

生态系统服务价值核算方法比较研究[※]

张 杰，周业晶，袁玉乔，周敬宣

生态系统服务价值 (Ecosystem Service Value, ESV) 核算是生态产品价值实现的基础性工作。但目前其核算方法缺乏统一标准, 采用不同核算方法的测算结果存在差异, 因此有必要进行核算方法的比较研究。

国际上对于生态系统服务价值研究较早, 1997 年 Costanza 等^[1] 评估了全球 17 种生态系统服务的经济价值。2001 年, 联合国千年生态系统评估 (UN Millennium Ecosystem Assessment, MA) 的理论成果是将生态系统服务分为供给、调节、支持、文化四大服务, 推动了 ESV 评估的发展。我国学者欧阳志云等^[2] 最先采用市场化的方法对 ESV 展开评估。谢高地等^[3] 基于以上研究成果, 创建了具有中国特色的生态系统服务价值评估方法, 并应用于青藏高原 ESV 核算^[4]。2015 年谢高地把当前 ESV 评估方法划分为两种, 一种是全国生态系统服务功能当量因子表法 (简称“当量因子法”), 另一种是按生态系统服务功能量及其单位价格来计算的评估方法 (简称“功能价值法”)^[5-6]。此后依托上述两种方法核算 ESV 逐渐成为主流^[7]。很多案例研究中采用这两种方法都会

对方法进行一定补充和适应性优化。如李英等^[8] 在对我国嫩江流域进行 ESV 评估时, 考虑水域对环境的重要影响及土壤流失问题, 对当量因子表进行了修正, 提高了水域水文调节价值, 而降低了土壤保持因子值。王莉雁等^[9] 对我国的重要生态屏障——阿尔山市进行 ESV 分析, 在调节服务功能中增添了病虫害控制功能以及防风固沙功能等。

近年鄂州市初步探索了区域间横向综合生态补偿办法, 其中基于当量因子法的生态价值核算是其中重要内容^[10-11]。但价值计算结果的准确性、科学性还尚存疑虑, 且目前的研究中采用两种方法对比研究不多见, 究竟哪种方法更优, 需要论证。

一、生态系统服务价值评估方法概述

本研究先从概念内涵、功能分类、计算方法三个方面分析“当量因子法”和“功能价值法”的适用情况。

(一) 当量因子法

当量因子法由我国学者谢高地提出, 该法针对我国生态系统服务特点, 基于专家经验,

※基金项目: 国家自然科学基金项目 (72204191); 湖北省教育厅哲学社会科学项目 (21Q103); 鄂州政府采购项目 (EZYG-ZFCG-2021-006); 武汉工程大学科学研究基金 (K202022)

通过多途径总结,将测算生态系统功能价值的计量过程系统化,汇成一张表(简称“原表”)[4],其计算过程简便。

从功能划分看,当量因子法和 MA 基本是一致的,包含供给服务、调节服务、支持服务、文化服务四种类型,并将这四类一级服务细分为多项二级服务。供给服务分为水资源供给、食物生产以及原料生产,调节服务分为水文调节、气候调节、气体调节、净化环境,支持服务分为生物多样性、维持养分循环和土壤保持,文化服务主要体现为美学景观。在具体应用时,需根据实际情况,相应地调整生态系统分类及其对应的生态服务[12-13]。

计算方法上,需确定待分析的生态系统服务功能因子、一个标准当量因子对应的经济价值和生态系统的土地面积,就可进行价值计算。①构建或调整合适的当量因子表是关键,可能需要考虑地区生态环境差异,及时对原表因子予以调整,确定因子值[14-15]。②一个标准当量因子价值可视为 1hm² 农田自然条件下粮食产量的全国平均经济价值[5],可根据《全国农产品成本收益资料汇编(1953—2022)》《中国农业统计资料(1949—2019)》《中国价格统计年鉴》等统计资料计算得到符合国情的基础当量价值。③采用官方地类调查数据或遥感资料得出各类型生态系统土地面积。

(二) 功能价值法

功能价值法是根据生态系统服务功能量和功能量的单位价格计算得到总价值的评价方法[16]。2020年9月《陆地生态系统生产总值

核算技术指南》(以下简称《技术指南》)发布,将功能价值法从理论探讨向标准化实操方向推进了一步。

功能分类上,功能价值法同样继承自 MA 的分类方法。《技术指南》中,供给服务、调节服务及文化服务都被细致划分,在具体应用过程中还需灵活调整。如刘胜涛等[17]对泰山森林生态系统 ESV 评估中,就没有防风固沙这一功能,但增设了林木营养物质积累功能。对于水生态系统价值评估时,可增设河流输沙价值、水力发电价值等[18]。

计算方法上,首先对各单项生态系统服务所能提供的功能量予以准确计算,然后物质量向价值量的转换可通过市场化方式解决,市场化方式又可分为直接市场法、间接市场法以及模拟市场法等[19-20]。其中物质产品以及文化服务市场化水平较高,一般易于计算。调节服务价值缺乏完善的交易市场,往往不能直接对 ESV 进行评估,需通过寻找接近的替代产品价格,间接对 ESV 计算。例如,水质净化价值可借助替代成本法予以核算,防风固沙功能需借助恢复成本法予以核算,洪水调蓄需依托影子工程法计算。计算完各单项服务功能价值,加总可得到该地区总 ESV。

二、价值评估法在实际案例中的应用

(一) 数据来源

各类型土地利用面积等数据来自鄂州市 2019 年第三次全国土地调查(简称“三调”);物质产品统计资料以及旅游收入等数据来源于《鄂州市统计年鉴》;水库造价、排

污成本等数据参照发改委、水利等部门发布的工程预算，以及全国第八次森林生态系统服务评价结果；其他社会公共数据均采用我国权威机构公布的社会公共数据。

(二) 当量因子法在实际中的应用

1. 当量因子表的修正

由前述可知，建立符合研究区生态环境特征的当量因子表是关键^[21]。2015 版原表反映全国范围的平均水平，鉴于不同地区的生态系统具有差异性，所以对鄂州市 ESV 的研究中需对当量因子表予以修正。在此方法对比研究中，沿用原表中的各因子值，仅对生态系统与当地地类关系进行调整，得到表 1。

具体调整包括：1) 依据鄂州市的常见植

被类型以及气候条件，把所有林地统一归为常绿阔叶林；2) 据“三调”数据显示，土地利用类型包括园地，但在当量因子表中没有园地，将其因子参数取“阔叶”和“水田”的 1/2 进行处理^[10,22]；3) 具体对应关系为：①水田除了对应“耕地”中的水田外，还包括水浇地；②旱地保持不变；③阔叶林对应所有的林业用地；④园地与“种植园地”对应；⑤灌草丛与“草地”对应，主要是一般草地，无天然或人工牧草等；⑥湿地对应“湿地”，主要指滩涂、沼泽地等；⑦水域对应“水域与水利设施用地”，具体涵盖了水库、湖泊、沟渠、河流等；⑧未利用地对应荒漠；⑨城镇交通等用地对应裸地^[11]。

表 1 鄂州市单位面积生态系统服务价值当量

Table 1 Ecosystem service equivalent value per unit area in Ezhou city

生态系统分类	供给服务			调节服务			支持服务			文化服务		总计
	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	
旱地	0.85	0.40	0.02	0.67	0.36	0.10	0.27	1.03	0.12	0.13	0.06	4.01
水田	1.36	0.09	-2.63	1.11	0.57	0.17	2.72	0.01	0.19	0.21	0.09	3.89
阔叶林地	0.29	0.66	0.34	2.17	6.50	1.93	4.74	2.65	0.20	2.41	1.06	22.95
灌草丛	0.38	0.56	0.31	1.97	5.21	1.72	3.82	2.40	0.18	2.18	0.96	19.69
湿地	0.51	0.50	2.59	1.90	3.60	3.60	24.23	2.31	0.18	7.87	4.73	52.02
园地	0.83	0.38	-1.15	1.64	3.54	1.05	3.73	1.33	0.20	1.31	0.58	13.42
未利用地	0.01	0.03	0.02	0.11	0.10	0.31	0.21	0.13	0.01	0.12	0.05	1.10
城镇交通	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.10	0.03	0.02	0.00	0.02	0.01	0.20
水系	0.80	0.23	8.29	0.77	2.29	5.55	102.24	0.93	0.07	2.55	1.89	125.61

2. 一个标准当量因子的经济价值调整

在原表中，任意一个当量因子值代表的经济价值是 3406 元/公顷（对应 2010 年的价值），在 2011 年至 2019 年，我国居民消费价格呈现逐年上升的趋势，依托计算得出 2019 年

一个标准当量因子代表的经济价值是 4316 元/公顷。

3. 生态服务价值计算

根据表 1 中各当量因子值、2019 年标准当量因子值、“三调”统计出的各类型土地利

用面积，三者相乘，测算出 2019 年鄂州市生态系统所能提供的 ESV 总计 330 亿元。具体结果见表 2。

表 2 2019 年鄂州市生态服务价值

Table 2 Ecological service value of Ezhou city in 2019

	用地面积/ 公顷	该用地类型 总当量因子	生态系统服务 价值/亿元
旱地	9391.90	4.01	1.63
水田	37713.74	3.89	6.33
阔叶林地	24203.34	22.95	23.97
灌草丛	802.06	19.69	0.68
湿地	702.83	52.02	1.58
园地	901.44	13.42	0.52
未利用地	1196.58	1.10	0.06
城镇交通	7494.06	0.20	0.06
水系	54535.77	125.61	295.66
总计	136941.72	242.89	330.49

(三) 功能价值法在实际中的应用

依托市场化的评估方法，将参数代入计算公式可求出各单项服务功能。将计算结果汇总得到表 3，求和得 2019 年鄂州市生态系统生产总值 (GEP) 共为 286 亿元。

表 3 鄂州市市生态系统生产总值

Table 3 Total value of ecosystem production in

Ezhou City

功能类别	服务功能	评估方法	结果/亿元
供给服务	产品提供	市场价值法	108.24
	水资源供给		
调节服务	水源涵养	替代成本法	22.82
	洪水调蓄	影子工程法	17.64
	空气净化	替代成本法	0.11
	水质净化	替代成本法	1.81

续表

功能类别	服务功能	评估方法	结果/亿元
	固碳释氧	替代成本法	1.44
	气候调节	替代成本法	67.24
	维持养分循环	机会成本法	0.44
	土壤保持	替代成本法	4.97
文化服务	休闲旅游	旅行费用法	61.09

三、结果分析

(一) 计算结果

1) 当量因子法：根据表 2，计算出 2019 年鄂州市 ESV 约为 330 亿元。在各类型生态系统中，水系提供的 ESV 最高，为 296 亿元，占总价值的 89.46%；阔叶林地次之，占比 7.25%；水田占地面积大，但当量因子不高，仅占 1.92%；灌草丛面积和园地面积小，能够给予的服务价值量有限，二者共占 0.37%。

2) 功能价值法：根据表 3，2019 年鄂州市 GEP 约为 286 亿元。在三大服务中，调节服务的价值量最高，占总价值的 40.75%。水源涵养和气候调节服务的价值量分别为 22.82 亿元和 67.24 亿元，分别占总价值的 7.98% 和 23.53%；空气净化功能以及水质净化功能价值量最低，共占 0.67%。产品提供服务为 108.24 亿元，占比 37.87%；文化功能占比 21.38%；该研究中未对支持服务进行研究。

根据图 1、图 2 可知：功能价值法中各服务比重为调节服务>供给服务>文化服务；当量因子法中，调节服务>供给服务>支持服务>文化服务。在各单项服务中，计算方式不同，文化服务价值、调节服务价值以及供给服务价值会表现出显著差异 (表 4)。

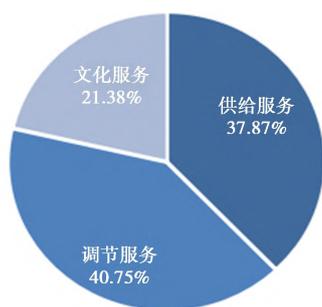


图 1 功能价值法各服务功能价值量比

Fig. 2 Value ratio of each service function using equivalent factor method

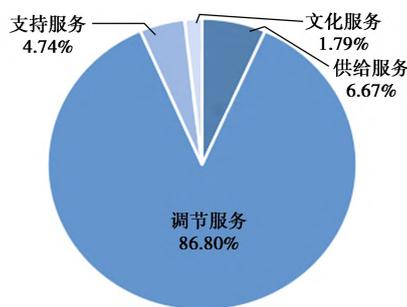


图 2 当量因子法各服务功能的价值量比

Fig. 2 Value ratio of each service function using equivalent factor method

表 4 鄂州市两种价值测算方法结果对比

Table 4 Comparison of results of two value measurement methods in Ezhou city

功能价值法			
	功能	价值/亿元	占比/%
供给服务	产品提供	108.24	37.87
调节服务	水源涵养	22.82	7.98
	洪水调蓄	17.64	6.17
	空气净化	0.11	0.04
	水质净化	1.81	0.63
	固碳释氧	1.44	0.50
	气候调节	67.24	23.53
	土壤保持	4.97	1.74
	维持养分循环	0.44	0.15
	合计	116.47	40.75
文化功能	休闲旅游	61.09	21.38
当量因子法			
	功能	价值/亿元	占比/%
供给服务	食物生产	4.81	1.46
	原料生产	1.59	0.48
	水资源供给	15.64	4.73
	合计	22.04	6.67
调节服务	气体调节	6.36	1.92
	气候调节	13.69	4.14
	净化环境	15.65	4.74
	水文调节	251.17	76.00
	合计	286.87	86.80
支持服务	土壤保持	5.61	1.70
	维持养分循环	0.75	0.23
	生物多样性	9.29	2.81
	合计	15.65	4.74
文化功能	美学景观	5.93	1.79

(二) 结果差异分析

根据表 4 的计算结果可知：采用当量因子法比功能价值法的计算结果价值合计高出 44 亿元，两种方法计算出的各单项 ESV 差异较大。

1. 供给服务。功能价值法的计算结果是当量因子法的 5 倍。其中，食物生产功能差别最大，是当量因子法的 20 倍。当量因子法核算结果除了受土地利用面积的影响外，当量因子表中各因子值的高低也是重要因素。原表中，各土地利用类型的食物生产、原料生产、水资源供给三者因子值均较低，只体现资源天然价值，使最终结果不高；而采用功能价值法计算供给服务价值时，在天然价值基础上，包含了人类劳动，通过市场价值法进行核算，市场总是以价值最大化为导向，因此总的供给服务价值较高。

2. 调节服务。不管采用何种方法，调节服务都是在 ESV 核算中价值量比重最大，计算最复杂的一类。根据表 4 结果显示，当量因子法计算得到的 ESV 是功能价值法的 2.46 倍。在调节服务的二级功能领域，水文调节的

价值量最高，不仅因为水系的水文调节因子值分值高，更是由研究对象特殊的水文条件决定。鄂州市境内湖泊众多，水域面积较大，梁子湖也是湖北省内第一大湖泊，使得其调节服务价值占到了总价值的86.8%。功能价值法水调蓄价值结果明显少于当量因子法，但在净化环境，气候调节等价值量明显高于当量因子法。功能价值法中气候调节所对应的价值量是当量因子法的4.9倍。功能价值法把水源涵养归为调节服务中，当量因子法没有在调节服务中设置“水源涵养”而设置了“水资源供给”，如水田、园地都会消耗水资源，价值为负值，充分说明了当量因子法重视的是生态原本价值，而非商品价值。

3. 支持服务。在当量因子法中，土壤保持和维持养分循环属于支持服务，功能价值法则未设置支持服务，但在功能价值法范畴，却将此两项内容划分为调节服务。在这两项服务最终结果比较中，当量因子法也都高于功能价值法，原因在于当量因子法中所有生态系统类型均提供这两种服务，而功能价值法则相对单一。当量因子法对支持服务研究较全面，除以上功能外，还对保持生物多样性功能进行了计算，其中因子值比较高的为水域、湿地，也间接体现了水域湿地在保持生物多样性上起的重要作用；功能价值法对该项服务的计算较为困难。

4. 文化服务。功能价值法计算出的文化服务价值是当量因子法的10.3倍。当量因子表中，美学景观的因子值在四大服务中占比最低，计算结果仅占总价值的1.79%。再次说明

了当量因子法更注重生态资源基本价值，未包含自然景观吸引游客观光带来的市场经济价值。功能价值法从市场化角度出发，综合考虑鄂州众多名胜古迹对旅游人群的吸引，评价角度更全面，文化服务计算结果也更高。

（三）对比分析讨论

综合以上计算步骤以及结果分析，现可从如下三个方面进行对比展开：

1. 计算复杂程度

在对鄂州市生态功能价值进行核算时，功能价值法和当量因子法在计算过程复杂度以及难易程度上有明显差距。当量因子法在实际应用中对数据量要求较少、操作比较简单，相对于功能价值法而言更为直观易用，通过当量因子表可快速加总得到生态总值，有益于非专业政府人员和普通民众的理解和推广^[23]。功能价值法因其服务功能种类繁多，每种服务功能都对应一种或多种功能价值核算模型，每个模型又包含多种参数，致使计算量大，数据获取难度较高，计算过程复杂（表5）。

2. 结果可信度

当量因子法与功能价值法都是通过“化整为零”的思维，从各分项计算，得到总价值，在最终结果的可信度上有所差别。当量因子法的因子系数反映了全国总体平均水平的生态价值。中国地域广阔，环境空间差异性决定了当量因子法在计算不同区域生态功能价值时，会存在误差^[13]；并且因子取值通过专家打分方式确定^[3]，具有主观和模糊性，因此运用到各地时要因地制宜、酌情修正，以提高可信度和科学性。比如采用当量因子法计算

表 5 当量因子法与功能价值法计算复杂度比较

Table 5 Comparison of computational complexity between equivalent factor method and functional value method

	当量因子法	功能价值法
所需数据	一个标准当量因子的价值量、生态系统单位面积生态服务价值当量因子表、各土地利用类型面积	农林牧渔总产值、核算区内总的水源涵养量、水资源交易市场价格、水库库容造价、土壤保持量、水库清淤工程费用、环境工程降解成本、湖泊可调蓄水量、某种大气污染物的净化量及其治理成本、生态系统固碳总量与氧气释放量、生态系统蒸腾与水面蒸发消耗能量以及当地旅游费用等
优/缺点	数据量需求少，计算简单，易于调整，便于理解和推广	模型参数众多、数据量大且部分数据获取难度大

鄂州市调节服务价值时，其中水文调节价值较高，而美学景观价值偏低，可对相应服务功能的因子值做出调整。

功能价值法是将具有一定整体性的生态系统服务功能分解成相对独立的服务功能，按公式核算各生态系统的功能量，借助直接市场法或间接市场法确定功能单价，来计算生态系统价值^[24]。它可以针对研究地区生态环境某一要素或功能，逐一计算，且较为市场化的计算方式，被接受度更好（表 6）。但既然是将总服务功能拆分成单一服务功能来计算，那么拆分的细粒度必然会影响最终结果的可信度。例如气体调节价值可分为碳固定价值和氧气提供

价值，那么其他功能如净化粉尘、吸收其他有害气体等功能就都需要考虑。当功能概念的外延定义得过于具体，就容易片面，也可能会遗漏对某些服务功能价值的计算或误算。

表 6 当量因子法与功能价值法结果可信度比较

Table 6 Reliability comparison between equivalent factor method and functional value method

	当量因子法	功能价值法
特点	因子值反映全国平均水平，也可通过调整因子值核算特定区域生态价值，水文调节因子值大，可能导致最终计算结果被高估	服务类型多，适用于特定区域、特定功能的生态价值核算，各单项服务均采用市场化核算方法，数据真实
可信度	定价偏主观，可信程度较低	定价依据相对客观，可信程度较高

3. 适用尺度和范围

采用当量因子法核算过程中，属于全资源要素、全功能覆盖，无论是一个标准当量因子所具备的价值量，还是当量因子表内的多个因子值，反映的都是全国尺度范围内的平均水平。一般东南沿海地区所产生的生态服务价值要高于西北荒漠地区，自然保护区提供的价值也高于经济开发区。因此当量因子法更适合用于对较大区域生态系统的价值核算，忽略资源数量、生态质量的局部差异，可快速求出生态系统服务价值^[25]。如果对较小区域开展价值核算，如市、县、州、区，则最好进行生态系统类型调整和因子值修订后再核算价值。

功能价值法价值核算时，可具体问题具体分析，针对性强，但很难做到全自然要素、全生态功能覆盖，且使用参数多，数据获取难度

较大。如以上的维持生物多样性功能就因数据难以获取而难以计算其价值，国内外常有使用该方法进行研究过程中因数据缺失而忽略或粗略分析某项生态服务价值^[26-28]。

除此之外选择功能价值法加以核算时，生态系统类型和功能价值往往表现出“一对多”关系。如水域湿地可同时具备水源涵养、洪水调蓄、水质净化、气候调节等功能，如果使用此方法计算具备多种土地利用类型的区域会使任务量倍增。所以，具体核算某一自然要素或一两项功能，或针对较小尺度区域、参数易于获取、土地利用类型简单，使用此方法更为适合（表7）。

表7 当量因子法与功能价值法适用尺度比较

Table 7 Comparison of applicable scales between equivalent factor method and functional value method

	当量因子法	功能价值法
特点	采用地区平均值，可忽略空间异质性带来的局部差异；可快速加总得到生态系统服务价值，不需考虑单个生态系统	尺度越大，生态系统服务类别越多，研究过程中可能因数据缺失而忽略其中某项生态服务价值；生态系统类型与功能价值通常具备一对多的关系，尺度越大，工作量越大
适用尺度	中大尺度，但可以针对不同地区进行因子值调整	中小尺度，针对大范围地区时可以“化整为零”计算，但计算量大

(四) 结论

“当量因子法”和“功能价值法”是我国最常用的两种生态价值化方法，选取合适的评估方法对价值评估和决策具有重要意义。本研究分析了两者的特点和适用性，再以湖北省鄂

州市为例，对两种不同生态系统服务价值核算方法的相同与不同之处加以比较剖析，得出二者在计算复杂度、适用范围大小及结果可信度上的差异。比较结果表明：功能价值法具有测算针对性强的特点，其核算结果一般含有包含着人类劳动的生态产品价值，由于依据市场价值，定价较为客观，可信度较高，在面对中小尺度地区的价值评估，可优先选择功能价值法；但这种方法必须要借助大量的数据，核算过程相较更复杂。当量因子法直观性更强、易于操作、标准统一、需求数据少、推广性强，也可因地制宜调整计算，在规划决策、政策制定中具有较好的应用前景；当需对大中尺度范围的生态价值，特别是生态系统天然价值，做出总体、全面评估时，如在同一地域内或几个彼此邻近的区域之间做宏观生态价值分析，或实施区域间生态补偿工作，可优先采用当量因子法；但它定价基础依据专家打分，具有一定主观性，使其科学性受到一定质疑。总之，两种方法各有利弊，可根据具体研究对象选择使用，或联合使用，从中优化。

参考文献：

[1] 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.

[2] 欧阳志云, 王如松. 生态系统服务功能, 生态价值与可持续发展[J]. 世界科技研究与发展, 2000, 22(5): 45-50.

[3] 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(5): 911-919.

[4] 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.

[5] 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(8):1243-1254.
- [6] 赵同谦,欧阳志云,贾良清,等.中国草地生态系统服务功能间接价值评价[J].生态学报,2004,1(6):1101-1110.
<http://www.ecologica.cn/>.
- [7] 廖文婷,邓红兵,李若男,等.长江流域生态系统水文调节服务空间特征及影响因素:基于子流域尺度分析[J].生态学报,2018,38(2):412-420.
- [8] 李英,王治良,罗金明,等.基于当量因子法的嫩江流域生态系统服务价值再评估[J].高师理科学刊,2020,40(2):56-62.
- [9] 王莉雁,肖焱,欧阳志云,等.国家级重点生态功能区生态系统生产总值核算研究——以阿尔山市为例[J].中国人口·资源与环境,2017,27(3):146-154.
- [10] 周业晶,周敬宣,陶涛,等.区域间生态补偿标准量化研究——以鄂州市三区补偿为例[J].环境与可持续发展,2017,42(3):143-150.
- [11] Zhou Yejing, Zhou Jingxuan, Liu H L, et al. Study on eco-compensation standard for adjacent administrative districts based on maximum entropy production[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 221: 644-655.
- [12] OuYang Zhiyun, Jin Yu, Zhao Tongqian, et al. Ecosystem regulation function and its value assessment in Hainan Island[J]. Journal of Resources and Ecology, 2011, 02(2): 132-140.
- [13] 张舟,吴次芳,谭荣.生态系统服务价值在土地利用变化研究中的应用:瓶颈和展望[J].应用生态学报,2013,24(2):556-562.
- [14] 周小平,冯宇晴,罗维,等.两种生态系统服务价值评估方法比较研究——以四川省金堂县三星镇土地整治工程为例[J].生态学报,2020,40(5):1799-1809.
- [15] Shi Yao, Wang Rusong, Huang Jinlou, et al. An analysis of the spatial and temporal changes in Chinese terrestrial ecosystem service functions[J]. Science Bulletin, 2012, 57(17): 2120-2131.
- [16] 刘尧,张玉钧,贾倩.生态系统服务价值评估方法研究[J].环境保护,2017,45(6):64-68.
- [17] 刘胜涛,高鹏,刘潘伟,等.泰山森林生态系统服务功能及其价值评估[J].生态学报,2017,37(10):3302-3310.
- [18] 咎欣,张玉玲,贾晓宇,等.永定河上游流域水生态系统服务价值评估[J].自然资源学报,2020,35(6):1326-1337.
- [19] Kareiva P, Marvier M. Conserving biodiversity coldspots—Recent calls to direct conservation funding to the World's biodiversity hotspots may be bad investment advice[J]. American Scientist, 2003, 91(4): 220-224.
- [20] Robertson G P, Swinton S M. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture[J]. Frontiers in Ecology & the Environment, 2005, 3(1): 38-46.
- [21] 潘鹤思,李英,陈振环.森林生态系统服务价值评估方法研究综述及展望[J].干旱区资源与环境,2018,32(6):72-78.
- [22] 李晓赛,朱永明,赵丽,等.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[J].中国生态农业学报,2015,23(3):373-381.
- [23] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.
- [24] Kareiva P, Marvier M. Conserving biodiversity coldspots[J]. American Scientist, 2003, 91: 344-351.
- [25] 袁周炎妍,万荣荣.生态系统服务评估方法研究进展[J].生态科学,2019,38(5):210-219.
- [26] 郑加玉,张忠峰,程森,等.皖南烟区村域尺度土地整理的生态效益评价研究[J].中国烟草科学,2015,36(5):90-95.
- [27] Nikodinoska N, Paletto A, Pastorella F, et al. Assessing, valuing and mapping ecosystem services at city level: The case of Uppsala (Sweden). Ecological Modelling, 2018, 368: 411-424.
- [28] 杨健.基于生态系统服务价值分析的土地整理生态效益研究[D].北京:北京林业大学,2011.

作者:张杰,武汉工程大学土木工程与建筑学院硕士;周业晶(通讯作者),武汉工程大学土木工程与建筑学院讲师;袁玉乔,武汉工程大学土木工程与建筑学院硕士;周敬宣,华中科技大学环境科学与工程学院教授

编号:1673-288X(2023)05-0110-09

DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202305110