

基于 Meta 分析的运城市生态系统服务价值评估

孙 姝 博

(陕西地建土地勘测规划设计院有限责任公司, 陕西 西安 710075)

摘 要: [目的] 对山西省运城市生态系统服务价值(ESV)进行评估,为区域可持续的城市发展模式研究提供科学参考。[方法] 应用中国地级市生态服务价值的研究案例,确立自变量因子,采用 Meta 分析价值转移法建立运城市景观生态系统服务价值转移模型,并结合 2007—2017 年期间运城市景观格局估算运城市景观生态价值。[结果] ①研究时间、研究方法、研究区人口与价值转移模型正相关,经济变量与模型负相关;位置变量中,东部和中部地区对生态服务价值有负作用,东北地区则有正作用。②水域景观单位面积生态系统服务价值最大,其后依次是林地、草地、耕地景观。[结论] 运城市生态系统服务价值总体表现出“减少—增加—再减少”变化,且与景观面积变化基本一致,受林地和草地景观影响较大。

关键词: Meta 分析; 价值转移; 生态系统服务价值; 山西省运城市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2021)02-0322-07

中图分类号: P901

文献参数: 孙姝博.基于 Meta 分析的运城市生态系统服务价值评估[J].水土保持通报,2021,41(2):322-328.DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.042; Sun Shubo. Assessment of ecosystem service values in Yuncheng City based on Meta-analysis [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(2):322-328.

Assessment of Ecosystem Service Values in Yuncheng City Based on Meta-analysis

Sun Shubo

(Land Surveying, Planning and Design Institute of Shaanxi Provincial Land
Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China)

Abstract: [Objective] The ecosystem service value (ESV) of Yuncheng City, Shanxi Province was evaluated in order to provide scientific reference for the exploration of sustainable urban development model. [Methods] Based on the case study of ecological service value of prefecture-level cities in China, The independent variables and value transfer model of landscape ecosystem services in Yuncheng City were established based on Meta-analysis method. And the landscape ecosystem service values of Yuncheng City based on its landscape pattern from 2007 to 2017 were evaluated. [Results] ① The research time, research method and the population of the study area were positively correlated with the value transfer model, while the economic variables were negatively correlated with the model. Among the location variables, the eastern and central regions had a negative effect on ecological service values, while the northeastern regions had a positive effect. ② The ecosystem service value of water landscape per unit area was the largest, followed by woodland, meadow and cultivated land landscape. [Conclusion] Ecosystem service values in Yuncheng City shows a change of “decrease-increase-decrease”, which is basically consistent with the change of landscape area, and it is greatly affected by the woodland and grassland landscape.

Keywords: Meta-analysis; value transfer; ecosystem service value; Yuncheng City, Shanxi Province

生态系统服务价值(ecosystem service values, ESV)是生态环境产生的定量化的效用价值量,主要依凭生态系统本身的稀缺性和功能性^[1-2]。现今社会经济高速发展,科学技术日新月异,与此同时也产生

了气候突变、资源枯竭、环境破坏、生态失衡等威胁人类生存与发展的的问题,可持续发展思想应运而生。生态环境质量与人类发展关系密切,而生态系统服务价值评价是评价生态环境质量的主要研究方法^[3]。20

世纪末, Daily 等首次提出“生态系统服务价值”概念^[4]; 同年, Costanza 等^[5]将全球分为 17 个功能的 16 个生态系统, 提出针对全球 ESV 单位面积评估标准。21 世纪初, 千年生态环境评估项目启动, 开始了对生态系统的首次整体性评价^[6]。中国谢高地等^{[7][8]}根据 Costanza 的评价标准, 结合国内外学者观点和本国实际, 建立中国生态服务价值当量因子表。中国关于 ESV 的量化研究主要采用 Costanza 和谢高地的单位估算值, 并辅以成本法和具体研究对象, 综合估算研究区的生态价值。王洁等^[9]运用谢高地等的生态服务价值系数, 对淮北市 17 个生态节点的 ESV 进行评估。刘英英等^[10]使用修订后的谢高地价值因子与土地利用系数、集中性分析模型相结合, 具体分析长江上游生态脆弱区的 ESV 变化与响应。胡应龙等^[11]利用谢高地^[12]2015 年改进型生态服务价值评估法, 结合 CA-Markov 模型, 探究广州市土地利用变化对 ESV 的影响。唐承佳^[13]则将 Costanza 与谢高地的价值评估因子, 与佟德龙^[14]市场价值法和成本法得到的建设用地 ESV 相结合, 对枣庄市总体生态进行评估。丁丽莲等^[15]修正 ESV 当量因子, 研究近 30 a 淀山湖地区 ESV 与土地利用变化的响应关系。然而, 城市所处区位、评估时间甚至研究方法的不同, 都会造成最终评估结果的不同; 若仅采用同一套评估体系, 即使结合当地经济要素, 也仍会存在较大的误差^[16]。而价值转移法最早在 1975 年就应用于评价美国赫尔斯峡谷自然环境价值^[17], 此后逐渐用于自然生态环境评估, 可以通过将已有研究区域(研究地)ESV 成果转移到待研究区域(政策地)^[18], 建立价值转移模型, 以此估算待研究区 ESV 的值^[19]。其中, Meta 分析价值转移法通过建立价值转移函数关系, 减少潜在因素的负作用, 校正函数方程中的误差^[20-21], 是目前价值转移法中最为客观准确的方法, 目前主要应用于医学领域, 在地理学、景观学领域应用相对较少。运城市位于晋陕豫三省交界处, 是国家建设“黄河金三角国家区域协调发展综合试验区”的核心城市^[22-23], 也是中部地区实现区域一体化跨越合作发展的重点示范区。运城市迎来发展机遇的同时, 也面临着经济发展、人口增长和城市化带来的环境与资源上的压力, 生态环境的保护与优化对城市可持续发展有重要意义。本文基于 2007、2010、2013 和 2017 年运城市景观格局变化情况, 以全国地级市为价值转移基础库, 建立 Meta 分析价值转移模型, 对运城市 ESV 进行评估并分析其原因, 希望为该区域探索可持续的城市发展模式提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

运城市位于东经 $110^{\circ} 15'$ — $112^{\circ} 04'$, 北纬 $34^{\circ} 35'$ — $35^{\circ} 49'$ 间, 总面积近 $1.42 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 是山西省西南部重要的地级市, 晋陕豫三省交界、黄河“几”字形转弯处; 北部与临汾市相邻, 东部与晋城市相连, 西边和南边隔黄河分别于陕西省渭南市、河南省三门峡市相望。运城市辖区包括 1 区 2 市 10 县, 分别是盐湖区、永济市、河津市、稷山县、新绛县、万荣县、闻喜县、垣曲县、临猗县、绛县、芮城县、夏县、平陆县。运城市属于暖温带大陆性季风气候, 受到季风作用, 夏季高温多雨, 且以暴雨、阵雨为主; 冬季严寒干燥。年平均降水近 564 mm; 气温年较差大, 1 月平均气温 -2.2°C , 7 月平均气温 27.4°C 。

运城市 2018 年地区生产总值 1 509.6 亿元, 相较于 2017 年增长了 7.0%; 产业结构从 2017 年的 16.0 : 36.4 : 47.6 逐渐优化调整为 2018 年的 15.0 : 36.8 : 48.2; 居民可支配收入 18 707 元, 其中城市军民人均可支配收入达到 29 104 元, 农村为 10 916 元。截止 2018 年, 运城市人口共有常住人口 535.97 万人, 在全省位居首位。全年新出生人口 5.19 万人, 人口自然增长率为 4.42%; 常住人口中城镇人口达到 50.20%, 相较于 2017 年增长 1.26%。

1.2 数据来源与预处理

本文选取的遥感数据均来自地理空间数据云 (www.gscloud.cn), 分别是 2007 和 2010 年的 Landsat 4—5TM 遥感影像和 2013、2017 年的 Landsat 8OLI-TIRS 遥感影像数据(表 1); 用于价值转移的文献均来自中国知网(CNKI); 社会经济数据来自各市统计年鉴及国民经济和社会发展统计公报。遥感影像涉及预处理主要包括大气校正、以 Landsat 8OLI-TIRS 影像为基准的几何校正、影像拼接和以运城市行政区范围为边界的影像裁剪, 最终得到 2007—2017 年共 4 期研究区影像。

1.3 景观分类标准

本文分别采用 453 波段组合、564 波段组合, 提取感兴趣区域(region of interest, ROI), 对 TM 影像和 OLI-TIRS 影像进行景观格局分类^[24]。结合研究区实际和相关文献, 在“国家资源环境遥感宏观调查与动态研究”制定的土地分类基础上^[25-26], 将运城市景观分为耕地景观、林地景观、草地景观、水域景观和建设用地景观 5 类(图 1)其中, 耕地景观包括种植农作物和蔬菜的土地, 主要有新开地、复垦地、整理

地、轮作地、休耕地等；林地景观包括乔木林、灌木林、宜林地、疏林地等，郁闭度 >0.2 ；草地景观主要指覆盖度 >0.02 的草甸、草原等；水域景观包括河流、天

然及人工湖泊、水库坑塘、沼泽、滩涂等水体及水利设施；建设用地景观主要包括指城镇及农村居民点、交通用地、工矿用地等。

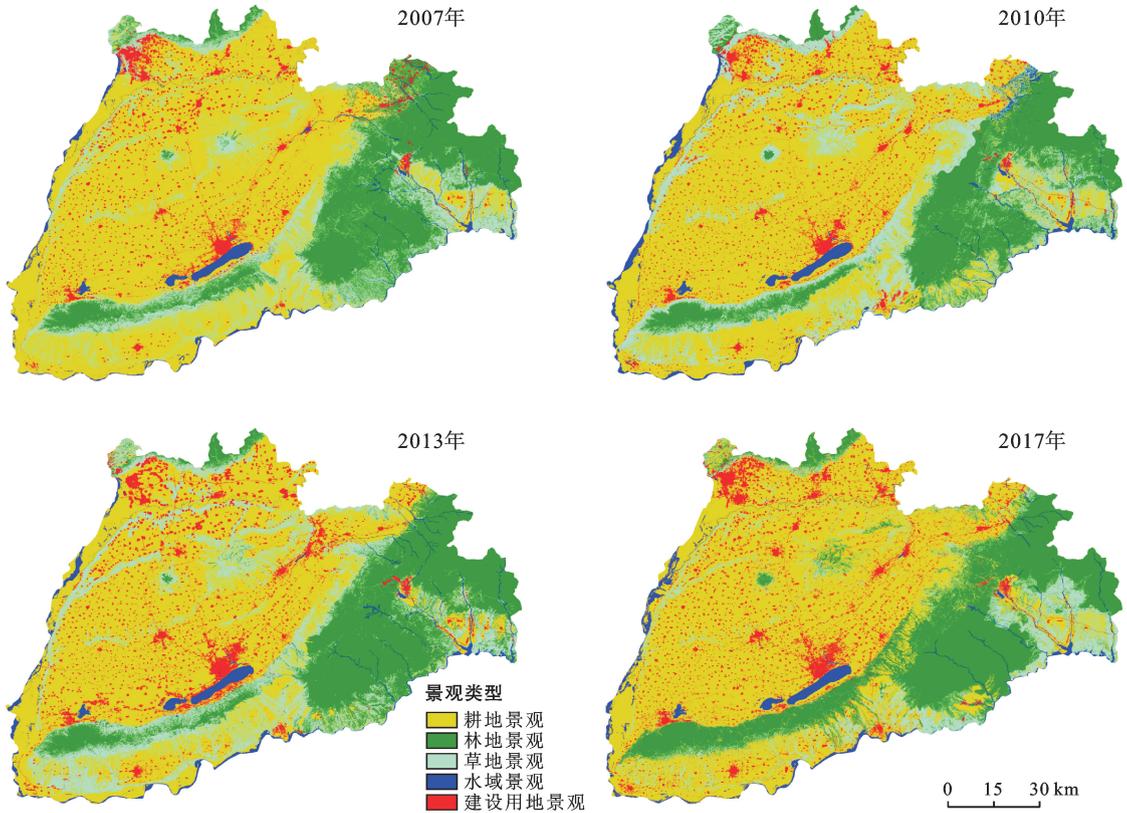


图 1 运城市 2007—2017 年景观类型分布

表 1 研究使用的遥感影像属性

年份	影像日期	传感器	行列号	分辨率/m
2007	20070602	TM	p126r035	30
	20070517		p126r036	
	20070814		p125r036	
	20070915		p125r035	
2010	20100914	TM	p126r035	30
	20100712		p126r036	
	20100502		p125r036	
	20100923		p125r035	
2013	20130602	OLI	p126r035	30
	20130602		p126r036	
	20130627		p125r036	
	20130830		p125r035	
2017	20170512	OLI	p126r035	30
	20170528		p126r036	
	20170809		p125r036	
	20170809		p125r036	
	20170809		p125r035	

1.4 Meta 分析价值转移模型的建立与检验

1.4.1 建立价值转移模型 运城市是晋陕豫交界处

的重要地级市，因此，根据中国地级市全名单^[27]，将地级市全称和关键词“生态系统服务价值”共同输入中国知网进行检索，选取研究地级市生态系统服务价值的文献进入价值转移文献库，共得到文献 194 篇；选择其中同时具有“单位面积生态系统服务价值量”和具体研究时间的文献，最终筛选得到可用文献 29 篇。综合考虑文献中的具体信息和研究区现状，结合国内外学者的研究经验^[28-35]，设定研究时间、研究方法、研究区位置、研究区面积、研究区经济、研究区人口等 6 个自变量，并进行编码赋值(表 2)。

Meta 分析价值转移模型的基本形式为：

$$W_i = m_1 \text{TIME} + m_2 \text{WAY}_i + m_3 \text{LOC}_i + m_4 \text{AREA} + m_5 \text{ECO} + m_6 \text{PEO} + n \quad (1)$$

式中： m, n 分别为系数和常量； i 为正整数； W 为研究区各景观单位面积生态系统服务价值； $i = 1 \sim 5$ 时； W 分别为单位面积上耕地、林地、草地、水域、建设用地景观的 ESV 值；TIME 为研究时间；WAY 为研究方法； $i = 1 \sim 3$ 时；WAY 分别为直接法、修正法

和融合法; LOC 为研究区位置; $i = 1 \sim 4$ 时; LOC 分别为东部、东北、中部、西部地区; AREA 为研究区

面积; ECO 为研究当年地区生产总值; PEO 为研究当年研究区常住人口。

表 2 生态服务价值转移模型自变量编码赋值

自变量	自变量编码		说明
研究时间	TIME		2000 年赋值 1,2001 年为 2,则 2015 年为 16
研究方法	直接法	WAY ₁	表示直接采用前人的价值当量体系进行评估;若采用直接法研究,则赋值为 1,否则为 0
	修正法	WAY ₂	表示结合研究区实际对前人成果修正后评估;若采用修正法研究,则赋值为 1,否则为 0
	融合法	WAY ₃	表示使用两种或以上估算方法综合评估研究区;若采用融合法研究,则赋值为 1,否则为 0
研究区位置	东部地区	LOC ₁	若城市属于东部地区,则赋值为 1,否则为 0
	东北地区	LOC ₂	若城市属于东北地区,则赋值为 1,否则为 0
	中部地区	LOC ₃	若城市属于中部地区,则赋值为 1,否则为 0
	西部地区	LOC ₄	若城市属于西部地区,则赋值为 1,否则为 0
研究区面积	AREA		以研究区实际面积输入数值(hm ²)
研究区经济	ECO		以研究区研究年份生产总值输入数值(元)
研究区人口	PEO		以研究区常住人口输入数值(万人)

1.4.2 Meta 分析生态系统服务价值转移模型 从已筛选文献中按已设定自变量提取数据,建立价值转移数据库;利用 SPSS 23,选择“向后法”进行回归分析,结果详见表 3。向后法会逐步剔除对模型贡献相对较小的因子,直到全部因子达到标准^[36]。本文对最终未进入回归模型的因子不予分析。

根据表 3,得到单位面积景观基于 Meta 分析的生态系统服务价值转移模型。

(1) 单位面积耕地景观价值转移模型:

$$W_1 = 10\ 302.170W_{AY3} - 19\ 872.161LOC_1 - 18\ 135.095LOC_3 + 27.742PEO$$

(2) 单位面积林地景观价值转移模型:

$$W_2 = 20\ 325.641W_{AY2} + 34\ 482.722W_{AY3} + 88.475PEO + 28\ 149.366$$

(3) 单位面积草地景观价值转移模型:

$$W_3 = 300.261TIME + 13\ 631.852W_{AY3} + (-9.578E-9)ECO + 21.300PEO$$

(4) 单位面积水域景观价值转移模型:

$$W_4 = 8\ 436.268TIME + 82\ 840.768W_{AY3} + 81\ 912.199LOC_2 + (-4.203E-7)ECO + 92.197PEO - 82\ 036.525$$

1.4.3 有效性检验 本文选用可决系数 R^2 , F 值和 t 值进行模型有效性检验^[37]。 R^2 的计算公式为:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

式中: n 表示样本研究数量; $\hat{y}_i - \bar{y}$ 表示样本回归值; $y_i - \bar{y}$ 表示样本离差值。若 $R^2 > 0.25$,则表示拟合优度很好。5 种景观类型的 R^2 均大于 0.57,均有较好的拟合优度。

F 值的计算公式为:

$$F = \frac{(n-k) \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{(k-1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (3)$$

式中: n 表示样本研究数量; k 为样本因素水平数量; $\sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2$ 表示样本组间平方和; $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$ 表示样本组内平方差。 F 值的 sig.值 < 0.05 则回归方程通过显著性检验,由表 3 可知建设用地景观回归模型 F 值得显著性为 $0.229 > 0.05$,未通过显著性检验,则模型不可用,本文不予讨论。

t 值的计算公式为:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_x / \sqrt{n-1}} \quad (4)$$

式中: n 表示样本研究数量; \bar{x} 表示样本平均数; μ 表示总体平均数; σ 表示样本标准差。 t 检验显著性检验结果也需小于 0.05,则耕地模型与自变量融合法、东部地区、中部地区、人口显著相关;林地模型与自变量修正法、融合法、人口显著相关;草地模型与自变量时间、融合法、经济、人口显著相关;水域模型与自变量时间、融合法、东部地区、经济、人口显著相关。

表 3 基于 Meta 分析的运城市生态服务价值转移结果

变量	耕地		林地		草地		水域		建设用地	
	<i>t</i>	sig								
常量	1.598	0.126	1.260	0.038	0.675	0.509	-3.069	0.010	-0.830	0.431
时间	—	—	0.243	0.811	1.638	0.032	4.126	0.000	1.386	0.203
修正法	1.575	0.132	1.698	0.047	1.444	0.168	0.653	0.521	-1.025	0.335
融合法	2.591	0.018	2.494	0.023	2.811	0.013	5.341	0.000	-1.859	0.100
东部	-2.028	0.049	-0.734	0.473	-1.116	0.281	0.254	0.710	0.652	0.533
东北	-0.858	0.402	-0.090	0.929	-0.734	0.474	3.149	0.048	0.339	0.744
中部	-2.113	0.048	-0.611	0.549	-0.713	0.486	0.673	0.492	0.991	0.351
西部	-0.153	0.880	-0.552	0.588	-1.418	0.175	-2.252	0.258	-2.362	0.046
面积	-0.849	0.407	-0.537	0.598	-0.295	0.772	1.673	0.209	1.920	0.091
经济	-0.633	0.534	-0.995	0.333	-0.780	0.027	-7.251	0.000	—	—
人口	3.135	0.005	3.024	0.007	2.097	0.052	1.466	0.025	-1.614	0.045
R^2	0.578		0.573		0.644		0.798		0.659	
F 值	2.899		2.411		2.891		3.760		1.717	
sig	0.025		0.050		0.028		0.021		0.229	

2 结果与分析

2.1 运城市景观格局变化

运城市景观格局始终以耕地景观为主(表 4),面积基本在 $8.00 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 上下,占比一直稳定在 50% 以上,是运城市的优势景观类型,结合图 2 可以看出耕地景观集中连片,景观通达度很高,在 2007—2017 年小幅增加了 $1.8618 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。林地景观面积呈现出“先减少再增加”变化,2010 年降至低值 $2.7344 \times 10^5 \text{ hm}^2$,到 2017 年回升了 $6.4485 \times 10^4 \text{ hm}^2$;结合图 2 可发现,林地景观基本集中在运城市南部、东南部的中条山、吕梁山北麓及孤山山区,在此范围

内景观优势度明显,其余部分景观零碎分布。草地景观先扩张至 2010 年的 $2.3614 \times 10^5 \text{ hm}^2$,此后不断减少;在格局上基本与林地景观伴随分布在山区、沟壑,在地形平坦的地区分布较少,且景观破碎度大。水域景观面积占比最少,以黄河及汾河、涑水河、毫清河、允西河等黄河支流为主,呈条带状分布;景观变化呈“增加—减少—再增加”趋势,在 2007—2017 年总体增加了 $6.820 \times 10^3 \text{ hm}^2$,在 2010 年出现峰值 $4.2109 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。由图 2 可知,建设用地景观呈现持续扩张趋势,城市扩张,零散景观不断积聚,从 2007 年面积 $6.7510 \times 10^4 \text{ hm}^2$,10 a 间扩张了 $2.8934 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

表 4 运城市 2007—2017 年景观面积变化

年份	耕地		林地		草地		水域		建设用地	
	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%
2007	7.99925×10^5	56.28	3.13987×10^5	22.09	2.09372×10^5	14.73	3.0561×10^4	2.15	6.7510×10^4	4.75
2010	7.99438×10^5	56.24	2.73438×10^5	19.24	2.3614×10^5	16.61	4.2109×10^4	2.96	7.0256×10^4	4.94
2013	7.79258×10^5	54.83	3.17678×10^5	22.35	2.06336×10^5	14.51	3.3491×10^4	2.36	8.4592×10^4	5.95
2017	8.18543×10^5	57.59	3.37923×10^5	23.77	1.31063×10^5	9.22	3.7381×10^4	2.63	9.6445×10^4	6.79

2.2 运城市景观生态服务价值评估

以 2017 年作为景观分析的统一研究时间,对应自变量 TIME 的输入值为 18;综合多人研究成果建立 Meta 分析价值转移模型评估运城市景观 ESV 值,属于融合法 WAY₃;运城市位于山西省西南部,因此属于中部地区 LOC₃;自变量 AREA 值输入运城市总面积 $1.4233 \times 10^6 \text{ hm}^2$;运城市 2017 年地区生产总值为 1.34×10^{11} 元;运城市 2017 年常住人口为 533.6 万人。据此代入价值转移模型可得运城市景观生态系

统服务价值转移结果(表 5)。由表 5 可知,总体而言,运城市 ESV 总量在 2007—2017 年期间呈现“降低—增加—再降低”变化,2010 年 ESV 降至最小值 4.87461×10^{10} 元,2013 年上升至峰值后在 2017 年又小幅降低;但在研究时段内,运城市生态系统服务价值呈增长趋势,总量整体提升了 1.42982×10^9 元。水域景观的单位面积 ESV 最大,耕地景观最小,从大到小排列依次是水域景观 1.45697×10^5 元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,林地景观 1.09842×10^5 元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,草地景观

2.966×10^4 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 耕地景观 6.970×10^4 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 且前 3 种景观的单位面积 ESV 远高于耕地景观的单位面积 ESV 值, 甚至是其 4 到 20 倍。因此可以从理论上解释毁林开荒、填湖造田等不合理的发展方式不仅会破坏生态环境, 造成生态失衡, 还会造成区域生态服务价值的大幅降低; 而“退耕还林还草”等政策, 对于区域生态服务价值的增加有直接有效的正向作用。2007—2017 年, 运城市耕地景观 ESV 总体呈现减少再增加变化, 2013 年最低值与 2017 年最高值间相差 5.52630×10^8 元; 而林地景观 ESV 总量一直是所有景观类型中的值, 2007—2010

年 ESV 减少 4.45404×10^9 元, 此后 ESV 一直增加至 2017 年最大值 3.71183×10^{10} 元; 草地景观生态价值显示出增加再减少变化, 且减少幅度最大, 2007—2017 年前后减少了 37.40%; 水域景观价值量表现为“增加—减少—再增加”变化, 2010 年 ESV 增至最大值 6.13510×10^9 元, 2013 年降低后, 2017 年又有所提升, 整体来说在研究时段内 ESV 为曲折上升趋势。各景观类型生态系统服务价值的变化与景观面积变化趋势一致。因此认为针对景观类型面积的保护措施, 如“严守耕地红线”, “严守湿地红线”等政策, 对于区域生态服务价值的提升与保护是非常有效的。

表 5 运城市 2007—2017 年景观价值转移

景观类型	研究区景观总体	耕地	林地	草地	水域	
单位面积 ESV/(元· hm^{-2} · a^{-1})	—	6.970×10^3	1.09842×10^5	2.9663×10^4	1.45697×10^5	
ESV/ 10^4 元	2007 年	5.072782×10^6	5.57564×10^5	3.448906×10^6	6.21049×10^5	4.45261×10^5
	2010 年	4.874611×10^6	5.57225×10^5	3.003502×10^6	7.00374×10^5	6.13510×10^5
	2013 年	5.283449×10^6	5.15278×10^5	3.544368×10^6	6.92132×10^5	5.31670×10^5
	2017 年	5.215764×10^6	5.70542×10^5	3.711825×10^6	3.88765×10^5	5.44632×10^5

3 讨论与结论

3.1 结论

(1) 本文通过文献筛选、选取自变量、提取数据、有效性检验建立了 Meta 分析生态系统服务价值转移模型。据此模型可以发现: 变量研究时间、研究方法、研究区人口与景观生态系统服务价值转移模型正相关, 研究区经济变量与景观价值转移模型负相关; 而在变量研究区位置中, 东部地区、中部地区对 ESV 有负向作用, 东北地区则产生正向作用。

(2) 运城市单位面积生态系统服务价值中, 水域景观 ESV 值最大, 其后依次是林地景观、草地景观、耕地景观。运城市生态服务价值总量呈现“减少—增加—再减少”的变化, 可以看出林地景观、草地景观的变化对运城市 ESV 总量影响较大。其中, 耕地景观生态系统服务价值降低后反复增加, 这与城市化发展占用耕地以及后期运城市采用强有力耕地保护政策息息相关。林地景观生态系统服务价值在 2010 年前降低, 而后不断增加。这是由于运城市采取退耕还林措施, 加大监管保护森林资源。而草地景观呈现降低趋势, 说明草地资源仍受到农田和城镇扩张的影响。水域景观 2007—2010 年 ESV 大幅度上升, 这或与小浪底水库投入使用, 黄河及支流水位上升有关; 此后 ESV 减少后又增加, 总体曲折上升, 这与运城市推动水域湿地生态区保护及退耕还湖还湿政策相关。景观生态系统服务价值的变化与景观面积变化基本一致。

3.2 讨论

本文以全国地级市的生态系统服务价值为价值转移库, 建立基于 Meta 分析的价值转移模型, 分析运城市景观生态系统服务价值, 是一种方法在黄河流域重要城市的合理应用。运城市是国家建设“黄河金三角”综合发展区域的核心城市, 其生态系统服务价值的准确评估对经济、社会和环境协调发展有重要意义。Meta 分析法相对于当量因子法, 在评估 ESV 的准确度上有很大提升, 可以兼顾到更多的影响因子对生态系统服务价值的影响, 在方法上更加合理, 但对于基础样本的数量和均匀度也有一定要求。

根据必须有“单位面积生态系统服务价值量”和“具体研究时间”对来自中国知网的文献进行筛选, 最终仅有 29 篇文献通过筛选进入文献库, 样本量相对较少。另外, 本文未讨论建设用地景观生态价值转移, 是因为建设用地未通过 F 检验, 这可能与样本中建设用地景观生态系统服务价值研究数据量较少有关, 本文最终通过筛选的 29 篇文献中, 仅有 11 篇具有建设用地单位面积价值量数据, 因此会影响回归结果。今后研究中希望能够采用更好的筛选标准, 允许更多的样本进入研究范围, 同时保证样本文献的数量与质量。

从文献创作和研究区本身属性两个角度共选取了 6 个自变量, 虽然部分自变量仍有细分, 但在回归后一部分自变量被剔除后, 剩余变量依旧较少。今后需要综合考虑更多可能的影响因素加入变量中, 如自

然条件方面的气候、生物以及通过问卷等调查方式获得人文方面比较难以量化的政策、民众生态环保意识等变量,进一步完善模型质量。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 杨海乐,危起伟,陈家宽.选择容量价值:一个新的生态系统服务价值指标[J].生态学报,2020,40(10):5-17.
- [3] 韩伟,孙辉,唐亚.生态系统服务价值及其评估方法研究进展[J].四川环境,2005(1):24-30.
- [4] Loomes R, O'Neill K. Nature's Services: Societal dependence on natural ecosystems [J]. *Pacific Conservation Biology*, 2000,6(2):220-221.
- [5] Costanza R, Darge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997,38(7):253-260.
- [6] 世界资源研究所.生态系统与人类福祉生物多样性综合报告:千年生态系统评估[M].北京:中国环境科学出版社,2005.
- [7] 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.
- [8] 谢高地,鲁春霞,肖玉,等.青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J].山地学报,2003,21(1):54-59.
- [9] 王洁,李锋,钱谊,等.基于生态服务的城乡景观生态安全格局的构建[J].环境科学与技术,2012,35(11):199-204.
- [10] 刘英英,石培基,刘玲,等.长江上游生态脆弱区土地利用结构及生态服务价值变化响应:以甘肃省陇南市为例[J].土壤,2011,43(4):644-649.
- [11] 胡应龙,陈颖彪,郑子豪,等.广州市生态系统服务价值空间异质性变化[J].热带地理,2018,38(4):27-38.
- [12] 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.
- [13] 唐承佳.基于土地利用变化的枣庄市生态系统服务价值研究[J].价值工程,2016,35(23):81-84.
- [14] 佟德龙.基于土地利用变化的生态系统服务价值研究:以道县为例[D].湖南长沙:湖南师范大学,2011.
- [15] 丁丽莲,王奇,陈欣,等.近 30 年淀山湖地区生态系统服务价值对土地利用变化的响应[J].生态学报,2019,39(8):2973-2985.
- [16] 张雅昕,刘娅,朱文博,等.基于 Meta 回归模型的土地利用类型生态系统服务价值核算与转移[J].北京大学学报(自然科学版),2016,52(3):493-504.
- [17] Krutilla J V, Fisher A C. The Economics of Natural Environments: Studies in the Valuation of Commodity and Amenity Resources [M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press for Resources for the Future, 1975.
- [18] 张玲,李娟,周德民,等.基于 Meta 分析的中国湖沼湿地生态系统服务价值转移研究[J].生态学报,2015,35(16):5507-5517.
- [19] 李庆波,敖长林,袁伟,等.基于中国湿地 CVM 研究的 Meta 分析[J].资源科学,2018,40(8):1634-1644.
- [20] 孙宝娣,崔丽娟,李伟,等.湿地价值评估尺度转换方法:Meta 分析研究概述[J].湿地科学与管理,2016(1):58-62.
- [21] 漆信贤,黄贤金,赖力.基于 Meta 分析的中国森林生态系统生态服务功能价值转移研究[J].地理科学,2018,38(4):522-530.
- [22] 国务院.国务院关于晋陕豫黄河金三角区域合作规划的批复[J].中华人民共和国国务院公报,2014(12):31-32.
- [23] 许珂,范木珍.晋陕豫黄河金三角协同发展的困境阐述与路径探析[J].三门峡职业技术学院学报,2020,19(1):46-51.
- [24] 王晓怡,张德强,姚磊. TM 遥感影像信息及最佳波段组合研究[J].山东师范大学学报(自然科学版),2010,25(1):109-112.
- [25] 袁希平,甘淑.土地覆盖遥感监测及分类系统实例评析[J].云南工业大学学报,1999,15(4):7-10.
- [26] 陈百明,周小萍.《土地利用现状分类》国家标准的解读[J].自然资源学报,2007,22(6):144-153.
- [27] 李兵.关于划定具有立法权的“较大的市”的思考[J].法学,2005(9):11-16,118.
- [28] 颜俨,姚柳杨,郎亮明,等.基于 Meta 回归方法的中国内陆河流域生态系统服务价值再评估[J].地理学报,2019,74(5):206-223.
- [29] 李乃康.四川省内江市土地集约利用现状评价[J].资源与产业,2009(2):59-63.
- [30] 欧阳志云,王效科,苗鸿.中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J].生态学报,1999,19(5):607-613.
- [31] 吴后建,王学雷,宁龙梅,等.土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以武汉市为例[J].长江流域资源与环境,2006,15(2):185-190.
- [32] 王重玲,朱志玲,白琳波,等.景观格局动态变化对生态服务价值的影响:以宁夏中部干旱带为例[J].干旱区研究,2015,32(2):329-335.
- [33] 韩秀凤,韩俊丽.基于生态服务价值的土地利用变化影响分析:以包头市为例[J].资源开发与市场,2009,25(12):1074-1076.
- [34] 赵玲,王尔大.基于 Meta 分析的自然资源效益转移方法的实证研究[J].资源科学,2011,33(1):31-40.
- [35] 吴欣欣,陈伟琪.成果参照法在自然生态环境价值评估中的应用现状及展望[J].环境科学与管理,2012,37(11):96-100.
- [36] 赵雪晴,辛驰.我国能源消费总量的线性回归分析[J].首都教育学报,2012,6(9):139-141.
- [37] 游介文,邹滨,赵秀阁,等.基于随机森林模型的中国近地面 NO₂ 浓度估算[J].中国环境科学,2019,39(3):75-85.