.0992	0.0441	10
上栗县	187.6219	12.0560	0.0643	0.0739	0.0394	11
渝水区	245.2300	15.3301	0.0625	0.0914	0.0373	12
丰城市	423.6645	24.8412	0.0586	0.1389	0.0328	13
湘东区	195.2851	10.6871	0.0547	0.0558	0.0286	14
上高县	143.1711	7.3723	0.0515	0.0362	0.0253	15
樟树市	333.5947	9.7957	0.0294	0.0275	0.0082	16
安源区	269.9763	1.8949	0.0070	0.0013	0.0005	17
合计 Total	3104.3836	264.3918	—	3.9262	0.1265	—

#### 4 讨论与结论

生态系统服务对人类的生产、生活具有重要意义。然而,近 15 年(2002—2016)来,随着赣西地区城镇化、工业化的快速推进,林地、耕地、草地面积逐渐减小,区域内生态系统服务价值持续降低,累计共减少了 3.64 亿元,变化率为-1.24%。尽管与我国其他一些城市相比<sup>[38-39]</sup>,赣西地区生态系统服务价值下降幅度相对

较小,但由于赣西地区位于长沙与南昌两大省会城市之间,随着长株潭城市圈与鄱阳湖生态经济区经济建设的持续推进,恐将会进一步压缩赣西地区良好的生态空间。因此,加强该区域的生态系统保护具有重要意义。

本研究表明,林地是赣西地区提供生态系统服务价值最重要的类型,占总价值比例的 80.39%,主要分布在赣西的西北部等地。水源涵养、土壤保持、气体调节是生态系统内的主要服务类型,三者占到总比例的 51.18%。从空间上来看,生态系统服务价值相对较低的区域主要分布在渝水、樟树、丰城和高安,主要原因是这些县(市、区)毗邻南昌市,受省会城市辐射影响,该区域人口集中,工业较强,对生态环境的负面影响相对较大;生态系统服务价值相对较高的区域主要分布在铜鼓、宜丰、奉新和靖安等西北部县,这些县区林地面积较大,如靖安县森林覆盖率达到 84.10%(2016 年)。在 2002—2016 年赣西地区 17 个县(市、区)生态系统服务总价值均出现不同程度的减少,其中降幅较大的县(市、区)主要是萍乡、宜春和新余市的行政中心区域,统计数据表明,安源、袁州和渝水区是近 15 年来城镇化发展最快、人口增加最多的三个区县。

补偿优先级是在一个区域内各个县(市、区)补偿顺序的相对值,可根据区域总  $N\_ESV$  与总 GDP 先计算出均值,再进行对比分析,判断各县(市、区)补偿的需求程度。补偿额度则是在一个区域内各个县(市、区)需要给予补偿的具体值,在计算出理论数值的基础上,根据区域内可提供的实际补偿金额进行合理分配。两者之间有一定的关联,研究区域生态补偿优先顺序,可以对有限的生态补偿资金进行更加合理的分配。本研究证实,生态补偿优先级与区域 GDP 成反比,经济总量高的地区其生态补偿优先级一般较低,这与生态补偿初衷相一致的,即经济发展较快的地区要通过生态补偿资金反哺经济发展落后地区。本研究发现,赣西的铜鼓、靖安和宜丰县为优先补偿顺序和需要补偿的额度均排名前三。赵志刚等<sup>[40]</sup>之前的研究发现,铜鼓、靖安和宜丰三县的农业生态安全度在赣西地区处于前三位的水平,说明这些县在生态环境建设与保护方面做出了巨大贡献,其生态系统服务价值较高,但三县的 GDP 值相对较低,排名倒数,表明其在保护环境的同时也牺牲了一定的发展机会和经济利益,因而优先通过一定额度的生态补偿对于减缓这些县域的经济发展滞后状况具有重要的现实意义。本研究测算出的赣西地区理论生态补偿总金额为 3.9262 亿元,占总 GDP 比例的 0.13%,对地方政府的财政经济压力并不大,在生态补偿实践中具有较好的可操作性。

党的十九大报告明确提出,要像对待生命一样对待生态环境,统筹山水林田湖草系统治理,实行最严格的生态环境保护制度,同时要求建立市场化、多元化的生态补偿机制。因此,生态补偿研究首先要考虑能否指导具体的实践工作。生态环境问题存在跨界流动性特征<sup>[41]</sup>,国内也有学者对跨省域的生态补偿机制进行了研究<sup>[42-43]</sup>,但由于涉及省际间的行政、财政等方面的问题较多,具体实施仍有一定难度。从目前的现实来看,在同一省份内开展生态补偿工作具有较强的可操作性。国家在 2010 年和 2017 年相继出台了《鄱阳湖生态经济区规划》<sup>[44]</sup>和《国家生态文明试验区(江西)实施方案》<sup>[45]</sup>文件,将鄱阳湖生态经济区及江西省确立为建立生态补偿机制的试点区域,要求率先建立生态补偿机制,进而为全面建立生态补偿机制提供经验。同期江西省也相继出台了相应的森林与流域生态补偿政策,如《江西省生态公益林管理办法》<sup>[46]</sup>、《江西省流域生态补偿办法》<sup>[47]</sup>等,为促进赣西区域生态补偿研究与实践打下良好的基础。

对于生态补偿资金的分配和使用的问题,本研究认为可以将补偿资金分为两部分,一部分分配给以人为主体的单位,即对在保护生态环境效益时牺牲了发展机会和经济利益的主体给予额外的资金补偿;另一部分分配给以自然为主体的单位,即对为恢复生态服务价值而进行生态修复的主体进行生态建设资金补偿。计算分配给自然为主体的补偿金额时应考虑本区域已出现和未来可能出现的生态服务价值下降的额度,并按按年度逐步投入。

综上,本研究的主要结论如下:

① 赣西地区林地的生态系统服务价值最高,占总价值的比例达 80.39%,水源涵养、土壤保持、气体调节等是生态系统内的主要服务类型,三者占到总比例的 51.18%,但从整个区域来看,总的生态系统服务价值和生态系统各单项服务价值均呈不同程度降低趋势。从县域单元看,生态系统服务价值相对较低的分别是渝水区、樟树市、丰城市和高安市;相对较高的主要分布在铜鼓县、宜丰县、奉新县和靖安县;生态系统服务价值下

降率最高的是安源区、袁州区和渝水区。

② 赣西地区理论生态补偿总额度为 3.9262 亿元, 占总  $N_{ESV}$  的 1.49%, 总 GDP 的 0.13%, 林地生态系统的补偿额为 3.1820 亿元, 占总补偿的 81.04%。从县域单元看, 铜鼓、靖安和宜丰县为优先补偿顺序的前三位, 补偿额度分别为 0.9622、0.6822 和 0.4735 亿元, 占总补偿额度的 53.94%, 处于后三位的分别是安源区、樟树市和上高县, 占总补偿额度的 1.66%。本研究测算出的补偿顺序与理论补偿额度, 与县区统计数据资料部分印证, 这表明该研究具有一定的科学性和合理性。补偿资金占 GDP 值比重低, 对地方财政压力小, 在保护区域生态环境与可持续发展的具体实践中, 具有一定的可操作性。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 冯剑丰, 李宇, 朱琳. 生态系统功能与生态系统服务的概念辨析. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1599-1603.
- [ 2 ] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.
- [ 3 ] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997.
- [ 4 ] 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.
- [ 5 ] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [ 6 ] 赵志刚, 余德, 韩成云, 王凯荣. 鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值预测与驱动力. 生态学报, 2017, 37(24): 8411-8421.
- [ 7 ] 陶建格. 生态补偿理论研究现状与进展. 生态环境学报, 2012, 21(4): 786-792.
- [ 8 ] 马爱慧, 蔡银莺, 张安录. 基于选择实验法的耕地生态补偿额度测算. 自然资源学报, 2012, 27(7): 1154-1163.
- [ 9 ] 郑德凤, 臧正, 孙才志. 改进的生态系统服务价值模型及其在生态经济评价中的应用. 资源科学, 2014, 36(3): 584-593.
- [ 10 ] 杨正勇, 杨怀宇, 郭宗香. 农业生态系统服务价值评估研究进展. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 1045-1050.
- [ 11 ] 郭荣中, 申海建, 杨敏华. 澧水流域生态系统服务价值与生态补偿策略. 环境科学研究, 2016, 29(5): 774-782.
- [ 12 ] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [ 13 ] Matthews R. The People and Landscape Model (PALM): towards full integration of human decision-making and biophysical simulation models. Ecological Modelling, 2006, 194(4): 329-343.
- [ 14 ] Van Houtven G, Mansfield C, Phaneuf D J, Von Haefen R, Milstead B, Kenney M A, Reckhow K H. Combining expert elicitation and stated preference methods to value ecosystem services from improved lake water quality. Ecological Economics, 2014, 99: 40-52.
- [ 15 ] 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.
- [ 16 ] 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.
- [ 17 ] 岳书平, 张树文, 闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响. 地理学报, 2007, 62(8): 879-886.
- [ 18 ] 陈美球, 赵宝苹, 罗志军, 黄宏胜, 魏晓华, 吕添贵, 许莉. 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化. 生态学报, 2013, 33(9): 2761-2767.
- [ 19 ] 孔令桥, 张路, 郑华, 徐卫华, 肖焱, 欧阳志云. 长江流域生态系统格局演变及驱动力. 生态学报, 2018, 38(3): 741-749.
- [ 20 ] Baral H, Keenan R J, Sharma S K, Stork N E, Kasel S. Economic evaluation of ecosystem goods and services under different landscape management scenarios. Land Use Policy, 2014, 39: 54-64.
- [ 21 ] 岳东霞, 杜军, 巩杰, 降同昌, 张佳静, 郭建军, 熊友才. 民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析. 生态学报, 2011, 31(9): 2567-2575.
- [ 22 ] Pan Y, Wu J X, Xu Z R. Analysis of the tradeoffs between provisioning and regulating services from the perspective of varied share of net primary production in an alpine grassland ecosystem. Ecological Complexity, 2014, 17(3): 79-86.
- [ 23 ] Dobbs C, Kendal D, Nitschke C R. Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics. Ecological Indicators, 2014, 43(8): 44-55.
- [ 24 ] 殷莎, 赵永华, 韩磊, 王耀斌, 蔡健. 秦岭森林生态系统服务价值的时空演变. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3777-3786.
- [ 25 ] McDonough S, Gallardo W, Berg H, Trai N V, Yen N Q. Wetland ecosystem service values and shrimp aquaculture relationships in Can Gio, Vietnam. Ecological Indicators, 2014, 46(11): 201-213.
- [ 26 ] 许妍, 高俊峰, 黄佳聪. 太湖湿地生态系统服务功能价值评估. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 646-652.
- [ 27 ] 姜翠红, 李广泳, 程滔, 陈占涛, 张浩然. 青海湖流域生态服务价值时空格局变化及其影响因子研究. 资源科学, 2016, 38(8):

1572-1584.

- [28] 王女杰, 刘建, 吴大千, 高旌, 王仁卿. 基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例. 生态学报, 2010, 30(23): 6646-6653.
- [29] 孙贤斌, 黄润. 基于 GIS 的安徽省会经济圈区域生态补偿优先等级研究. 水土保持研究, 2013, 20(1): 152-155.
- [30] 孟雅丽, 苏志珠, 马杰, 钞锦龙, 马义娟. 基于生态系统服务价值的汾河流域生态补偿研究. 干旱区资源与环境, 2017, 31(8): 76-81.
- [31] 郭年冬, 李恒哲, 李超, 陈召亚, 许峰. 基于生态系统服务价值的环京津地区生态补偿研究. 中国生态农业学报, 2015, 23(11): 1473-1480.
- [32] 高振斌, 王小莉, 苏婧, 陈志凡, 郑明霞, 孙源媛, 纪丹凤. 基于生态系统服务价值评估的东江流域生态补偿研究. 生态与农村环境学报, 2018, 34(6): 563-570.
- [33] 赵志刚, 余德, 何宁, 韩成云. 赣西三市热环境时空演变特征及影响因素. 生态科学, 2019, 38(3): 174-181.
- [34] 葛全胜, 赵名茶, 郑景云, 方修琦. 中国陆地表层系统分区初探. 地理学报, 2002, 57(5): 515-522.
- [35] 郭志华, 刘祥梅, 肖文发, 王建力, 孟畅. 基于 GIS 的中国气候分区及综合评价. 资源科学, 2007, 29(6): 2-9.
- [36] 赵志刚. 区域农业资源评价与设计. 北京: 科学技术文献出版社, 2015.
- [37] 许丽丽, 李宝林, 袁焯城, 高锡章, 张涛. 基于生态系统服务价值评估的我国集中连片重点贫困区生态补偿研究. 地球信息科学学报, 2016, 18(3): 286-297.
- [38] 张寒. 长株潭地区生态服务价值变化及驱动力分析. 长沙: 湖南师范大学, 2014.
- [39] 田甜, 韩春兰, 王英杰, 王秋兵. 沈阳市土地生态系统服务价值变化研究. 土壤通报, 2016, 47(3): 573-579.
- [40] 赵志刚, 王凯荣, 谢小立. 江西省农业可持续发展的生态安全评价. 生态与农村环境学报, 2012, 28(3): 225-230.
- [41] 姜珂, 游达明. 基于区域生态补偿的跨界污染治理微分对策研究. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(1): 135-143.
- [42] 崔树彬, 李杰, 严黎. 珠江水系东江流域上下游生态补偿机制. 水资源保护, 2015, 31(6): 27-31.
- [43] 孔凡斌. 江河源头水源涵养生态功能区生态补偿机制研究——以江西东江源区为例. 经济地理, 2010, 30(2): 299-305.
- [44] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于印发鄱阳湖生态经济区规划的通知. 江西省人民政府公报, 2010, (4): 5-26.
- [45] 新华社. 中共中央办公厅国务院办公厅印发《国家生态文明试验区(江西)实施方案》和《国家生态文明试验区(贵州)实施方案》. (2017-10-02)[2018-01-10]. [http://www.gov.cn/zhengce/2017-10/02/content\\_5229318.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2017-10/02/content_5229318.htm).
- [46] 江西省人民政府. 江西省生态公益林管理办法. 江西省人民政府公报, 2009, (16): 13-17.
- [47] 江西省人民政府. 江西省人民政府关于印发江西省流域生态补偿办法的通知. 江西省人民政府公报, 2018, (5): 18-21.