

基于生态系统服务价值的皖江城市带废弃矿山生态修复效益评价及补偿标准研究

戴红军

淮南师范学院经济与管理学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2024年11月19日; 录用日期: 2024年12月17日; 发布日期: 2024年12月27日

摘 要

皖江城市带存在着大面积的废弃矿山, 这不仅严重影响了当地的生态环境, 也对居民的身心健康造成了严重的伤害。废弃矿山生态修复难点在于需要耗费巨大的资金。本文以谢高地等众多专家确立的中国生态系统服务价值评估单价体系为基础, 从社会经济发展状况和资源稀缺程度两个维度调整生态系统服务价值当量表, 测算皖江城市带废弃矿山生态修复效益, 在此基础上确定补偿标准。研究结果表明, 在2021~2022年间, 皖江城市带修复废弃矿山1839.06公顷, 生态修复效益达3.074亿元, 需要补偿的金额在2.172亿元。该方法是基于理论基础完备, 评估结果相对科学、客观, 可以作为地方政府废弃矿山生态修复决策的依据。

关键词

废弃矿山生态修复, 皖江城市带, 效益评价, 补偿标准, 生态系统服务价值

Research on the Evaluation of Ecological Restoration Benefits and Compensation Standards on Abandoned Mines in the Urban Belt of Wanjiang River Based on the Value of Ecosystem Services

Hongjun Dai

School of Economics and Management, Huainan Normal University, Huainan Anhui

Received: Nov. 19th, 2024; accepted: Dec. 17th, 2024; published: Dec. 27th, 2024

文章引用: 戴红军. 基于生态系统服务价值的皖江城市带废弃矿山生态修复效益评价及补偿标准研究[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(6): 1339-1347. DOI: 10.12677/aep.2024.146168

Abstract

There are large areas of abandoned mines in the urban belt of Wanjiang River, which not only affects the local ecological environment seriously, but also causes serious harm to the physical and mental health of residents. The difficulty in ecological restoration of abandoned mines lies in the huge amount of funds required. This article is based on the unit price system for evaluating the value of ecosystem services in China established by experts such as Xie Gaodi. We adjust the equivalent value table of ecosystem services from two dimensions: socio-economic development status and resource scarcity. Thus, we calculate the ecological restoration benefits of abandoned mines in the urban belt of Wanjiang River and determine compensation standards. The research results indicate that 1839.06 hectares of abandoned mines in the urban belt of Wanjiang River will be restored, with an ecological restoration benefit of 307.4 million yuan and a compensation amount of 217.2 million yuan between 2021 and 2022. This method is based on a complete theoretical foundation, and the evaluation results are relatively scientific and objective, which can serve as a basis for local government decisions on the restoration of abandoned mines.

Keywords

Ecological Restoration of Abandoned Mines, Urban Belt of Wanjiang River, Benefit Evaluation, Compensation Standards, Value of Ecosystem Services

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

皖江城市带存在着大面积的废弃矿山，这些废弃矿山除了环境污染问题以外，生态也受到严重的破坏，影响着当地居民的身心健康。随着资源的枯竭和人口城市化进程的加快，马鞍山、铜陵、宣城等城市都对废弃矿山进行了生态修复，生态环境质量显著提高。根据安徽省国土空间生态修复规划(2021~2035年)的安排，要大力推进美丽长江(安徽)经济带建设，重点修复治理池州市、安庆市、铜陵市、芜湖市、宣城市等地废弃矿山，恢复矿山植被。据统计，皖江城市带仅在 2021~2022 年，就投入资金 63334.85 万元，修复废弃矿山面积 1839.06 公顷。

在废弃矿山生态修复项目投资决策中，需要对项目效益进行评价，确定补偿标准，在此基础上进行市场化补偿。只有这样，才能吸引社会资本共同参与废弃矿山的生态修复。因此，怎样科学评价废弃矿山生态修复效益和确定补偿标准就是关键问题。很多学者对相关问题进行了研究，取得了丰硕的成果。以李甫等(2023)为代表主要侧重于探讨建立矿山生态修复评价指标体系，并论证各项指标的科学性和可行性，为下一步矿山生态修复效益的定量评价打下基础[1]。李芬等(2018)、秦静等(2022)、杨丛铭等(2022)、刘雅婷等(2023)分别采用投入成本法、生态系统服务价值评估法、模拟试验和影子工程法对矿山生态修复的效益进行了评价[2]-[5]。胡钰琳等(2022)以内蒙古鄂尔多斯满来梁矿为例，重点探讨了生态补偿的主体以及承担的责任，并提出中央政府应给与政策指导和激励，地方政府督促和监督[6]。荣冬梅等(2023)、樊笑英等(2024)都提出应采取市场化生态补偿措施，吸引社会资本参与矿山生态修复，政府部门应建立生态补偿市场化机制，保障和推动矿山生态修复市场化补偿的开展[7][8]。本文在借鉴前人研究的基础上，以谢高地等众多专家确立的中国生态系统服务价值评估单价体系为基础，基于空间异质性视角，从社会经济发展状况和资源稀缺

程度两个方面对谢高地等在 2015 年确立的生态系统服务价值当量表进行了调整,并根据调整后的当量表测算皖江城市带废弃矿山生态修复效益,在此基础上确定补偿标准[9] [10]。这种方法基于谢高地等众多专家确立的中国生态系统价值评估单价体系,又考虑到了社会经济发展状况、资源稀缺程度的差异,评估结果相对科学、客观。该方法能够为职能部门准确评价废弃矿山生态修复效益、制定补偿标准提供科学的依据,有利于吸引社会资本参与废弃矿山生态修复,有利于区域生态环境质量的提高。这对于我国其他区域废弃矿山生态修复以及生态补偿标准的制定都具有较高的参考价值和指导意义。

2. 研究区概况与数据来源

(一) 研究区概况

皖江城市带包括合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、池州、滁州、宣城 8 市全境,以及六安市的金安区和舒城县,是实施促进中部地区崛起战略的重点开发区域,在安徽省的经济发展中具有重要的战略地位。安徽省是矿业大省,亟待修复的废弃矿山面积巨大。据统计,截至 2019 年底,全省剩余废弃矿山 1406 个,需治理面积达到 1.6 万公顷,其中大部分位于皖江城市带[11]。

(二) 数据来源

本文的研究数据来源于《中国统计年鉴》《安徽统计年鉴》和安徽省自然资源厅关于废弃矿山生态修复的相关文件。

3. 研究设计

目前,生态系统服务价值的核算方法有两种,一类是基于单位服务功能价格的方法,主要以生态系统服务功能量、功能量的单位价格为基础,计算出生态系统服务价值。该方法需要构建单一服务功能和局部生态环境变量之间的关系。参数变量较多,计算过程较为复杂[12] [13];另一类是基于单位面积价值当量因子的方法,该方法先把生态系统服务功能分类,然后根据一套大家认可的并能够量化的标准,将每一类生态系统服务功能的价值进行标准化,即当量因子,再根据每一类生态系统的面积,得出生态服务价值[14] [15]。当量因子法相对简单易用,对数据的要求少,非常适用于面积较大区域和全球尺度的核算[16] [17]。因此,本文选用调整当量因子法来评估废弃矿山生态修复治理带来的生态效益。

(一) 生态系统服务价值当量体系的构建

谢高地等(2015)根据中国具体的情况,对单位面积价值当量因子评估方法进行了改进和发展,得到了国内很多学者的认同,中国知网引用频次已经超过 2800 次[9]。该方法根据土地覆盖情况把生态系统分为 6 大类 14 小类,生态系统服务功能分为 4 大类 11 小类,制定了每一类生态系统服务的价值当量因子,并确定了每一类价值当量因子的价值,然后根据每一类生态系统服务的面积,得出了全年生态系统服务的价值。具体计算公式如下:

$$ESV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A P_{ij} \quad (1)$$

其中: ESV 为区域生态系统服务总价值(元); A 为第 i 类土地利用类型面积(hm^2); P 为第 i 类生态系统的第 j 类生态系统服务价值系数(元/ hm^2); i 为生态系统类型个数; j 为生态系统服务个数。

在不同区域,土地资源的生态系统服务功能也会存在着区别,因此,本文基于空间异质性的视角,根据安徽省社会经济发展情况和资源稀缺程度对其进行修正,并增加其未提及的土地类型,如工矿建设用地,来评估废弃矿山修复效益,进而确定其补偿标准。

(二) 生态系统服务价值调整当量的确定

(1) 社会经济发展系数

人们对于生态系统服务功能提高的支付意愿水平与社会经济发展阶段紧密相关。为了能够更准确地反映社会经济发展阶段对生态价值的影响,李金昌(2002) [18]提出了社会发展阶段系数,具体公式如下:

$$I = \frac{1}{1 + e^{(3-E_n^{-1})}} \tag{2}$$

其中: I 为社会阶段发展系数; e 为自然对数底数; E_n 为恩格尔系数。

(2) 资源稀缺系数

资源稀缺系数是反映区域间资源的供需差异。一般而言,生态资源越少,人们的需求就迫切,支付意愿就越高,这样,单位生态系统服务功能的价值就越大。生态资源的稀缺是对人口而言的,胡喜生等(2013) [19]认为资源稀缺系数可以由人口密度指标来表示。人口密度相差太大,会影响生态服务价值评估的结果。因此,对该指标取对数,计算公式如下:

$$S = \frac{\log\left(\frac{e}{p}\right)}{\log\left(\frac{E}{P}\right)} \tag{3}$$

式中: S 为研究区资源稀缺系数; p 和 P 分别为研究区和全国的人口数; e 和 E 分别为研究区和全国的面积。

(3) 调整生态系统服务价值当量

社会经济发展系数和资源稀缺系数确定以后,就得到调整生态系统服务价值当量。

$$P = P_0 \times I \times S \tag{4}$$

式中: P 为调整后的生态系统服务价值当量; P_0 为调整前的生态系统服务价值当量; I 是社会经济发展系数; S 是资源稀缺系数。

(三) 生态系统服务价值量的计算

根据公式(2)、公式(5),生态系统服务价值量就等于生态系统服务价值调整当量、土地面积相乘的结果,具体公式如下:

$$ESV = A \times P \tag{5}$$

式中: ESV 为生态系统服务价值量; A 为生态服务区面积; P 为调整当量因子。

(四) 废弃矿山生态修复效益的计算

根据公式(6),废弃矿山生态修复效益等于修复前后的生态系统服务价值量之差,具体公式如下:

$$V = ESV' - ESV^0 \tag{6}$$

式中: ESV' 为废弃矿山修复后的生态系统服务价值量; ESV^0 为废弃矿山修复前的生态系统服务价值量。

(五) 废弃矿山生态修复补偿标准的确定

参照吴中全(2021)的研究成果,生态服务系统中,供给服务功能形成的价值已经通过市场货币化了,已经得到补偿了[20]。而调解服务、支持服务和文化服务三项功能,还没有市场化,需要补偿。由于,气体调节和生物多样性的受益范围是全球,因此,无法界定补偿的主体。因此,本文把气候调节等六项功能的价值纳入补偿标准(表 1)。

Table 1. Ecosystem functions and benefit scope in Anhui Province
表 1. 安徽省生态系统功能及受益范围

一级类型	二级类型	是否市场化	区域受益	全球受益	是否纳入补偿范围
供给服务	食物生产	√	√		

续表

调节服务	原材料生产	✓	✓		
	水资源供给	✓	✓		
	气体调节			✓	
	气候调节		✓		✓
	水文调节		✓		✓
	净化环境		✓		✓
	土壤保持		✓		✓
支持服务	维持养分循环		✓		✓
	生物多样性			✓	
文化服务	美学景观		✓		✓

4. 实证结果分析

(一) 皖江城市带废弃矿山生态修复情况

根据安徽省自然资源厅发布的通知，在“十四五”前两年，即 2021~2022 年，皖江城市带(包括代管的县和市)共完成修复项目 297 个，实际完成修复废弃矿山 1839.06 公顷，实际投入的资金约 63334.85 万元(表 2)。

Table 2. Summary of ecological restoration of abandoned mines in the Wanjiang urban belt in 2021~2022

表 2. 2021~2022 年皖江城市带废弃矿山生态修复情况汇总表

行政区	完成项目数	修复面积(公顷)	投入资金(万元)
合肥市	55	476.34	14264.13
滁州市	31	388.69	30994.52
六安市	35	217.80	3527.28
马鞍山市	8	128.78	6453.39
芜湖市	32	125.50	695.07
宣城市	95	335.23	3448.63
铜陵市	4	29.78	1164.71
池州市	12	100.43	2215.81
安庆市	25	36.52	571.31
合计	297	1839.06	63334.85

(二) 皖江城市带废弃矿山生态修复效益

1、生态服务价值当量的动态调整

① 社会发展阶段系数

根据式(2)，以及 2021~2022 年安徽省和全国的恩格尔系数，计算出 2021~2022 年安徽省和全国的社会发展阶段系数，进行比较，从而得到社会发展调整系数(表 3)。

Table 3. Social development adjustment coefficient

表 3. 社会发展调整系数

指标	地区	2021 年	2022 年	平均值
恩格尔系数	安徽	0.326	0.341	
社会阶段发展系数	安徽	0.517	0.483	
恩格尔系数	全国	0.298	0.305	
社会阶段发展系数	全国	0.588	0.569	
社会发展调整系数		0.879	0.849	0.864

注：数据来源于《中国统计年鉴》和《安徽省统计年鉴》。

② 资源稀缺调整系数

根据式(3), 以及 2021~2022 年安徽省和全国的面积和人口数, 计算出人口密度, 进行比较, 从而得到资源稀缺调整系数(表 4)。

Table 4. Resource scarcity adjustment coefficients
表 4. 资源稀缺调整系数

指标	地区	2021 年	2022 年	平均值
人口密度(人/平方公里)	安徽	436	437	
人口密度(人/平方公里)	全国	147	147	
资源稀缺调整系数		1.218	1.218	1.218

注: 数据来源于《中国统计年鉴》和《安徽省统计年鉴》。

③ 生态系统服务价值调整系数

由社会发展阶段系数和资源稀缺调整系数, 得到生态系统服务价值调整系数(表 5)。

Table 5. Ecosystem service value equivalent adjustment coefficients
表 5. 生态系统服务价值当量调整系数

指标	2021 年	2022 年	平均值
社会发展调整系数	0.879	0.849	0.864
资源稀缺调整系数	1.218	1.218	1.218
生态系统服务价值调整系数	1.07	1.03	1.05

2、生态服务价值当量的嵌套调整

在谢高地等(2015)的研究成果中, 未提及工矿建设用地等用地类型的生态系统服务价值。张晶(2008)、朱愈(2010)、邓舒洪(2012)认为工矿建设用地在水分供应、调节大气、废物处理等方面对生态系统存在负面影响[21]-[23]。因此, 本文参照他们的研究成果确定研究区工矿建设用地的生态服务价值当量。其他用地则按照裸地的标准。

3、安徽省生态系统单位面积生态服务价值当量

根据安徽省土地植被的特点, 林地以阔叶林的生态服务当量值为准, 草地则以灌草丛的生态服务当量值为准[24]。2021 年~2022 年, 安徽省的粮食产量平均为 6017 kg/hm², 粮食平均价格为 2.72 元/kg, 得到安徽省 1 个单位当量因子的经济价值量为 2338.03 元/hm²。以此为基础, 根据安徽省土地利用类型的现状, 参照谢高地等(2015)提出的生态系统服务价值当量, 并用生态系统服务价值调整系数进行调整, 以及上文提到的工矿建设用地的情况, 经过整理, 得到了安徽省各土地利用类型的单位面积生态系统服务价值系数(表 6)。

Table 6. Ecological service value coefficient per unit area of Anhui ecosystem (unit: Yuan/hm²/year)
表 6. 安徽省生态系统单位面积生态服务价值系数(单位: 元/hm²/年)

一级类型	二级类型	水田	旱地	林地	草地	水域	湿地	建设用地	其他用地
供给服务	食物生产	3338.23	2086.39	711.83	932.74	1963.67	1251.84	24.54	0.00
	原材料生产	220.91	981.83	1620.03	1374.56	564.55	1227.30	0.00	0.00
	水资源供给	-6455.55	49.09	834.55	760.92	20348.48	6357.37	-18433.91	0.00
调节服务	气体调节	2724.59	1644.57	5326.45	4835.53	1890.03	4663.71	-5940.09	49.09
	气候调节	1399.12	883.65	15954.79	12788.37	5620.99	8836.50	0.00	0.00

续表

	水文调节	6676.46	662.73	11634.71	9376.50	250956.47	59474.52	0.00	73.63
	净化环境	417.28	245.47	4737.35	4221.87	13622.93	8836.50	-6038.28	245.47
	土壤保持	24.54	2528.21	6504.64	5891.00	2282.76	5670.09	49.09	49.09
支持服务	维持养分循环	466.38	294.54	490.92	441.82	171.82	441.82	0.00	0.00
	生物多样性	515.46	319.10	5915.54	5350.99	6259.19	19317.56	834.55	49.09
文化服务	美学景观	220.91	147.28	2601.86	2356.40	4639.16	11610.18	24.54	24.54
	合计	9548.32	9842.87	56332.66	48330.72	308320.04	127687.36	-29479.52	490.92

4、皖江城市带废弃矿山生态修复效益

宋阳等(2021)调研发现，安徽省废弃矿山修复模式主要以草地、林地和水域为主[11]。因此，本文取以上三种土地生态服务价值的平均值(137661.14 元/hm²/年)作为依据，计算废弃矿山修复后的生态服务价值。

Table 7. Ecological restoration benefits of abandoned mines in the Wanjiang urban belt in 2021~2022

表 7. 2021~2022 年皖江城市带废弃矿山生态修复效益

行政区	修复面积 (hm ²)	修复前生态服务价值 (亿元)	修复后生态服务价值(亿元)	修复效益 (亿元)	投入资金 (亿元)
合肥市	476.34	-0.140	0.656	0.796	1.426
滁州市	388.69	-0.115	0.535	0.650	3.099
六安市	217.80	-0.064	0.300	0.364	0.353
马鞍山市	128.78	-0.038	0.177	0.215	0.645
芜湖市	125.50	-0.037	0.173	0.210	0.070
宣城市	335.23	-0.099	0.461	0.560	0.345
铜陵市	29.78	-0.009	0.041	0.050	0.116
池州市	100.43	-0.030	0.138	0.168	0.222
安庆市	36.52	-0.011	0.050	0.061	0.057
合计	1839.06	-0.542	2.532	3.074	6.333

由表 7 可以看出，在 2021~2022 年间，皖江城市带废弃矿山生态修复效益达到 3.074 亿元。其中，安徽省会合肥市的修复面积最大，修复效益最高，为 0.796 亿元。而铜陵市的修复面积最小，修复效益也最低，为 0.050 亿元。

(三) 皖江城市带废弃矿山生态修复补偿标准

在生态服务系统中，气候调节、水文调节等五项功能受益范围是本区域，而且没有通过市场货币化补偿，因此，本文把修复效益中这六项生态服务功能的价值作为补偿标准。本文取以上三种土地生态服务价值中气候调节、水文调节等六项功能生态服务价值的平均值，118098.12 元/hm²/年作为依据，计算废弃矿山修复后的价值。同样，废弃矿山修复前为工矿建设用地，其气候调节、水文调节等六项功能生态服务价值为-11904.74 元/hm²/年，作为依据，计算废弃矿山修复前的生态服务价值。

Table 8. Compensation standards for ecological restoration of abandoned mines in the Wanjiang urban belt in 2021~2022

表 8. 2021~2022 年皖江城市带废弃矿山生态修复补偿标准

行政区	修复面积(hm ²)	修复前生态服务价值(亿元)	修复后生态服务价值(亿元)	补偿标准(亿元)
合肥市	476.34	-0.057	0.563	0.619
滁州市	388.69	-0.046	0.459	0.505
六安市	217.80	-0.026	0.257	0.283

续表

马鞍山市	128.78	-0.015	0.152	0.167
芜湖市	125.50	-0.015	0.148	0.163
宣城市	335.23	-0.040	0.396	0.436
铜陵市	29.78	-0.004	0.035	0.039
池州市	100.43	-0.012	0.119	0.131
安庆市	36.52	-0.004	0.043	0.047
合计	1839.06	-0.219	2.172	2.391

由表 8 可以看出, 在 2021~2022 年间, 皖江城市带废弃矿山生态修复应该补偿金额为 2.172 亿元。其中, 安徽省会合肥市的修复面积最大, 补偿金额最高, 为 0.619 亿元。而铜陵市的修复面积最小, 补偿金额也最低, 为 0.035 亿元。

5. 结论

废弃矿山生态修复需要耗费大量的资金, 因此, 修复废弃矿山的关键问题是准确地评估修复效益, 并给与合理的补偿。本文考虑到研究区域的特点, 从社会发展阶段和资源稀缺度两个方面, 对谢高地等(2015)众多专家制定的中国生态系统服务价值当量进行调整, 确定安徽省生态系统服务价值系数。以此为基础, 对皖江城市带在 2021 至 2022 年间修复的废弃矿山进行评价, 从而确定其补偿标准。实证结果显示, 皖江城市带在 2021 至 2022 年间修复废弃矿山 1839.06 公顷, 废弃矿山生态修复效益为 3.074 亿元, 应该补偿的金额为 2.172 亿元。由此显示, 将生态服务功能价值货币化, 可以直观地让人们认识到其蕴涵的巨大的经济利益, 对实现区域的可持续发展方面有着重要意义。同时也能够完善生态效益补偿制度, 调动相关企业参与废弃矿山生态修复的积极性。本文是基于国内众多专家确立的生态系统价值评估单价体系, 又考虑到社会经济发展状况、资源稀缺程度等因素, 从空间异质性的视角对以往文献中的方法进行了完善, 评估结果相对科学、客观。在此基础上制定补偿标准, 能够进一步完善矿产资源开发生态补偿制度, 吸引社会资本参与废弃矿山的生态修复。

基金项目

安徽省哲学社会科学规划项目研究成果, 项目批准号: AHSKY2019D097。

参考文献

[1] 李甫, 刘俊建, 葛建平, 李剑南. 典型水源涵养区废弃矿山生态修复效益评价指标体系研究[J]. 中国矿业, 2023, 32(5): 44-52.

[2] 李芬, 李妍菁, 赖玉珮. 城市矿山修复生态效益评估研究[J]. 环境保护, 2018, 46(2): 55-58.

[3] 秦静, 李国清, 侯杰, 王佳斌, 熊超, 赵威. 矿山生态效益评估模型及其应用[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(11): 208-214.

[4] 杨丛铭, 袁颖, 侯明华, 刘波. 张家口尚义县废弃矿山修复生态效益评估研究[J]. 河北地质大学学报, 2022, 45(6): 116-121.

[5] 刘雅婷, 陈晓雪, 李博林, 李凤, 费梦琳, 李婷, 杨继清. 岩石边坡植被修复生态效益评估研究——以香格里拉普朗铜矿为例[J]. 江西农业学报, 2023, 35(11): 142-149.

[6] 胡钰琳, 张绍良, 梁洁, 毛雪阳, 侯湖平. 矿产资源开发生态补偿研究——以内蒙古自治区满来梁矿为例[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(2): 183-188.

[7] 荣冬梅, 冯聪. 矿山生态修复中生态产品价值实现机制探析[J]. 中国国土资源经济, 2023, 36(2): 65-71.

[8] 樊笑英, 姜杉钰, 杜雪明. 我国矿山生态保护与修复政策体系研究[J]. 上海国土资源, 2024, 45(2): 205-209, 215.

[9] 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.
- [10] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
 - [11] 宋阳, 潘国林. 安徽省废弃矿山生态修复对策研究[J]. 安徽地质, 2021, 31(4): 358-360.
 - [12] Yu, Z.Y. and Bi, H. (2011) Status Quo of Research on Ecosystem Services Value in China and Suggestions to Future Research. *Energy Procedia*, 5, 1044-1048. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.184>
 - [13] Sun, J. (2011) Research Advances and Trends in Ecosystem Services and Evaluation in China. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 1791-1796. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.280>
 - [14] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., *et al.* (1997) The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
 - [15] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资源的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
 - [16] Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., *et al.* (2014) Changes in the Global Value of Ecosystem Services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
 - [17] Wang, W., Guo, H., Chuai, X., Dai, C., Lai, L. and Zhang, M. (2014) The Impact of Land Use Change on the Temporospatial Variations of Ecosystems Services Value in China and an Optimized Land Use Solution. *Environmental Science & Policy*, 44, 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.07.004>
 - [18] 李金昌. 价值核算是环境核算的关键[J]. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(3): 13-19.
 - [19] 胡喜生, 洪伟, 吴承祯. 土地生态系统服务功能价值动态估算模型的改进与应用——以福州市为例[J]. 资源科学, 2013, 35(1): 30-41.
 - [20] 吴中全. 生态红线区生态补偿机制研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2021.
 - [21] 张晶. 基于生态系统服务价值的土地利用结构优化研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2008.
 - [22] 朱懋. 基于生态系统服务价值的德化县土地利用结构优化研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建师范大学, 2010.
 - [23] 邓舒洪. 区域土地利用变化与生态系统服务价值动态变化研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2012.
 - [24] 胡赛. 基于土地利用变化的生态系统服务价值及生态补偿标准研究[D]: [博士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.