

李坦, 陈天宇, 惠宝航. 基于 Meta 分析的黄山市森林生态系统服务价值研究 [J]. 地理科学, 2022, 42(12): 2179-2188. [Li Tan, Chen Tianyu, Hui Baohang. Economic value of forest ecosystem services in Huangshan City based on Meta-analysis. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(12): 2179-2188.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2022.12.014

基于 Meta 分析的黄山市森林生态系统服务价值研究

李坦, 陈天宇, 惠宝航

(安徽农业大学经济管理学院, 安徽 合肥 230036)

摘要: 在综合国内外森林生态系统服务价值评估相关文献的基础上, 构建黄山市森林生态系统服务价值转移数据库和 Meta 回归模型并进行有效性检验, 建立生长函数对单位面积价值量进行了修正, 分析了 2010—2019 年黄山市的服务价值占比变化和各区县服务价值演化特征。结果表明: ① 黄山市森林生态系统单位面积服务总价值呈现递增趋势; ② 样本内外效益转移平均误差分别为 31.71% 和 32.79%, 均位于 20%~40% 的有效区间内, 所构建的 Meta 回归模型效果较好; ③ 从修正后的价值量来看, 近年来黄山市森林生态系统供给服务价值占比稳步上升, 而调节服务、支持服务占比略有下降; ④ 从黄山市各区县时空差异来看, 各区县单位面积服务价值自 2016 年后呈现出协同增长的趋势。

关键词: 生态系统服务价值; Meta 分析; 效益转移; 黄山市

中图分类号: K902 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2022)12-2179-10

森林生态系统兼具多重功能, 可持续提供多种产品和服务。在现代生态治理框架中, 森林生态系统服务的经济价值是制定生态补偿政策的重要依据和基础, 而补偿标准设计是补偿政策中的核心环节^[1], 因此, 合理评估森林生态系统服务的经济价值是提高生态补偿政策可持续性的关键。

对森林生态系统等非市场生态系统服务的经济价值开展货币化评估十分必要, 而公认的瓶颈是评估方法尚未统一^[2], 由此会导致评估结果缺乏可比性, 评估环节需耗费大量时间与资金成本等列问题^[1]。同时, 评估价值及影响因素的争议性使其难以应用于政策实施, 如森林生态系统服务时空差异较大, 用单一的经济价值评估法容易导致重复计算、低估等问题。最后, 已有研究常用显示偏好法、陈述偏好法或基于已有通用参数评估森林生态系统服务价值, 如 Costanza^[1] 和谢高地^[2] 提出的代表性方法如“单位面积价值表”法、旅行成本法^[3]、条件价值法^[4]、选择实验法^[5] 等方法对价值衡量的结果差异

较大, 难以保证具体区域的价值评估结果可靠。

以 Meta 分析为代表的效益转移法 (Benefit Transfer Method, BTM) 主要基于已有独立实证研究对生态系统服务价值进行推算, 可排除潜在因素的影响, 修正服务价值的重复计算、低估等问题^[6]。该方法相对便捷、成本低, 利用统计和计量经济学方法将研究地点 (价值已评估的区域) 的经济效益跨时空迅速转移到政策地点 (未评估区域)^[7], 为大规模的生态价值评估与时空转移比较提供了基础。目前, 效益转移法已被广泛应用于各种自然资源的评估, 包括湿地^[8]、渔业资源^[9] 和各种规模的生物多样性^[10], 以及区域^[11] 和国家^[12] 层面, 并建立了不断更新扩展的数据库^[13]。相比而言, 森林生态系统的研究仍相对有限, 如漆信贤等^[14] 在全国尺度进行了效益转移尝试, 舒航等^[15] 对国家级森林类保护区生态系统服务功能评估中运用了效益转移研究。上述研究对于森林生态价值效益转移有较大贡献, 但对 Meta 分析方法在典型生态功能保护区的应用尚未

收稿日期: 2021-08-12; 修订日期: 2022-02-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71873003) 资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (71873003).]

作者简介: 李坦 (1986-), 女, 安徽铜陵人, 副教授, 博士, 主要研究方向为农林经济管理。E-mail: litan@ahau.edu.cn

起步。

森林作为当地最重要的生态系统类型,如何科学有效的刻画黄山市森林生态系统服务价值的时空演变及识别其影响因素是亟待解决的重要科学问题。基于此,研究通过 Meta 分析对黄山市森林生态价值评估研究成果进行了全面的量化总结,通过建立中英文数据库来评估黄山市森林生态服务价值,涵盖评估方法、研究特征、撰写特征、森林特征与聚集效应、社会经济特征和服务类型,并采用 Meta 回归方法建立生态服务参数和传递函数。最后,将效益转移法应用于黄山市,结合生长系数确定森林生态系统服务价值的时空差异。本研究主要贡献为:通过 Meta 分析对生态补偿试点区(黄山市)森林生态系统服务价值进行评估和修正,分析森林生态系统服务价值的时空演化特征及影响因素,提高了对典型地区生态价值评估的效率,减小了转移误差,扩大了效益转移法在国内生态系统服务价值评估领域的应用,为决策者和研究者提供了合理误差范围内的价值参考依据。

1 研究区域

黄山市(117°02'E~118°55'E, 29°24'N~30°24'N)处于新安江流域核心地区,境内新安江干流长 242.3 km, 占总干流长度 67.49%(图 1)。据统计,黄山市行政面积约 9 807 km², 下辖 3 区 4 县,地处亚热带季风气候区、常绿阔叶林带,年降水量 1 670 mm,地形以山地为主^[16]。2019 年,黄山市国民生产总值 818.0 亿元,常住人口 142.1 万人,人均国民生产总值达到 57 853 元。黄山市森林资源丰富,截至 2019 年末,黄山市森林总面积为 80.26 万 hm²,林木蓄积量 4 490 万 m³,森林覆盖率 82.9%^[16]。

森林生态系统提供的涵养水源、净化水质等多种服务,在新安江流域水质改善与提升方面具有重要作用。因此,森林保护与发展在流域治理中受到了高度重视。黄山市是中国首个跨省横向生态补偿项目试点——新安江生态补偿的策源地与实施核心区,是长三角地区重要的生态屏障,对维护区域生态安全具有重要作用。因此,对黄山市森林生态系统服务价值进行合理评估是提高生态补偿政策可持续性的重要支撑与关键突破口。自 2012 年以来,黄山市先后在 3 轮流域补偿试点中实施禁砍禁伐、25°坡地复绿增绿、经果林(茶林、枇杷、柑橘)提质增效等森林保护措施,并于 2015 年开展“新安江百

里画廊”全线森林质量提升工程,使流域森林生态系统得到良好保护与发展。可以看出,当地的森林保护政策重心由“单一保量”向“多元保质”、由“恢复”到“提升”和“巩固”逐渐演化。本研究对 2010—2019 年黄山市森林生态系统服务价值进行 Meta 分析,可以了解补偿政策实施前后当地森林生态价值的时空演化特征。

2 研究方法和数据来源

2.1 研究方法

1) Meta 效益转移模型构建。本研究将已知变量按照研究地具体情况调整,其余变量都取模型内样本均值^[17]。Meta 回归模型的形式为:

$$\ln(y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_a + \beta_2 X_b + \beta_3 X_c + \beta_4 X_d + \beta_5 X_e + \beta_6 X_f + \beta_7 X_g + \varepsilon \quad (1)$$

式中,因变量 $\ln(y_i)$ 是取对数的单位面积森林各类生态系统服务的价值向量,这里对高度偏斜的 y_i 进行对数变换以减少异方差^[17],以 2016 年为基期。 β_0 为常数项, β_i 为参数, X_{a-g} 为具体解释变量, ε 为随机误差项。本研究使用普通最小二乘回归(OLS)和加权最小二乘回归(WLS)进行分析。由于多数样本文献提供的观察值间可能存在相关性,因此采用加权最小二乘法(WLS)来进行拟合加权处理^[18]。在各项研究中 ε 具有异质性,在式(1)中使用稳健标准误。

2) 有效性检验。本研究通过 3 种方式对 Meta 模型进行检验。具体为:通过样本内和样本外检验进行效益转移的有效性检验,其中样本内检验通过相对误差检验方法,样本外检验通过配对样本 T 检验和配对 Wilcoxon 符号秩检验进行。

(1) 通过计算转移值和真实值之间的绝对百分比误差 TE(通常称为转移误差)来检验有效性。计算公式如下:

$$TE = \left| \frac{V_i - V_i^o}{V_i} \right| \times 100\% \quad (2)$$

式中, V_i 为真实值, V_i^o 为转移值。通常,平均转移误差在 20%~40% 范围内,估计结果有效^[7]。

(2) 配对 T 检验:计算公式如下:

$$t = \frac{(\bar{D} - \mu_D)}{S_D / \sqrt{n_p - 1}} \quad (3)$$

式中, D 为配对样本转移值与真实值之间的均差, S_D 为配对样本转移值与真实值之间差值的标准差, μ_D 为所有配对样本差值总体均值, n_p 为配对样本

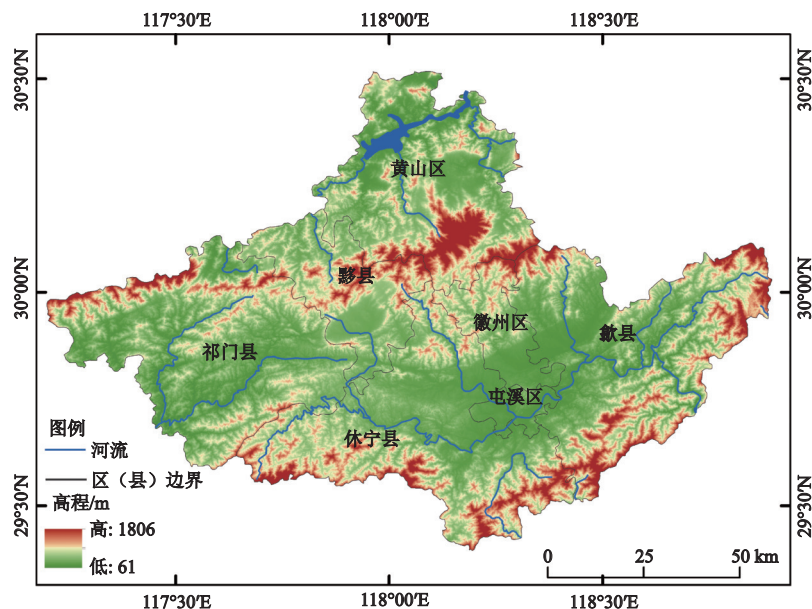


图 1 黄山市位置

Fig.1 Location of Huangshan City

数量。

(3) Wilcoxon 符号秩检验: 计算公式如下:

$$Z = \frac{W - n(n+1)/4}{\sqrt{n(n+1)(2n+1)/24}} \quad (4)$$

式中, n 为配对样本数量, W 为秩和统计量。

3) 价值量修正方法。为了解黄山市 2010—2019 年森林生态系统不同服务价值及各区县单位面积森林生态系统服务价值的时空演化, 本文采取 Pearl 生长曲线^[19] 和恩格尔系数^[20] 结合的方法对 y_i 进行修正, 公式为:

$$y'_i = y_i \times \frac{1}{1 + e^{-t_i}} \quad (5)$$

式中, y_i 为转移的单位面积森林生态系统服务价值, y'_i 为修正后的单位面积森林生态系统服务价值, t_i 为各地区的恩格尔系数 E_n 。据统计, 黄山市在三轮生态补偿政策实施中, 生态产品价格有所提升^[16], 支持服务也有一定的累积效应。根据原理^[20], 生长曲线中的参数 t_i 随着发展阶段不同可以设定差异, 因此, 将产品供给服务的 y'_i 值进行了指数化处理^[20], 即 $t_i = 2^n E_n$, 在补偿实施前, $n=0$, 第 1, 2, 3 轮中, n 依次为 1, 2, 3。对支持服务的 y'_i 值在补偿实施前后进行区分, 即补偿前, $n=0$, 补偿实施后, $n=1$ 。

2.2 数据来源

为构建原始数据库, 本研究使用了 2 种搜索策

略, 检索时间为 2020 年 10 月。中文文献数据来自于“中国知网”数据库(<https://www.cnki.net/>), 使用主题词“森林+生态系统服务”“森林+服务价值”“森林+价值评估”进行搜索, 类型为“期刊”, 期刊级别为“核心期刊”, 删除重复文献后共得到 952 篇文献。外文文献主要来源为 Web of Science(WOS), 使用主题词“forest+ecosystem service + China or Chinese”“forest + service value+China or Chinese”“forest+ value assessment or value assess+ China or Chinese”进行搜索, 来源为“Core Collection”, 提取相关度前 500 的文献导入到 Endnote 库中, 剔除重复数据后共获取文献 766 篇。

初步筛选后, 剔除以下 6 类文献: ① 评估对象为地级市以下区域的文献; ② 评估对象为特定树种的文献; ③ 评估对象为非亚热带季风气候(亚热带常绿阔叶林带)地区的文献; ④ 评估对象为人工林、防护林等特殊类型森林, 或喀斯特地貌等特殊研究区文献; ⑤ 评估对象为森林某单一价值的文献; ⑥ 评估方法为效益转移法、能值分析法的文献。

初步剔除后, 进行二次剔除: ① 数据不完整且无法间接获取, 如未明确研究区域、研究时间、生态系统服务分类价值的文献; ② 评估对象为上海、广州等与黄山市社会经济条件差异过大的地区。最终, 39 篇中英文文献被纳入效益转移库, 产生 371 个观测样本。

为保持可比性,本文对货币(各年份美元对人民币平均汇率)、面积等单位进行了换算。此外,本文使用消费者物价指数(Consumer Price Index, CPI),将不同年份估计值统一调整到2016年的物价水平^[20]。

文献中未提供信息如黄山市的经济社会信息等,均由《中国城市统计年鉴》^[21]、《安徽省统计年鉴》^[22]

和《黄山市统计年鉴》^[16]等补充。

2.3 变量选取

在Meta回归中,解释变量一般包括评估方法特征、服务类型等。本文结合黄山市的社会经济特征,将解释变量进行扩充与细化,具体划分为以下7类(表1):

1) 评估方法变量:本文依据已有研究和Meta

表1 变量选取

Table 1 Variable selection

变量名称	变量描述	均值	标准差	样本数
被解释变量				
单位面积服务价值	数值型变量(对数)	8.27	1.71	371
解释变量				
评估方法变量				
成本法	若评估方法为替代成本法,取值为1,否则为0	0.40	0.49	147
收益法	若为市场价值法,取值为1,否则为0	0.31	0.46	116
机会成本法	若为成本法,取值为1,否则为0	0.12	0.33	45
意愿调查法	若为意愿调查法,取值为1,否则为0	0.01	0.12	5
Costanza系数法	若为Costanza系数法,取值为1,否则为0	0.15	0.36	57
谢高地系数法	若为谢高地系数法,取值为1,否则为0	0.16	0.37	61
服务类型变量				
保育土壤	若服务为保育土壤,取值为1,否为0	0.17	0.38	64
营养积累	若服务为养分循环,取值为1,否为0	0.14	0.35	53
废物处理	若服务为废物处理,取值为1,否为0	0.04	0.20	15
涵养水源	若服务为涵养水源,取值为1,否为0	0.16	0.37	61
调节气候	若服务为调节气候,取值为1,否为0	0.05	0.22	18
净化大气	若服务为净化大气,取值为1,否为0	0.15	0.36	57
森林防护	若服务为森林防护,取值为1,否为0	0.04	0.20	16
生物多样性	若服务为保护生物多样性,取值为1,否为0	0.16	0.37	60
产品供给	若服务为产品供给,取值为1,否为0	0.07	0.26	27
研究特征变量				
评估时间	以最早年份为基期(对数形式)	3.04	0.60	371
评估空间	1地级市,2地区,3省(直辖市),4区域,5全国	2.96	1.32	371
撰写发表特征变量				
文献来源	0为中文数据库,1为外文数据库	1.13	0.33	371
发表时间	以最早年份为基期(对数形式)	3.35	0.19	371
森林特征变量				
森林面积/hm ²	数值型变量(对数)	15.87	2.00	371
森林覆盖率/%	数值型变量(对数)	3.69	0.53	371
森林单位面积承载人口数/(人/hm ²)	数值型变量(对数)	1.84	0.78	371
单位面积林木蓄积量/(m ³ /hm ²)	数值型变量(对数)	10.72	0.36	371
社会经济特征变量				
人均GDP/(元/人)	数值型变量(对数)	9.96	0.73	371
人口数量/人	数值型变量(对数)	17.58	2.39	371
人口密度/(人/km ²)	数值型变量(对数)	5.51	0.62	371
聚集效应变量				
50 km内是否有其他森林聚集	若有,取值为1,否则为0	0.95	0.21	354

数据库实际情况, 构建估值方法分类框架。

2) 服务类型变量: 由于黄山是世界自然文化双遗产旅游地, 其文化服务效益转移有效性偏低, 本研究将文化服务剔除。将黄山森林生态系统划分为 3 种类型, 分别为支持、调节和供给服务。

3) 研究特征变量: 由于 Meta 数据库文献的评估时间和空间尺度均不一致, 因此需要从文献中提取评估时间和评估空间变量, 以了解研究特征差异对评估结果的影响。

4) 撰写发表特征变量: 本文将发表特征分解为文献来源和发表时间^[23]。主要原因为: 中外文献在撰写和审查发表上存在一定差异, 而发表时间反映了文献的时代特征, 具有时间异质性。

5) 森林特征变量: 单位面积林木蓄积量反映了森林质量, 森林单位面积承载人口数反映了森林压力状况, 均与生态服务价值关系密切。因此, 除森林面积、森林覆盖率外, 本文也将以上变量纳入模型。

6) 社会经济特征变量: 社会经济发展水平不同的地区对森林生态价值及其市场价值实现的认知通常存在一定差异^[24]。选取人均 GDP 以反映地区经济水平差异; 选取总人口反映地区对森林生态服务的需求差异。

7) 聚集效应变量: 已有研究证明生态系统服务价值具有集聚效应^[25]。参考漆信贤等^[14]研究, 使用周边 50 km 内是否有其他同类型森林存在指标来替代(数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心: 中国土地利用/土地覆盖遥感监测数据库, <http://www.resdc.cn>)。

3 结果分析

3.1 描述性统计

本文提取的 371 个森林评估样本均分布在长江经济带流域等地区, 与研究区域的地理条件较为相似。从选取的研究对象样本的范围来看, 大多数研究以某一特定区域的森林生态系统服务为研究对象, 少部分侧重于省域或市域内所有森林的总和。

在进行描述统计时, 剔除标准差显著较高样本, 同时剔除存在多重共线性的变量(废弃物处理服务、森林防护服务、评估空间、森林覆盖率、人口密度), 最终保留有 207 个有效样本。从文献中提取的森林生态系统服务价值指标除以森林面积, 得到单位面积价值(表 2)。可以看出, 在对数变换后, 涵养水源

表 2 森林单位面积服务价值描述统计

Table 2 Descriptive statistics of unit value of forest services

服务类型	对数变换后			
	均值	标准差	标准差系数	中位数
营养积累	8.34	0.97	0.12	8.47
调节气候	9.35	1.21	0.13	9.37
净化大气	9.56	0.54	0.06	9.63
涵养水源	10.27	0.57	0.06	10.26
产品供给	8.19	0.70	0.09	8.13
保育土壤	8.61	0.64	0.07	8.51
保护生物多样性	9.20	1.66	0.18	9.75

服务的价值最高, 其次为净化大气, 产品供给和营养积累的单位价值最低。由标准差系数可知, 森林生态系统服务价值的差异较小。

3.2 Meta 回归模型结果及有效性分析

3.2.1 Meta 回归模型结果

结果表明, Meta 回归模型中均不存在多重共线性问题。其中, OLS 的 F 统计量通过了检验, R^2 为 0.887, 拟合优度优良。WLS 的 R^2 为 0.901, 说明生态系统服务价值的 90.1% 的变动能被解释, 拟合优度优良。所有回归系数符号在回归中均无变化, 说明模型结果稳健。根据结果(表 3)分析各变量的影响。

1) 评估方法变量: 除 Costanza 系数法以外的方法变量均在不同水平上显著, 这表明, 方法差异会使评估结果呈现显著差异。

2) 服务类型变量: 调节服务(涵养水源、调节气候、净化大气和生物多样性)的回归系数为正, 具有一定的规模效应。保育土壤、产品供给的系数显著为负, 但价值较低。

3) 研究特征变量: 评估年份的回归系数在 1% 的水平上正向显著, 表明研究时间对评估结果具有显著性影响。

4) 撰写发表特征变量: 文献类型的回归系数在 1% 的水平上正向显著, 表明中英文文献评估差异显著。发表年份变量与森林生态服务价值具有正相关关系, 但并不显著。这类变量的回归结果表明出版选择偏差真实存在。

5) 森林特征变量: 森林面积变量在 1% 的水平上负向显著, 表明单位面积森林生态系统服务价值存在规模效益递减现象, 这一结果与 Salem^[23] 和 Brander^[26] 等的研究相同。单位面积活立木蓄积量在 1% 的水平上正向显著, 表明了森林质量与服务

表3 OLS 和 WLS 模型回归结果

Table 3 Regression results of OLS and WLS

Meta回归变量	OLS			WLS		
	非标准化系数	标准误	VIF	非标准化系数	标准误	VIF
(常数项)	3.116 ^{***}	1.121		0.306	1.014	
评估方法						
成本法	1.247 ^{***}	0.150	6.733	1.289 ^{***}	0.145	6.765
收益法	-0.656 ^{***}	0.135	4.271	-0.487 ^{***}	0.120	3.876
机会成本法	0.818 ^{***}	0.178	4.801	0.755 ^{***}	0.188	4.655
意愿调查法	-4.249 ^{***}	0.298	2.063	-4.343 ^{***}	0.297	1.907
Costanza系数法	0.172	0.212	4.571	0.247	0.185	4.599
谢高地系数法	-0.815 ^{***}	0.199	8.285	-0.906 ^{***}	0.188	8.196
服务类型						
保育土壤	-0.373 ^{**}	0.162	4.802	-0.388 ^{**}	0.165	5.596
营养积累	0.263	0.159	2.325	0.252	0.180	3.232
涵养水源	0.602 ^{***}	0.183	5.643	0.805 ^{***}	0.187	5.923
调节气候	0.452 ^{**}	0.198	1.996	0.733 ^{***}	0.199	2.845
净化大气	0.155	0.170	5.177	0.351 ^{**}	0.171	5.713
生物多样性	0.517 ^{***}	0.186	6.355	0.673 ^{***}	0.199	6.552
产品供给	-0.264 [*]	0.155	2.207	-0.267 [*]	0.148	3.395
研究特征						
评估时间	0.212 ^{***}	0.077	2.295	0.208 ^{***}	0.072	2.364
撰写发表特征						
文献类型	1.293 ^{***}	0.161	4.277	1.312 ^{***}	0.154	4.474
森林特征						
森林面积	-0.087 ^{***}	0.031	4.497	-0.084 ^{***}	0.032	7.392
森林单位面积承载人口数	-0.037	0.058	2.900	0.076	0.062	3.662
单位面积活立木蓄积量	0.389 ^{***}	0.093	1.384	0.623 ^{***}	0.097	1.734
社会经济特征						
人口数量	0.039	0.024	4.448	0.022	0.024	5.757
人均GDP	0.220 ^{***}	0.062	2.369	0.315 ^{***}	0.056	2.004
聚集效应						
50 km内是否存在其他森林	0.506 ^{**}	0.218	2.680	0.806 ^{***}	0.256	4.950

注: *, **, *** 分别表示在0.1、0.05、0.01的显著性水平上显著, 空白为无此项。

价值协同增长。单位面积森林承载人口数的系数为负, 但不显著的原因是单位面积森林承载压力越大, 森林生态服务价值降低的风险越高。

6) 社会经济特征变量: 人均 GDP 在 1% 水平上呈正向显著, 说明经济发达地区对服务的需求也会较高。

7) 聚集效应变量: 50 km 范围内是否存在其他森林的系数在 1% 的水平上正向显著, 说明森林生态服务具有明显的集聚效应。

3.2.2 模型有效性检验

样本内有效性检验结果表明: 总体的平均转移

误差为 31.71%, 处于 20%~40% 有效区间内(表 4), 表明本次研究构建的 Meta 回归效益转移模型结果有效。其中, 调节气候的误差最小, 保育土壤次之, 营养积累的误差最大。同时, 样本外有效性检验显示, 总体的平均误差提升为 32.79%, 但仍处于 20%~40% 有效区间内, 模型结果有效。其中, 保育土壤的误差最小, 产品供给次之, 营养积累的误差最大。

从配对 T 检验(表 5)结果看, P 值均大于显著性水平 0.05, 说明在 95% 的置信区间内, 7 类森林生态系统服务价值的转移值和真实值均值没有显著

表 4 样本转移误差

Table 4 Sample benefit transfer error

服务名称	营养积累	净化大气	涵养水源	产品供给	保育土壤	生物多样性	调节气候	总体
样本内误差/%	44.85	40.81	32.05	31.97	28.79	29.16	22.92	31.71
样本外误差/%	49.74	35.82	29.08	25.98	24.40	43.96	28.14	32.79

表 5 样本外配对 T 检验和 Wilcoxon 符号秩检验

Table 5 Out-of-sample paired T-test and Wilcoxon signed rank test

服务名称	营养积累	净化大气	涵养水源	产品供给	保育土壤	生物多样性	调节气候
<i>t</i>	0.96	0.254	-2.905	-6.642	-1.736	-1.673	-0.708
<i>P</i> 值	0.513	0.805	0.062	0.095	0.106	0.133	0.530
<i>Z</i>	-0.447 ^a	-0.255 ^a	-1.826 ^b	-1.342 ^b	-1.412 ^b	-1.599 ^b	-0.730 ^b
<i>P</i> 值	0.655	0.799	0.068	0.180	0.158	0.110	0.465

注: a 基于正秩; b 基于负秩。

差异。从秩检验结果看(表 5), *P* 值均大于显著性水平 0.05, 可认为 7 类森林生态系统服务价值的转移值与真实值来自同一总体分布。以上结果均说明了 Meta 模型稳健有效。

3.3 黄山市森林生态系统服务价值的时空分析

在验证 Meta 分析模型结果有效性后, 本研究根据式(5)对黄山市单位面积森林生态系统服务价值进行修正。按照联合国千年生态系统评估(The Millennium Ecosystem Assessment, MA)^[27] 的分类, 将营养积累、保育土壤和保护生物多样性合并为支持服务, 将调节气候、净化大气和涵养水源合并为调节服务, 将产品供给作为供给服务, 选取 2010 年(生态补偿前)、2013 年(第 1 轮试点期间)、2016 年(第 2 轮试点期间)和 2019 年(第 3 轮试点期间)为研究期节点, 分析近年来黄山市森林生态系统支持服务、调节服务和供给服务单位价值量的变化与占比变化情况。结果表明(表 6): 修正后的 3 项服务单位价值在总量上均有上升, 特别是供给服务单位价值从 2010 年的 1336.05 元/hm² 增长到 2019 年的

2796.73 元/hm², 增长率为 109.10%。在占比情况上看, 2013 年后, 支持服务单位价值和供给服务单位价值占总价值比重有一定的上升, 而调节服务单位价值占总价值比出现了一定的下降。2013—2019 年, 支持服务单位价值和调节服务单位价值占比均微弱下降, 而供给服务单位价值占比情况稳步上升。以上结果说明, 近年来, 黄山市森林生态系统服务的单位价值量有了显著提升。

为进一步分析黄山市各区县森林生态系统单位面积服务价值的空间演化趋势, 本研究利用 ArcGIS10.6 软件对黄山市 2010 年、2013 年、2016 年、2019 年各区县的单位面积服务价值进行了空间分析。由图 2 可知, 2010 年, 徽州区和歙县的森林单位面积服务价值显著高于其他区县。随后, 各区县的森林单位面积服务价值均有所提升。值得注意的是, 2016 年, 生态补偿重点实施区域如休宁县、屯溪区、徽州区和歙县的森林单位面积服务价值均有所提升, 而在 2019 年, 黄山市全域森林单位面积服务价值显著提升。可以看出, 2010—2019 年, 黄山

表 6 黄山市森林生态系统服务单位价值修正

Table 6 Adjusted results of benefit transfer in Huangshan City

年份	支持服务/(元/hm ²)	占比/%	调节服务/(元/hm ²)	占比/%	供给服务/(元/hm ²)	占比/%	合计/(元/hm ²)
2010	11288.980	30.26	24680.470	66.16	1336.049	3.58	37305.499
2013	15058.988	32.89	28933.503	63.21	1782.222	3.89	45774.714
2016	16448.772	32.62	31643.037	62.75	2334.251	4.63	50426.060
2019	16670.601	32.24	32238.658	62.35	2796.732	5.41	51705.991

服务的效益转移结果进行时空演化分析, 提供了低成本的政策工具。

由于效益转移研究很大程度上基于已有成果, 因此, 初级研究的质量和可比性会很大程度上决定效益转移研究的准确性。研究观察到来自 Meta 数据库的价值估计的高度异质性导致了效益转移误差的极端值。基于此, 建议如下: ① 未来的第一手评估研究应提供更详细和标准化的信息, 以提高研究的质量、可靠性和可信度, 并促进不同研究的评估结果之间的比较; ② 随着初步研究质量和数量的进一步提高, 基于 Meta 分析的效益转移能够以最小的成本支持森林生态价值的快速评估, 促进将生态系统价值纳入宏观决策, 如生态补偿标准设计和生态系统规划和管理; ③ 由于森林生态系统服务的经济价值评估研究通常具有较强的共线性, 未来研究的方向是运用更精细的森林林种分类、更精细的地理范围和多种森林特征数据提高经济评估结果的准确性。

参考文献(References):

- [1] Costanza R, Arge R, Groot R et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 386: 253-260.
- [2] 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(2): 189-196. [Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2003(2): 189-196.]
- [3] 董天, 郑华, 肖赓, 等. 旅游资源使用价值评估的ZTCM和TCIA方法比较——以北京奥林匹克森林公园为例[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(8): 2605-2610. [Dong Tian, Zheng Hua, Xiao Yan et al. Comparison of ZTCM and TCIA methods for evaluating the use value of tourism resources: Taking Beijing Olympic Forest Park as an example. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(8): 2605-2610.]
- [4] 朱霖, 李智勇, 樊宝敏, 等. 北京妙峰山森林文化条件价值评估[J]. *林业科学*, 2015, 51(6): 9-16. [Zhu Lin, Li Zhiyong, Fan Baomin et al. Contingent valuation of forest culture in Miaofeng Mountain in Beijing. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, 51(6): 9-16.]
- [5] 王尔大, 李莉, 韦健华. 基于选择实验法的国家森林公园资源和管理属性经济价值评价[J]. *资源科学*, 2015, 37(1): 193-200. [Wang Erda, Li Li, Wei Jianhua. Economic value evaluation of resources and management attributes for forest parks using choice experiments. *Resources Science*, 2015, 37(1): 193-200.]
- [6] Navrud S, Ready R. Environmental value transfer: Issues and methods[M]. Berlin: Springer, 2007.
- [7] Brander L M, Florax R J G M, Vermaat J E. The empirics of wetland valuation: A comprehensive summary and a meta-analysis of the literature[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2006, 33(2): 223-250.
- [8] 张玲, 李小娟, 周德民, 等. 基于Meta分析的中国湖沼湿地生态系统服务效益转移研究[J]. *生态学报*, 2015, 35(16): 5507-5517. [Zhang Ling, Li Xiaojuan, Zhou Demin et al. An empirical study of meta-analytical value transfer of lake and marsh ecosystem services in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(16): 5507-5517.]
- [9] Gluck R J. An economic evaluation of the Rakaia fishery as a recreational resource[D]. Christchurch: University of Canterbury (Lincoln College), 1974.
- [10] Ingraham M W, Foster S G. The value of ecosystem services provided by the US National Wildlife refuge system in the contiguous US[J]. *Ecological Economics*, 2008, 67(4): 608-618.
- [11] 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.
- [12] 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. [Zhao Ling, Wang Eeda. An empirical study of Meta-regression benefit transfer of natural resources. *Resources Science*, 2011, 33(1): 31-40.]
- [13] Greg M C, Van L, Katrina N et al. International valuation databases: Overview, methods and operational issues[J]. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 461-472.
- [14] 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效益转移研究[J]. *地理科学*, 2018, 38(4): 522-530. [Qi Xinxian, Huang Xianjin, Lai Li. An empirical study of Meta-analytical value transfer of forest ecosystem services in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(4): 522-530.]
- [15] 舒航, 庄立文, 孙晓杰, 等. 价值转移模型在森林类保护区生态系统服务功能评估中的应用[J]. *东北林业大学学报*, 2020, 48(12): 52-57. [Shu Hang, Zhuang Liwen, Sun Xiaojie et al. Application of value transfer model in the evaluation of ecosystem service function of forest reserve. *Journal of Northeast Forestry University*, 2020, 48(12): 52-57.]
- [16] 黄山市统计局. 黄山市统计年鉴[M]. 黄山: 黄山市统计局, 2010-2020. [Huangshan Statistics Bureau. Statistical yearbook of Huangshan City. Huangshan: Huangshan Statistics Bureau, 2010-2020.]
- [17] Bergstrom J C, Taylor L O. Using meta-analysis for benefits transfer: Theory and practice[J]. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 351-360.
- [18] Ghermandi A, Van Den Bergh J C J M, Brander L M et al. Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis[J]. *Water Resource Research*, 2010, 46(12): 1-12.
- [19] 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(3): 13-19. [Li Jinchang. Value accounting is the key to environmental accounting. *China Population, Resources and Environment*, 2002(3): 13-19.]
- [20] 李坦. 森林生态系统服务价值与补偿耦合研究[M]. 北京: 科学出版社, 2019. [Li Tan. Study on the coupling of forest ecosystem services value and compensation coupling research[M]. Beijing: Science Press, 2019.]

- tem service value and compensation. Beijing: Science Press, 2019.]
- [21] 国家统计局. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010-2020. [National Bureau of Statistics of China. China city statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2010-2020.]
- [22] 安徽省统计局. 安徽省统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010-2020. [Anhui Statistics Bureau. Statistical yearbook of Anhui Province. Beijing: China Statistics Press, 2010-2020.]
- [23] Salem M E, Mercer D E. The economic value of mangroves: A meta-analysis[J]. *Sustainability*, 2012, 4(3): 359-383.
- [24] Kristofersson D, Navrud S. Validity tests of benefit transfer-are we performing the wrong tests[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2005, 30(3): 279-286.
- [25] Costanza R. Social goals and the valuation of ecosystem service[J]. *Ecosystems*, 2000, 3(1): 4-10.
- [26] Brander L M, Wagtendonk A J, Hussain S S et al. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: A Meta-analysis and value transfer application[J]. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 62-69.
- [27] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Synthesis, millennium ecosystem assessment[M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [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): 1040-1057. [Yan Yan, Yao Liuyang, Lang Liangming. Revaluation of ecosystem services in inland river basins of China: Based on Meta-regression analysis. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(5): 1040-1057.]
- [29] 彭俞超, 顾雷雷. 经济学中的META回归分析[J]. *经济学动态*, 2014(2): 126-131. [Peng Yuchao, Gu Leilei. Meta regression analysis in economics. *Economic Perspectives*, 2014(2): 126-131.]
- [30] 赵玲, 王尔大. 基于价值转移方法的我国游憩活动价值评价[J]. *旅游科学*, 2013, 27(4): 47-60. [Zhao Ling, Wang Erda. A study on valuing assessment of China's recreation activities: A benefit transfer approach. *Tourism Science*, 2013, 27(4): 47-60.]

Economic Value of Forest Ecosystem Services in Huangshan City Based on Meta-analysis

Li Tan, Chen Tianyu, Hui Baohang

(College of Economics and Management, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui, China)

Abstract: Huangshan City is the headstream of the Xin'anjiang River Ecological Compensation policy. The local forests have contributed to the ecosystem services of the life community of "Mountains, rivers, forests, farmland, lakes and grassland". But the nature of its public goods means that the relationship between protection and development of various ecosystem services needs to be reasonably balanced. Compared with the traditional methods of directly calculating the value of regional ecosystem services, the benefit transfer assessment of forest ecosystem services in Huangshan City can be better understood. Based on 39 domestic and foreign research examples and 371 sample data in the Meta library, the Huangshan Forest ecosystem service value transfer database and Meta regression model are constructed, and the validity is tested. The growth function curve is established to correct the transfer value. We analysis the proportion of the service value of the whole city of Huangshan City changes and the service value evolution characteristics of various districts and counties. The results show that: 1) The total value of services per unit area of the forest ecosystem in Huangshan City shows an increasing trend; 2) The average error of the transfer of benefits within and outside the sample is respectively 31.71% and 32.79% are both within the effective range of 20%-40%, and the Meta regression model constructed has a better transfer effect; 3) From the perspective of the revised transfer value, Huangshan City's forest supply service value has steadily increased, while adjustment services and support services have declined slightly; 4) The service value per unit area of the districts and counties shows a trend of synergistic growth since 2016.

Key words: ecosystem service value; Meta-analysis; benefit transfer; Huangshan City