

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

颜 俨¹, 姚柳杨², 郎亮明^{1,3}, 赵敏娟^{1,3}

(1. 西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100; 2. 陕西师范大学国际商学院, 西安 710119;
3. 西北农林科技大学六次产业研究院, 杨凌 712100)

摘要: 将流域生态系统服务的经济价值纳入成本效益分析, 是解决生态环境问题和实现流域生态资源可持续配置的关键。近年来随着价值评估文献量增加, 评估的价值及其影响因素等研究结论由于存在诸多争议而难以应用于管理实践。首次应用Meta回归分析对中国内陆河流域生态系统服务的价值进行综合再评估, 结果发现: 在价值评估研究中研究对象、受访者、测度方法、撰写发表等4个环节的特征对评估价值均具有显著影响, 其中, 石羊河和塔里木河的评估价值显著高于黑河, 上游的评估价值显著高于中游和下游, 二分式条件价值评估法所评估的价值与选择实验法没有显著差异, 但显著高于其他条件价值评估法; 此外, 时间对评估价值呈现显著“衰减效应”, 每年下降2%~3%, 且期刊文献的评估价值显著高于其他文献的评估价值; 通过运用 $n-1$ 数据分割技术, 本文将Meta回归方程结果运用到样本外效益转移并对其进行评估, 得到的中位数转移误差为27.12%。相较于现有研究, 该结果处于可接受范围。因此, 本文运用的Meta回归分析适用于中国内陆河流域效益转移政策地的生态系统服务价值评估。

关键词: 生态系统服务价值评估; Meta回归分析; $n-1$ 数据分割技术; 内陆河流域

DOI: 10.11821/dlxb201905015

1 引言

流域生态系统具备多重功能^[1], 持续为公众提供大量产品与服务^[2-3]。尽管公众的生态保护意识日益增强, 但由于流域生态系统具备生态敏感性和适应性^[4], 自然资源耗竭、生态破坏和环境污染等问题却愈发严重^[5-6]。从经济学角度来说, 流域生态系统服务属于公共物品, 具有极强的外部性, 其价值缺乏相关市场得以体现, 在流域生态系统管理决策中往往被低估甚至被忽略^[7-8]。生态系统服务的稀缺价值难以体现, 使得私人成本向下偏离于社会成本, 在这种情况下, 理性的开发者会选择更多地开发资源或排放污染, 由此产生的诸多问题是造成流域生态系统退化的关键因素^[9]。

在生态环境现代化治理中, 经济价值是进行成本效益分析的重要实证依据与精细化数据基础, 而此类数据的缺失是实现资源可持续配置的一大难题^[10]。流域生态系统服务的价值评估, 尤其是基于陈述偏好法的全价值评估^[11], 不仅有助于理解公众偏好, 还能

收稿日期: 2017-11-03; 修订日期: 2019-02-26

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(15ZDA052); 国家自然科学基金项目(71373209) [Foundation: Major Program of National Social Science Foundation of China, No.15ZDA052; National Natural Science Foundation of China, No.71373209]

作者简介: 颜俨(1991-), 男, 湖南攸县人, 硕士, 科研助理, 主要从事自然资源价值评估与生态环境治理研究。

E-mail: yyan@nwfufu.edu.cn

通讯作者: 赵敏娟(1971-), 女, 陕西兴平人, 博士, 教授, 博导, 长江学者青年学者, 主要从事自然资源与环境经济学、应用经济研究。E-mail: minjuan.zhao@nwsuaf.edu.cn

1040-1057 页

测算相关服务的经济价值^[12], 这种价值可促进政策制定者和利益相关者在竞争性使用资源时对其配置做出知情决策^[9]。近年来, 对生态环境的价值进行科学评估已成为各国学术研究者和政策制定者的热点问题^[13]。其中, 位于中国西北地区的中国内陆流域长期处于经济发展落后与生态环境脆弱的双重困境, 该流域生态系统服务的价值评估一直受到学者们重点关注^[14-22]。当前关于陈述偏好价值评估的文献, 数量较多且呈逐年上升趋势。但由于评估研究的具体服务不尽相同 (涉及水资源供给、防风固沙、休闲娱乐等各方面), 且受到社会经济背景、评估方法、评估时间、评估价值类型等诸多因素的影响, 其评估结果与结论呈现多样化^[12, 23]。这种结论的不一致, 一方面, 使得在价值评估研究中越来越难以确定影响评估价值的关键因素, 另一方面, 使得研究成果往往难以被决策者采用, 这与价值评估服务于决策的本意相背离。

Meta 回归分析是综合一系列已有文献对具体研究指标的量化分析, 由于具备严格统计性与较强客观性, 能通过消除潜在因素的影响而纠正方程设定偏差, 被认为是经济学实证研究发展的希望^[24]。同理, 对价值评估进行 Meta 回归, 通过控制价值评估过程中的潜在影响因素, 能更为深入地分析评估价值的影响因素。当前, 除了关于 Meta 分析的方法介绍与研究范式以及对现有研究评述等^[25-33]研究外, 在基于 Meta 回归的生态系统服务价值评估应用中, 其研究范围涉及国家 (如: 西班牙^[34]、英国^[35]、美国^[36]、中国^[37-44]、印度^[45]等)、区域 (如欧洲^[46]、欧洲与北美^[47-48]、东南亚^[49]以及发展中国家^[9]等) 甚至全球^[50-57]; 研究对象包含城市开放空间^[58]、空气污染^[59-60]、林地休闲^[61]、户外休闲^[62-64]、水上休闲^[65]、地下水^[66]、水质^[36]、生物多样性^[41]、珍稀濒危物种^[67]、碳汇林^[68]、森林^[56, 69]、湿地^[9, 47-48, 50, 53, 70]和湿地的具体分类 (如珊瑚礁^[51]、环礁湖^[52]、红树林^[49]、海岸^[45, 71]、湖泊^[38, 40, 57]、非湖泊湿地^[44]等) 以及生态系统服务集合^[12, 34, 55]等多方面; 此外, 在研究方法方面, 涉及聚焦单一评估方法 (如享乐价值法^[59-60]、条件价值评估法^[38, 47, 66, 72]等), 以及综合两种及以上方法 (包含旅行成本法、享乐价值法、条件价值评估法、重置成本法以及选择实验法等多种主流评估方法^[9, 12, 34, 37, 41, 50, 53, 55-58, 44]); 所有文献均明确划分研究对象所具备的休闲娱乐、淡水供给、水源涵养、防洪蓄水、生物栖息地等多维度价值。而且, 大部分文献表明, 评估对象面积、评估方法、受访者人均收入、是否发表等因素显著影响评估的价值。

现有 Meta 回归分析文献在生态系统服务价值评估以及评估价值的影响因素等方面提供了大量实证参考, 但相关研究没有聚焦环境脆弱且发展落后的中国内陆河流域。在中国流域生态环境治理制约因素中, 不仅包括现有文献普遍考虑的经济因素, 还包括诸多社会因素, 如祁毓等^[73]关注的社会资本和制度环境等。这些被忽略的社会因素往往难以量化而不易纳入模型, 因此, 有必要聚焦社会因素较为同质的中国内陆河流域进行研究。为此, 本文首次采用 Meta 回归分析评估中国内陆河流域的生态系统服务的经济价值, 且通过当前较为前沿的 $n-1$ 数据分割技术对 Meta 回归方程实施效益转移并进行检验。

2 研究区域概况

中国内陆河流域, 地处欧亚大陆腹地、青藏高原北侧, 远离海洋, 介于 $73^{\circ}40'E \sim 120^{\circ}03'E$ 、 $33^{\circ}09'N \sim 48^{\circ}N$, 流域覆盖面积 $250 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中山区面积为 $98 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占流域面积的 39.1%, 流域地形复杂, 地貌以高原和内陆盆地为主, 这对流域内降水量的空间分布具有较大影响^[74-75], 流域受西北带气候、高原季风和东亚季风等气候系统的影响, 气候复杂多变, 由于地处干旱半干旱地区、蒸发十分强烈, 水面蒸发量变化很大 (最高值大于 2400 mm, 最低值小于 700 mm)。除山区和北疆的伊犁、塔城等地区外, 大

部分地区的年降水量不足 200 mm, 水资源十分匮乏^[75]。

中国内陆河流域主要包括黑河、石羊河和塔里木河(水系)三大流域, 均位于西北地区。流域的总面积占国土总面积的 1/3, 但水资源仅占全国的 5.5%, 为世界上最干旱的地区之一, 水资源稀缺成为中国内陆河流域生态安全和经济发展面临的最大挑战^[76]。随着国家西部大开发和“一路一带”倡议的实施, 内陆河流域在中国西部资源开发和经济发展中的战略地位将愈发凸显。然而, 经济发展、人口增长和城市化进程加快必然使得需水量增加, 再加之全球气候变暖引发的近期北方蒸发量增大、降水量减少, 中国内陆河流域面临的水资源形势将更加严峻, 由此带来的生态环境问题也将更加突出^[77]。

3 研究方法 with 数据

3.1 研究方法

3.1.1 Meta 回归 Meta 分析是对已有研究结果的统计分析, 也是对具体问题的系统综述。在医学、教育学和社会科学的研究中, Meta 分析是其循证实践的重要组成部分。不同于其他学科, 在经济学中, Meta 分析几乎完全是 Meta 回归分析^[24], 其最初是为了纠正已知的方程设定偏差, 后来在计量经济学估计中流行开来^[78]。Meta 回归分析是多变量实证研究, 使用多元回归, 分析已有研究中回归估计值或回归估计值的转换形式(例如弹性, 生态系统服务价值或偏相关性)之间的变异。由于计量经济学通常是观测性的(非实验性的), 即使是最严格的计量经济学应用也不能消除所有潜在因素的影响。已有的大量 Meta 回归实证分析证明, 实证经济学研究的所有领域均出现方程设定偏差, 其中许多偏差都足以改变对有关现象的解释或对既定政策干预的评价^[24]。

Meta 回归模型的具体形式通常为:

$$y_i = \alpha + \beta_r X_{ri} + \beta_s X_{si} + \beta_c X_{ci} + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中: y_i 是待研究的效应值; i 表示第 i 个样本; β_r 、 β_s 、 β_c 分别为解释变量 X_{ri} (研究方法的特征)、 X_{si} (研究对象的特征)、 X_{ci} (研究背景的特征) 的系数向量; α 是常数向量; ε_i 是残差项。

3.1.2 效益转移 在生态环境价值评估实践中, 受限于时间和成本等因素, 研究者有时难以通过调研获取第一手价值评估资料, 而且, 有些价值评估由于调研成本与评估目的等因素并不一定需要通过调研来进行^[37]。因此, 学者们开始利用效益转移法, 尝试将研究地的价值转移到政策地^[79], 该方法不仅较为客观地综合已有研究成果进行分析, 而且在操作上与成本上具有优势。

效益转移通常有 3 种方法: 直接效益转移, 效益方程转移和 Meta 回归分析^[80-81], 基于 Meta 回归的效益转移不仅具有充分利用已有文献的优势, 而且在实际应用中也更为精确可靠^[81-83]。尽管, 基于 Meta 回归分析的效益转移是首选方法, 但它在以下情形中可能产生实质性的转移误差: ① Meta 回归中的初始数据不能很好地表征政策地的基本特征; ② 虚拟变量不能捕获变量的真实变异; ③ 不同研究之间质与量的差异难以捕获; ④ 初始文献的价值估计是错的^[80]。

为此, 本文将检验基于 Meta 回归效益转移方程的效益转移在中国内陆河流域生态系统服务价值评估中的适用性, 即模型样本外的预测能力^[50]。本文采用 $n-1$ 的数据分割技术, 得到 n 个 Meta 回归效益转移方程。每个 Meta 回归效益转移方程都是基于 $n-1$ 个样本量, 来预测 $n-1$ 之外的样本的价值。此外, 本文以 4 种不同的方式来探讨预测效益转移的

有效性^[64, 80, 84], 分别为: 使用两个 t 检验, 分别测试均值和相关性, 计算效益转移的绝对(百分比)误差, 以及对实际观测值和效益转移价值进行回归。

(1) 进行配对 t 检验, 效益转移价值的均值是否与实际观测值的均值显著不同。零假设为: $H_0: 1/n \sum_{i=1}^n (y_i - \widehat{y}_i) = 0$, 即平均来说, 效益转移价值与实际观测值之间没有差异。如果 t 检验的 p 值小于显著水平, 则拒绝零假设, 说明 Meta 回归没有统计学意义。

(2) 进行另一个 t 检验来分析 Pearson 相关系数的显著性。Pearson 相关系数 $r \in [-1, 1]$ 用来测量两个渐近正态分布变量的线性相关性, 若 r 为一个较大的正值, 则表明效益转移价值和实际观测到的价值之间具有较强的线性相关性。该 t 检验的零假设为: $H_0: r(y_i, \widehat{y}_i) = 0$ 。如果 p 值显著, 则拒绝零假设, 说明两个值之间有显著的相关性。

(3) 通过计算绝对误差和均值绝对误差来评估效益转移的质量。其定义为: $MAPE = 1/n \sum_{i=1}^n |(y_i - \widehat{y}_i)/y_i|$, 通常用于判断 Meta 回归效益转移方程的平均预测能力^[50]。

(4) 通过普通最小二乘 (OLS) 回归模型, 研究实际观测到的价值与效益转移价值的线性关系:

$$\ln(y_i) = \alpha + \beta \ln(\widehat{y}_i) + \varepsilon_i \quad (2)$$

在 Meta 回归效益转移方程完全预测的情况下, 式 (2) 中的参数: $\alpha = 0$ 和 $\beta = 1$ 。采用标准 t 检验来检验零假设 $\alpha = 0$, 用 F 检验来检验零假设 $\beta = 1$ 。如果 p 值小于显著水平, 则拒绝零假设, 说明效益转移是有偏倚的。

3.2 数据来源

Meta 分析的第一步是精确提供有效且可比的现有生态系统服务价值评估^[9]。本文的数据检索来源包括: 中国知网 (CNKI)、Web of Science 和 Google Scholar。在 2017 年 2 月 24 日, 采用多种关键词进行检索: “支付意愿” “受偿意愿” “willingness to pay” 或 “WTP” “willingness to accept” 或 “WTA”, 再结合以黑河、石羊河、塔里木河及其支流等中国内陆河名称^①。

基于文献检索, 设定了文献选择的标准: ① 使用陈述偏好法进行评估, 包括条件价值评估法 (CVM) 和选择实验法 (CE); ② 评估的是流域生态系统服务价值; ③ 评估单一或多个流域生态系统服务的价值; ④ 评估对象位于中国内陆河流域; ⑤ 报告了评估对象的面积等信息或这些信息可以从其他来源获取; ⑥ 撰写语言为中文或英文。需要说明的是, 在所有文献中, 已发表和未发表的文献均包括在内。参照当前 Meta 分析的常规做法^[24-25, 27-28], 期刊论文归为发表文献, 其他均归为“灰色”文献, 具体包括工作论文、学术报告以及硕士论文和博士论文。

经进一步文献筛选, 符合相关文献检索标准的文献共计 22 篇。然而, 在实际统计中, 关于受偿意愿的文献仅有 2 篇 (共析出两个样本), 若作为变量纳入模型可能会因为变异不足而无法有效估计, 故未将这两篇文献并入 Meta 数据库。因此, 本文编制了 20 篇文献的 Meta 数据库, 共包括 111 个观测样本可供进行接下来的 Meta 回归与效益转移。

在这些中国内陆河流域生态系统服务价值评估的研究中, 最早的是徐中民等^[96]使用支付卡式的条件价值评估方法 (PC-CVM) 对黑河流域下游额济纳旗的生态系统恢复进行总经济价值评估, 最近的文献是徐涛等使用选择实验法 (CE) 对黑河流域生态系统恢复进行的价值评估。Meta 数据库中包含黑河、石羊河以及塔里木河等 3 条中国内陆河 (图 1), 涵盖甘肃、内蒙古和新疆等 3 个地区 (省或自治区), 具体特征详如表 1 所示。

① 来源于中国数字科技馆—内陆河: http://amuseum.cdstm.cn/AMuseum/innerriver/nlhfb_nlh_1.html。

Meta 数据库中的内陆河流域生态系统呈多样化。最小的流域生态系统是位于黑河支流北大河中游的甘肃省酒泉市花城湖湿地, 占地 867 hm²; 最大的流域生态系统是塔里木河流域, 占地 102 万 hm²; 流域生态系统占地面积的中位数为 6 万 hm²。流域生态系统服务价值的均值为每年每户 257.66 元 (2016 年价格, 同下), 中位数为每年每户 79.84 元。如预期, 不同文献、不同流域和估价方法的生态系统服务价值差异较为明显。因此, 有必要进行 Meta 回归分析。

3.3 变量选取

在本文的 Meta 回归中, 被解释变量是中国内陆河流域生态系统服务的评估价值。在现有关于生态系统服务价值评估的 Meta 分析文献中, 由于包含生产要素收入净额法 (Net Factor Income)、机会成本法 (Opportunity Cost)、重置成本法 (Replacement

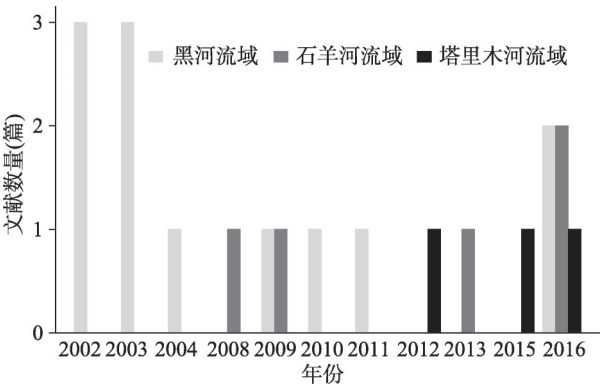


图 1 发表文献数量的时间与流域分布
Fig. 1 Number of studies by year and basin

表 1 Meta 回归文献的特征
Tab. 1 Studies included in the meta-regression

引用文献	样本	地区	流域	使用方法	调整价值(元)
Ahlheim 等 ^[85]	1	新疆	塔里木河	CVM-二分式	1284.00
Tang 等 ^[86]	1	甘肃	石羊河	CVM-二分式	1031.97
陈东景等 ^[87]	16	内蒙	黑河	CVM-支付卡式	47.40~75.73
樊辉等 ^[88]	1	甘肃	石羊河	CE	117.56
樊辉等 ^[89]	8	甘肃	石羊河	CE	86.73~456.93
李青等 ^[22]	6	新疆	塔里木河	CVM-支付卡式	1112.61~1807.15
乔旭宁等 ^[90]	31	新疆	塔里木河	CVM-支付卡式	17.34~199.21
尚海洋 ^[91]	1	甘肃	黑河	CVM-支付卡式	13.26
石惠春等 ^[92]	1	甘肃	石羊河	CVM-支付卡式	70.84
唐增 ^[93]	1	甘肃	黑河	CVM-二分式	1201.21
王小鹏等 ^[94]	1	甘肃	黑河	CVM-支付卡式	356.02
徐涛等 ^[95]	6	甘肃、内蒙	黑河	CE	42.08~124.59
徐中民等 ^[96]	1	内蒙	黑河	CVM-支付卡式	60.67
徐中民等 ^[97]	3	内蒙	黑河	CVM-支付卡式	44.88~56.14
徐中民等 ^[16]	25	内蒙	黑河	CVM-开放式	29.24~259.48
徐中民等 ^[17]	2	内蒙	黑河	CE	118.01~283.32
尹小娟等 ^[98]	1	甘肃	黑河	CVM-支付卡式	78.88
张大鹏等 ^[99]	1	甘肃	石羊河	CVM-支付卡式	147.43
张志强等 ^[15]	2	甘肃	黑河	CVM-支付卡式	74.63~79.84
张志强等 ^[100]	2	甘肃	黑河	CVM-二分式	225.21~252.26

注: CVM 与 CE 分别表示条件价值评估法和选择实验法; 调整价值是通过居民消费价格指数 (CPI) 统一调整至可比较的度量^[50, 53, 71], 以 2016 年人民币计。

Cost) 与市场价格法 (Market Prices) 等无法获取支付意愿的诸多方法, 研究往往无法将评估价值标准化为每人 (或每户) 的支付意愿^[50], 而不得不引入 Meta 数据库以外的数据 (如年鉴) 转化为单位面积的价值。然而, 本文聚焦的是陈述偏好法, 且 Meta 数据库中的研究均为支付意愿, 故本文采用初始数据中大量使用的户均支付意愿的形式。这样做的好处有: 不仅能避免引入外部数据、减少因再次计算而带来的偏差, 还能立足于陈述偏好法的理论基础 (效用最大化理论与随机效用理论的决策单元均为理性个体), 使研究结论具备更直接的经济学含义。

此外, 在条件价值评估法得出的结果通常表示为平均值, 而选择实验的结果表示为边际值。如果现状选项属于选择实验的可选方案, 且边际值是基于现状的, 可将边际值视为平均值^[80]。但由于 Meta 回归数据库中的平均值与边际值的差异较大, 若将二者近似等同会产生较大偏差, 故在处理边际值时, 采用现状至最佳状况的货币化价值, 即此时的评估价值为: 现状改善至最佳状态某属性的水平差值与边际值的乘积。

如前所述, Meta 回归方程中的解释变量一般包括评估方法的特征、研究对象的特征、研究地域的特征等。文本结合陈述偏好法在生态系统服务价值评估研究中的各个环节 (图 2), 将解释变量进一步拓展并细化, 具体划分为以下 4 类:

(1) 研究对象的特征。已有研究中尽管相关研究对象特征的划分存在多样性^[9, 21, 40, 42], 但基本依据千年价值评估 (MA) 的分类方法, 即生态系统服务划分为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务。由于近年来千年价值评估的分类体系受到很多质疑^[101-103], 本文依据欧洲环境署 Haines-Young 等所倡导建立的生态系统服务国际通行分类, 使得生态系统服务的划分既无重叠亦无冗余^[103]。具体来说, 本文将内陆河流域生态系统服务划分为三大类: 供给服务 (Provsioning Services)、调节与维护 (Regulating and Maintenance Services)、文化服务 (Cultural Services)。此外, 本文还加入流域类别 (黑河、石羊河和塔里木河)、流域位置 (上游、中游和下游) 以及流域生态系统占地面积等已有研究中普遍采用的变量作为研究对象的特征变量。

(2) 受访者的特征。该特征是针对本文所研究的陈述偏好法而设定的, 由于陈述偏好法基于对受访者的问卷调查, 受访者的社会人口特征不同所评估的价值 (货币化的公众福利) 也各异。现有文献中, 大量研究纳入了受访者性别、年龄、受教育程度以及收入等影响因素^[98, 104-106], 此外, 近年来越来越多的研究开始关注空间异质性的问题^[89, 107-109]。因此, 结合 Meta 回归数据库的实际情况, 选取了每个样本受访者的男性比、年龄、受教育年限、家庭收入, 以及受访者在流域的位置, 即上游、中游和下游等 3 个虚拟变量。

(3) 测度方法的特征。如前所述, 陈述偏好法包含条件价值评估法和选择实验法, 其中, 条件价值评估法运用较早也较为普遍, 具体包括投标博弈 (Biding)、开放式 (Opened)、支付卡式 (Payment Card) 以及当前较为前沿的二分式 (Dichotomous)。依据 Meta 回归数据库的实际情况, 本文选取支付卡式条件价值评估法、开放式条件价值评估法、选择实验法等 3 个虚拟变量。

(4) 撰写发表的特征。发表偏差已成为 Meta 分析研究中公认的问题^[110], 本文为此设

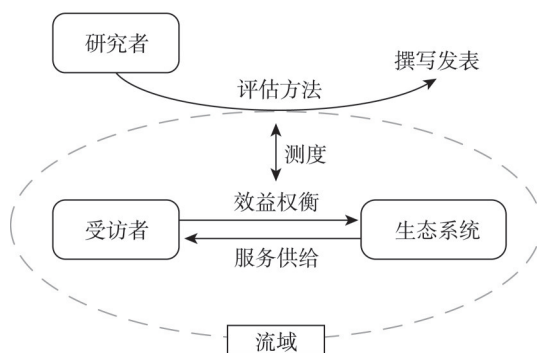


图2 流域生态服务价值评估研究示意图

Fig. 2 Research process of payment for ecosystem

置期刊文献这一虚拟变量对其进行表征。此外，由于发表时间反映了文献的时代特征，体现出当时的主要观点、思想等因素^[31]，本文还加入了发表时间这一变量。

上述变量的基本特征如表2所示。

3.4 参数估计

为了提高估计结果的质量^[9, 40, 47]，本文被解释变量采用取自然对数的形式。这使得本文的半对数线性模型为：

表2 变量定义与描述性统计
Tab. 2 Variable definitions and descriptive statistics

变量	解释	均值	标准误
被解释变量			
评估价值	受访者每年户均支付意愿(元)，以2016年人民币计	207.68	34.27
解释变量			
研究对象特征			
供给	评估的服务是否包含供给服务：是=1，否=0	0.92	0.03
调节与维护	评估的服务是否包含调节与维护服务：是=1，否=0	0.88	0.03
文化	评估的服务是否包含文化服务：是=1，否=0	0.87	0.03
石羊河	评估的流域是否为石羊河流域：是=1，否=0	0.11	0.03
塔里木河	评估的流域是否为塔里木河流域：是=1，否=0	0.34	0.05
上游	评估的生态系统是否包含上游：是=1，否=0	0.44	0.05
中游	评估的生态系统是否包含中游：是=1，否=0	0.51	0.05
下游	评估的生态系统是否包含下游：是=1，否=0	0.87	0.03
面积	评估的生态系统面积(万 hm ²)	12.20	2.23
受访者特征			
性别	受访者的男性占比	0.69	0.01
年龄	受访者实际周岁	34.58	0.52
受教育程度	受访者的受教育层次：小学及以下=1；初中=2；高中=3；大学及以上=4	2.89	0.05
家庭收入	受访者的家庭年收入(万元)	2.09	0.20
上游受访者	受访者是否包含上游居民：是=1，否=0	0.89	0.03
中游受访者	受访者是否包含中游居民：是=1，否=0	0.93	0.02
下游受访者	受访者是否包含下游居民：是=1，否=0	0.90	0.03
测度方法特征			
支付卡式	评估的方法是否采用支付卡式CVM：是=1，否=0	0.58	0.05
开放式	评估的方法是否采用开放式CVM：是=1，否=0	0.17	0.04
选择实验	评估的方法是否采用选择实验法：是=1，否=0	0.15	0.03
撰写发表特征			
期刊	文献是否为公开发表的期刊论文：是=1，否=0	0.94	0.02
发表年份	文献公开发表时间，以2001年为基年	7.54	0.52

注：价值为每年户均价值，在部分文献中的每年人均或每月户均已转化为每年户均；有少部分解释变量为缺失值，由于样本量限制，未予以删除而采用均值进行填补；研究对象的特征变量（供给功能、调节和维护功能、文化功能；上游、中游、下游等流域位置）、受访者特征（上游受访者、中游受访者、下游受访者）等变量由于在单个研究中并非相互排斥，例如可以同时评估整个流域生态系统服务价值，故在变量设置时，并未采用 $n-1$ 个虚拟变量；在测度方法特征变量中，以当前较为前沿的二分式条件价值评估法作为对照组，由于本文所搜集的文献中并未出现投标博弈条件价值评估法，故未出现在变量中；在发表年份变量中，对于“灰色”文献，为其撰写完成时间或报告时间。

$$\ln(y_i) = \alpha + \beta_O X_{Oi} + \beta_R X_{Ri} + \beta_M X_{Mi} + \beta_P X_{Pi} + \varepsilon_i \quad (3)$$

式中: $\ln(y_i)$ 是生态系统服务价值的自然对数形式; i 表示第 i 个价值评估样本; 解释变量 X_{Oi} 、 X_{Ri} 、 X_{Mi} 、 X_{Pi} 分别为研究对象的特征、受访者的特征、测度方法的特征和撰写发表的特征; β_O 、 β_R 、 β_M 、 β_P 分别为解释变量的系数向量; α 是常数向量; ε_i 是残差项。

在 Meta 回归中, 加权回归模型、面板模型或多层线性模型通常用于解释单个研究效应^[27]。由于本文 Meta 回归数据库中单个研究内解释评估价值差异的变动不足, 面板模型或多层次模型并不适合本文的数据库^[80]。因此, 本文使用加权最小二乘法 (WLS) 估计, 相较于已有 Meta 回归分析较多采用的最小二乘法 (OLS), 使用加权最小二乘法可有效避免可能存在的有偏估计^[9]。在权重设置方面, Hedges 等^[111]表明方差的倒数是最优权重, 即在理想情况下, 更高精度的估值应该被赋予更大的权重。然而, 与已有大部分相关文献类似, 本文的 Meta 回归数据库中鲜有文献报告了评估价值的标准误, 为此, 本文依据 Stanley 等^[112]的建议, 使用样本量平方根的倒数来替代估计的标准误。

4 结果分析

4.1 Meta 回归

本文采用 Stata14 软件运行 Meta 回归模型, 结果如表 3 所示。模型 1 是纳入所有变量的加权最小二乘法的估计结果。 F 统计量通过了检验, 调整 R^2 为 0.836, 说明 Meta 回归模型能解释生态系统服务价值的 83.6% 的变异, 总体来说具有较好的拟合优度。为了探索结果的稳健性, 本文采用“一般到具体”(General-to-specific) 的建模策略^[9, 24]。本文删除了在模型 1 中 p 值大于 0.3 的两个变量得到模型 2。尽管模型 2 具有较高的 F 统计值和调整 R^2 , 但 F 检验证明被删除的变量并非是冗余的 ($F = 7.32$, $p = 0.001$)。此外, 对比两个模型的估计结果, 所有系数的方向一致、大小和显著性也基本一致, 说明本文所采用的模型具有较好稳健性。由于未通过删除两个变量的 F 检验, 以下主要依据模型 1 进行变量解释以及后续的效益转移估计。

在模型中, 研究对象特征的所有变量均显著。供给服务、调节和维护服务对支付意愿具有显著正向影响, 这说明在中国内陆河流域生态系统中若存在供给服务、调节和维护服务倾向于获得更高的评估价值。文化服务具有显著负向影响, 相较于其他服务, 文化服务对支付意愿的影响恰好相反, 该结论与张玲等^[40]在研究中国湖沼湿地生态系统服务价值的研究结论相反。可能的原因是: 与张玲等^[40]的研究区域不同, 本文聚焦的中国内陆河流域当前经济发展较为落后, 公众对生态系统的文化服务的需求弹性较大, 即当地公众对最基本食物和能源等物质供给需求最大, 而较少关注文化休闲等主观需求^[113]。与之类似, Chaikumbung 等^[9]在研究落后发展中国家的湿地生态系统价值评估中也出现文化服务对支付意愿为显著负向影响的结果。

生态系统所在的流域类别均正向显著, 石羊河和塔里木河所评估的生态系统服务价值均显著高于黑河, 从均值也可看出, 石羊河和塔里木河的生态系统服务平均价值分别为 265.24 元和 342.63 元, 而黑河流域的平均价值仅为 112.30 元。这表明, 若其他条件保持不变, 使用陈述偏好法评估中国内陆河流域生态系统服务价值, 石羊河和塔里木河得到的每年户均支付意愿要高于黑河。同理, 上游生态系统具有显著正向影响, 这说明包含流域上游生态系统的研究更倾向于获得较高的支付意愿。但中游和下游生态系统均显著为负, 可能的原因是: 在中国内陆河流域, 上游一般属于是生态保护良好的山地, 而中下游集中了流域大部分的城市和人口, 因而受访者对中下游这种受到人类活动影响较

表3 Meta回归模型结果
Tab. 3 Results of meta-regression by models

变量	模型1		模型2	
	非标准化系数	标准误	非标准化系数	标准误
常数项	6.382***	0.809	6.350***	0.643
研究对象特征				
供给	0.551***	0.187	0.549***	0.185
调节与维护	0.555***	0.185	0.554***	0.183
文化	-0.765***	0.186	-0.763***	0.184
石羊河	1.389**	0.333	0.820**	0.326
塔里木河	0.819*	0.524	0.925*	0.510
上游	7.128***	1.619	7.224***	1.575
中游	-5.396***	1.159	-5.473***	1.122
下游	-5.661***	1.139	-5.685***	1.104
面积	0.023***	0.005	0.023***	0.005
受访者特征				
性别	0.055	0.517		
年龄	-0.003	0.009		
受教育程度	0.095	0.080	0.095	0.079
家庭收入	0.301**	0.116	0.307***	0.114
上游	-7.475***	1.610	-7.567***	1.568
中游	5.290***	1.154	5.366***	1.119
下游	5.086***	1.166	5.164***	1.130
测度方法特征				
支付卡式	-1.485***	0.159	-1.489***	0.157
开放式	-1.437***	0.173	-1.440***	0.170
选择实验	-0.446	0.329	-0.457	0.323
撰写发表特征				
发表年份	-0.252***	0.070	-0.256***	0.067
期刊	1.291***	0.346	1.285***	0.332
F统计量	26.06		29.44	
调整R ²	0.836		0.840	
样本量	111		111	

注：*、**、***分别表示在0.1、0.05、0.01的显著性水平上显著。

大生态系统服务的支付意愿较小。面积对内陆河流域生态系统服务价值具有显著正向影响，这和已有文献的结论一致，如张玲等^[40]、Chaikumbung等^[9]。

本文受访者特征中的性别不显著，这与董冬等^[104]、周晨等^[105]、何可等^[106]等研究结论一致；年龄和受教育程度的作用方向符合常理但并不显著，这与以上文献的研究结论不一致，但和尹小娟等^[98]的结论相同，这可能是由于本文和尹小娟等^[98]的研究区域均为中国内陆河流域，具有独特的社会经济与文化背景，在置于更大范围的研究中（如中国），这些特征很容易受到其他地区同类特征的主导而无法显现在模型估计中。这在一定程度上进一步支持本文聚焦中国西北内陆河流域的重要意义。家庭收入具有显著的正向影响，这符合常理且与已有研究结论一致。此外，文献是否包含上游、中游以及下游的受

访者对中国内陆河流域生态系统服务价值评估也均具有显著影响,且影响方向刚好与上述的生态系统所在流域上中下游位置变量的方向相反,其原因可能是由于中下游的生态系统受到人类活动影响较大,该地的受访者对于自然生态系统的诉求更强烈而具有更高支付意愿。

在测度方法特征中,相对于支付卡式和开放式条件价值评估法,二分式条件价值评估法得到的支付意愿显著较高。许多学者均认为,二分式条件价值评估法比其他的条件价值评估法更具有激励性,特别是在非使用价值的评估中^[114-116],这与本文中二分式条件价值评估法得到的价值较高的结论相一致。此外,通过二分式条件价值评估法测度的支付意愿与选择实验法相比并无显著差异,可能的原因是:二者均为当前较为前沿的陈述偏好法,其测度的价值均趋近于真实值。

撰写发表特征中的发表年份变量具有显著负向影响,这表明中国内陆河流域生态系统服务价值每年下降2%~3%,原因可能是偏好在随时间改变,受访者为内陆河流域生态系统服务的付费意愿在降低,也可能是因为最有价值的生态系统在早前已经被评估了^[48, 117],还有,Lehrer^[118]认为可能的原因是较早的研究仅为了发表,后来的研究则使用更为精确的估计,从而造成一种随时间推移的“衰减效应”。但这个数值比 Chaikumbung 等^[9]得出的10%~13%要小,可能是由于研究区域的差异。此外,期刊变量具有显著正向影响,这说明期刊文献上所评估的价值相比其他文献显著较高,这与 Enjolra 等^[52]和 Chaikumbung 等^[9]的研究结论相反。再进一步将价值和价值的自然对数与期刊的影响因子进行 Pearson 相关分析发现,相关系数分别为0.047 (p 值为0.638)和0.005 (p 值为0.960)。

4.2 效益转移

运用 Stata14 软件,采用 $n-1$ 数据分割技术,本文得出基于 Meta 回归效益转移方程式 (3) 的效益转移结果。从图3可看出,由完整样本交互效应的模型1得到的效益转移价值(预测值),和实际观测价值(样本值)具有相同的变化趋势。表4中显示了有关效益转移质量的信息(左栏)。Meta 回归效益转移方程的调整 R^2 为0.699,效益转移价值和实际观测价值之间的差异均值(-29.65元)

并不显著为0。此外,均值和中位数绝对误差之间的差异并不十分明显(最大百分比误差为470%,约为中位数百分比误差的10倍,低于 Sundt 等^[53]的40倍差距)。

图4展示的是 Meta 回归方程对黑河流域的效益转移价值和实际观测价值,但效益转移方程的总体表现相较全样本稍有下降(表4、图3)。相较于图3,图4中效益转移价值变化相对较小。黑河流域 Meta 回归效益转移方程的调整 R^2 是0.552,均值和中位数绝对效益转移误差分别是41.12元、18.37元,均值和中位数百分比效益转移误差是38%,27%。此误差与 Salem 等^[54]、Sundt 等^[80]的研究结果相近,且低于大多已有研究结果,如 Brander 等^[50]的研究中均值绝对误差为58%,Brander 等^[119]则为186%,Brouwer^[120]的研究为85%,Enjolras 等^[52]的为87%。故本文所得误差介于已有研究的误差范围内,是可以接受的。

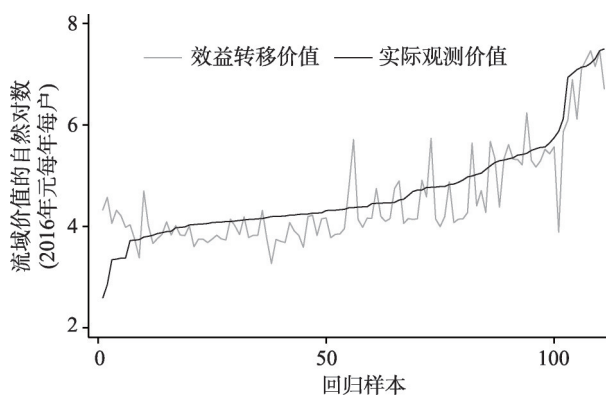


图3 全样本的流域生态系统价值效益转移

Fig. 3 Value transfer for full sample

表4 Meta回归效益转移的质量
Tab. 4 Quality of value transfer

交叉检验技术		基于模型1交互效应模型	
		全样本	黑河流域
效益转移均值		168.25	87.88
效益转移方程的调整R ²		0.699	0.552
差异均值(效益转移价值-实际观测价值)		-29.65	-22.08
Pearson相关系数		0.837 (<i>p</i> = 0.000)	0.788 (<i>p</i> = 0.000)
绝对误差	均值	65.71	41.12
	中位数	25.62	18.37
百分比误差(%)	均值	45.50	38.01
	中位数	30.11	27.12
$\ln(y_i) = \alpha + \beta \ln(\overline{y_i}) + \varepsilon_i$	$\alpha = 0$	接受	接受
	$\beta = 1$	接受	接受
效益转移样本量		110	60

注： $\alpha=0$ 表示系数并非显著不为0, $\beta=1$ 表示系数并非显著不为1;均值差异、绝对误差的单位为元(以2016年计);效益转移样本量并未达到原本所有样本量,是因为在数据分割技术运行模型时,个别样本无法估计。

5 结论与讨论

5.1 结论

(1) 研究对象特征在中国内陆河流域生态系统价值评估中具有显著影响,包含供给服务、调节和维护服务的流域生态系统倾向于获得更高价值,包含文化服务的流域生态系统则相反;石羊河和塔里木河所评估的价值高于黑河;此外,评估对象所在上、中、下游位置以及面积对价值评估均有显著影响。

(2) 受访者特征在价值评估中具有显著影响,受访者家庭收入越高所评估的价值越高,受访者包含流域上游居民倾向于获得更低的评估价值,受访者包含流域中游或下游居民则反之。

(3) 测度方法特征在价值评估中具有显著影响,相较于支付卡式和开放式条件价值评估法,采用二分式条件价值评估法倾向于获得更高评估价值;而二分式条件价值评估法与选择实验法获得的价值无显著差异。

(4) 撰写发表特征在价值评估中具有显著影响,中国内陆河流域生态系统服务价值随时间推移具有“衰减效应”,每年下降2%~3%。此外,期刊文献所评估的价值显著高于其他文献。

(5) Meta回归方程结果运用到样本外效益转移中,得到均值和中位数效益转移误差分别为38.01%、27.12%,相较于现有研究,该结果处于可接受范围。

5.2 讨论

(1) Meta分析在中国经济学中的应用才刚刚起步,尤其在资源环境经济学方面。本

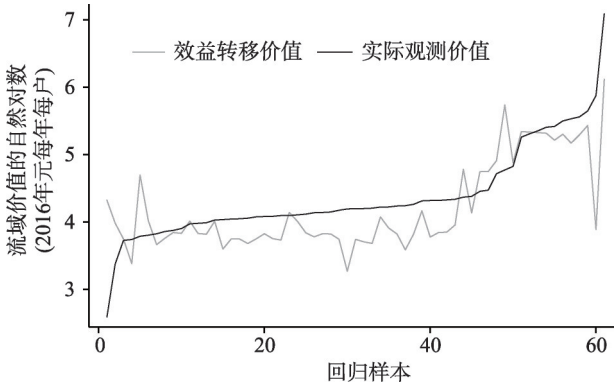


图4 黑河流域生态系统价值效益转移
Fig. 4 Value transfer for restricted sample

文综合已有文献, 分析了21个具体变量在陈述偏好法评估中国内陆河流域生态系统服务价值中的作用关系, 这不仅拓展了Meta回归分析在中国经济学方面的应用, 也为中国内陆河流域的价值评估研究提供了归纳总结, 可作为该地区后续相关价值评估研究的借鉴。

(2) 此外, 本文中Meta回归效益转移方程的误差低于大多已有的Meta研究, 这说明Meta回归效益转移在中国内陆河流域生态系统服务价值评估中具有适用性, 这也为中国内陆河流域管理政策的发展和分析提供了低成本的政策工具。尽管如此, 我们保有和Chaikumbung等^[9]相似的态度, 即: 跨越不同空间、时间或其他维度进行效益转移, 仍需十分谨慎。

(3) 当然, 本文尚有一些不足: 本文和当前绝大部分Meta回归研究一样, 纳入了较多虚拟变量, 这可能会无法充分捕获生态系统服务提供的质量和数量差异, 从而影响Meta回归的结果。另外, 本文限于样本量, 未对单个研究的多个样本进行群组分析, 这样也可能在一定程度上对研究结果存在影响。

参考文献(References)

- [1] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being. Washington DC: Island Press, 2005.
- [2] Barbier E B, Acreman M, Knowler D. Economic Valuation of Wetlands: A Guide for Policy Makers and Planners. Gland: Ramsar Convention Bureau, 1997.
- [3] Bassi N, Kumar M D, Sharma A, et al. Status of wetlands in India: A review of extent, ecosystem benefits, threats and management strategies. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2014, 2: 1-19.
- [4] Zhao B, Li B, Zhong Y, et al. Estimation of ecological service values of wetlands in Shanghai, China. Chinese Geographical Science, 2005, 15(2): 151.
- [5] Turner R K, van den Bergh J C J M, Söderqvist T, et al. Ecological-economic analysis of wetlands: Scientific integration for management and policy. Ecological Economics, 2000, 35(1): 7-23.
- [6] Liu J, Diamond J. China's environment in a globalizing world: How China and the rest of the world affect each other. Nature, 2005, 435(7046): 1179-1186.
- [7] Kolstad C D. Environmental Economics. New York: Oxford University Press, 2000.
- [8] Kneese, A V. Measuring the Benefits of Clean Air and Water. New York: RFF Press, 2011.
- [9] Chaikumbung M, Doucouliagos H, Scarborough H. The economic value of wetlands in developing countries: A meta-regression analysis. Ecological Economics, 2016, 124: 164-174.
- [10] Pan Jiahua. Economic Analysis on Sustainable Development. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2007. [潘家华. 持续发展途径的经济学分析. 北京: 社会科学文献出版社, 2007.]
- [11] Adamowicz W, Boxall P, Williams M, et al. Stated preference approaches for measuring passive use values: Choice experiments and contingent valuation. American Journal of Agricultural Economics, 1998, 80(1): 64-75.
- [12] Groot R D, Brander L, Ploeg S V D, et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. Ecosystem Services, 2012, 1(1): 50-61.
- [13] Chen Yongwei, Chen Lizhong. Pricing for clean air: Empirical evidence from Qingdao in China. The Journal of World Economy, 2012, 35(4): 140-160. [陈永伟, 陈立中. 为清洁空气定价: 来自中国青岛的经验证据. 世界经济, 2012, 35(4): 140-160.]
- [14] Zhou Yingmei. Preliminary assessment on value of tourism landscape in the Qinghai Lake. Tourism Tribune, 1992, 7(5): 8-10, 56. [周映梅. 青海湖旅游景观价值初评. 旅游学刊, 1992, 7(5): 8-10, 56.]
- [15] Zhang Zhiqiang, Xu Zhongmin, Cheng Guodong, et al. Contingent valuation of the economic benefits of restoring ecosystem services of Zhangye prefecture of Heihe River basin. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(6): 885-893. [张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 黑河流域张掖地区生态系统服务恢复的条件价值评估. 生态学报, 2002, 22(6): 885-893.]
- [16] Xu Zhongmin, Zhang Zhiqiang, Long Aihua, et al. Choice modeling and its potential application to ecosystem management and preservation: Taking Ejina Banner as an example. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(3): 398-405. [徐中民, 张志强, 龙爱华, 等. 环境选择模型在生态系统管理中的应用: 以黑河流域额济纳旗为例. 地理学报, 2003, 58(3): 398-405.]
- [17] Xu Zhongmin, Zhang Zhiqiang, Long Aihua, et al. Comparison and application of different contingent valuation

- methods in measuring total economic value of restoring Ejina Banner's ecosystem services. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1841-1850. [徐中民, 张志强, 龙爱华, 等. 额济纳旗生态系统服务恢复价值评估方法的比较与应用. *生态学报*, 2003, 23(9): 1841-1850.]
- [18] Su Xiaoling, Kang Shaozhong, Tong Ling. A dynamic evaluation method and its application for the ecosystem service value of inland river basin: A case study on Shiyanghe River basin in Hexi Corridor of Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 2011-2019. [粟晓玲, 康绍忠, 佟玲. 内陆河流域生态系统服务价值的动态估算方法与应用: 以甘肃河西走廊石羊河流域为例. *生态学报*, 2006, 26(6): 2011-2019.]
- [19] Chen Kelong, Li Shuangcheng, Zhou Qiaofu, et al. Analyzing dynamics of ecosystem service values based on variations of landscape patterns in Qinghai Lake area in recent 25 years. *Resources Science*, 2008, 30(2): 274-280. [陈克龙, 李双成, 周巧富, 等. 近 25 年来青海湖流域景观结构动态变化及其对生态系统服务功能的影响. *资源科学*, 2008, 30(2): 274-280.]
- [20] Shi Huichun, Wang Fang, Bai Yufen, et al. Evaluation of the ecosystem service's function in the lower reaches of the Shiyang River, Gansu. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(6): 1195-1200. [石惠春, 王芳, 柏玉芬, 等. 石羊河流域下游生态系统服务功能价值的评估. *冰川冻土*, 2009, 31(6): 1195-1200.]
- [21] Zhang Hao, Wang Li, Kong Dongsheng. Evaluation on the value of flood adjust function and water supply function of the Heihe Wetland National Nature Reserve in Zhangye. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(10): 152-157. [张灏, 王立, 孔东升. 黑河湿地自然保护区调洪蓄水与提供水源功能价值评估. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(10): 152-157.]
- [22] Li Qing, Xue Zhen, Chen Hongmei, et al. Cognitive ecology and payment decision-making behavior based on the theory of CVM in the Tarim River Basin. *Resources Science*, 2016, 38(6): 1075-1087. [李青, 薛珍, 陈红梅, 等. 基于 CVM 理论的塔里木河流域居民生态认知及支付决策行为研究. *资源科学*, 2016, 38(6): 1075-1087.]
- [23] Tan Qiucheng. Eco-compensation standard and mechanism. *China Population, Resources and Environment*, 2009, 19(6): 1-6. [谭秋成. 关于生态补偿标准和机制. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(6): 1-6.]
- [24] Stanley T D, Doucouliagos H. *Meta-regression Analysis in Economics and Business*. New York: Routledge, 2012.
- [25] Cooper H, Hedges L V, Valentine J C. *Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis*. Thousand Oaks: Sage, 2009.
- [26] Stewart L A, Clarke M, Rovers M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analyses of individual participant data: The PRISMA-IPD Statement. *Journal of the American Medical Association*, 2015, 313(16): 1657-1665.
- [27] Nelson J P, Kennedy P E. The use (and abuse) of meta-analysis in environmental and natural resource economics: An assessment. *Environmental and Resource Economics*, 2009, 42(3): 345-377.
- [28] Higgins J, Green S. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0*. Oxford: The Cochrane Collaboration, 2011.
- [29] Stanley T D, Doucouliagos H, Giles M, et al. Meta-analysis of economics research reporting guidelines. *Journal of Economic Surveys*, 2013, 27(2): 390-394.
- [30] Pigott T D. *Advances in Meta-Analysis*. New York: Springer, 2012.
- [31] Peng Yuchao, Gu Leilei. Meta-analysis in economics. *Economic Perspectives*, 2014(2): 126-131. [彭俞超, 顾雷雷. 经济学中的 META 回归分析. *经济学动态*, 2014(2): 126-131.]
- [32] Shamseer L, Moher D, Clarke M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: Elaboration and explanation. *British Medical Journal*, 2015, 349(1): 7647-7647.
- [33] Gurevitch J, Koricheva J, Nakagawa S, et al. Meta-analysis and the science of research synthesis. *Nature*, 2018, 555(7695): 175-182.
- [34] Quintas-Soriano C, Martín-López B, Santos-Martín F, et al. Ecosystem services values in Spain: A meta-analysis. *Environmental Science and Policy*, 2016, 55(2): 186-195.
- [35] Perino G, Andrews B, Kontoleon A, et al. The value of urban green space in Britain: A methodological framework for spatially referenced benefit transfer. *Environmental and Resource Economics*, 2014, 57(2): 251-272.
- [36] Houtven G V, Powers J, Pattanayak S K. Valuing water quality improvements in the United States using meta-analysis: Is the glass half-full or half-empty for national policy analysis? *Resource and Energy Economics*, 2007, 29(3): 206-228.
- [37] Zhao Ling, Wang Erda. An empirical study of meta-regression benefit transfer of natural resources. *Resources Science*, 2011, 33(1): 31-40. [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. *资源科学*, 2011, 33(1): 31-40.]

- [38] Lu Ying. Ecological service value evaluation of water quality improvement of Dianchi Lake. *Resource Development and Market*, 2013, 29(3): 277-279. [卢英. 滇池水质改良的生态服务价值评价. *资源开发与市场*, 2013, 29(3): 277-279.]
- [39] 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. [赵玲, 王尔大. 基于价值转移方法的我国游憩活动价值评价. *旅游科学*, 2013, 27(4): 47-60.]
- [40] 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. [张玲, 李小娟, 周德民, 等. 基于 Meta 分析的中国湖泊湿地生态系统服务价值转移研究. *生态学报*, 2015, 35(16): 5507-5517.]
- [41] Hou Jingbo, Wu Jian, Yu Ze. Reassessment of the studies on biodiversity valuation: Inspired by Meta-analysis. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2016, 32(1): 143-149. [周景博, 吴健, 于泽. 生物多样性价值研究再评估: 基于 Meta 分析的启示. *生态与农村环境学报*, 2016, 32(1): 143-149.]
- [42] Zhang Yaxin, Liu Ya, Zhu Wenbo, et al. Ecosystem service valuation and value transfer of land use types: A comprehensive meta-analysis of the literature. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2016, 52(3): 493-504. [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. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2016, 52(3): 493-504.]
- [43] Zhu Xiaolei, Zhang Jianjun, Cheng Mingfang, et al. A study on transfer of ecosystem service values in Mining Cities by Meta-analysis. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(3): 434-448. [朱晓磊, 张建军, 程明芳, 等. 基于 Meta 分析的矿业城市生态服务价值转移研究. *自然资源学报*, 2017, 32(3): 434-448.]
- [44] Yang Ling, Kong Fanlong, Xi Min, et al. Ecosystem services assessment of wetlands in Qingdao based on meta-analysis. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(4): 1038-1046. [杨玲, 孔范龙, 郝敏, 等. 基于 Meta 分析的青岛市湿地生态系统服务价值评估. *生态学杂志*, 2017, 36(4): 1038-1046.]
- [45] Ghermandi A, Sheela A M, Justus J. Integrating similarity analysis and ecosystem service value transfer: Results from a tropical coastal wetland in India. *Ecosystem Services*, 2016, 22: 73-82.
- [46] Brander L, Brauer I, Gerdes H, et al. Using meta-analysis and GIS for value transfer and scaling up: Valuing climate change induced losses of European wetlands. *Environmental and Resource Economics*, 2012, 52(3): 395-413.
- [47] Brouwer R, Langford I H, Bateman I J, et al. A meta-analysis of wetland contingent valuation studies. *Regional Environmental Change*, 1999, 1(1): 47-57.
- [48] Hoehn J P. Methods to address selection effects in the meta regression and transfer of ecosystem values. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 389-398.
- [49] 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. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 62-69.
- [50] Brander L, Florax R J, Vermaat J E. The empirics of wetland valuation: A comprehensive summary and a meta-analysis of the literature. *Environmental and Resource Economics*, 2006, 33(2): 223-250.
- [51] Brander L M, Beukering P V, Cesar H S J. The recreational value of coral reefs: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 2007, 63(1): 209-218.
- [52] Enjolras G, Boisson J M. Valuing lagoons using a meta-analytical approach: Methodological and practical issues. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2010, 53(8): 1031-1049.
- [53] Ghermandi A, Bergh J C, van Den J M, et al. Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis. *Water Resources Research*, 2010, 46(12): 137-139.
- [54] Salem M E, Mercer D E. The economic value of mangroves: A meta-analysis. *Sustainability*, 2012, 4(3): 359-383.
- [55] Schmidt S, Manceur A M, Seppelt R. Uncertainty of monetary valued ecosystem services: Value transfer functions for global mapping. *Plos One*, 2016, 11(3): e0148524.
- [56] Ojea E, Nunes P A L D, Loureiro M L. Mapping biodiversity indicators and assessing biodiversity values in global forests. *Environmental and Resource Economics*, 2010, 47(3): 329-347.
- [57] Reynaud A, Lanzasova D. A global meta-analysis of the value of ecosystem services provided by lakes. *Ecological Economics*, 2017, 137: 184-194.
- [58] Brander L M, Koetse M J. The value of urban open space: Meta-analyses of contingent valuation and hedonic pricing results. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92(10): 2763.
- [59] Smith V K, Huang J C. Hedonic models and air pollution: Twenty-five years and counting. *Environmental and Resource Economics*, 1993, 3(4): 381-394.

- [60] Smith V K, Huang J C. Can markets value air quality? A meta-analysis of hedonic property value models. *Journal of Political Economy*, 1995, 103(1): 209-227.
- [61] Bateman I J, Jones A P. Contrasting conventional with multi-level modeling approaches to meta-analysis: Expectation consistency in UK woodland recreation values. *Land Economics*, 2003, 79(2): 235-258.
- [62] Rosenberger R S, Loomis J B. Using meta-analysis for benefit transfer: In-sample convergent validity tests of an outdoor recreation database. *Water Resources Research*, 2000, 36(4): 1097-1107.
- [63] Rosenberger R S, Loomis J B. Panel stratification in meta-analysis of economic studies: An investigation of its effects in the recreation valuation literature. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 2000, 32(3): 459-470.
- [64] Shrestha R K, Loomis J B. Testing a meta-analysis model for benefit transfer in international outdoor recreation. *Ecological Economics*, 2001, 39(1): 67-83.
- [65] Johnston R J, Ranson M H, Besedin E Y, et al. What determines willingness to pay per fish? A meta-analysis of recreational fishing values. *Marine Resource Economics*, 2006, 21(1): 1-32.
- [66] Boyle K J, Poe G L, Bergstrom J C. What do we know about groundwater values? Preliminary implications from a meta-analysis of contingent-valuation studies. *American Journal of Agricultural Economics*, 1994, 76(5): 1055-1061.
- [67] Loomis J B, White D S. Economic benefits of rare and endangered species: Summary and meta-analysis. *Ecological Economics*, 1996, 18(3): 197-206.
- [68] Kooten G C V, Eagle A J, Manley J, et al. How costly are carbon offsets? A meta-analysis of carbon forest sinks. *Environmental Science and Policy*, 2004, 7(4): 239-251.
- [69] Zandersen M, Tol R S J. A meta-analysis of forest recreation values in Europe. *Journal of Forest Economics*, 2009, 15(1): 109-130.
- [70] Woodward R T, Wui Y S. The economic value of wetland services: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 2001, 37(2): 257-270.
- [71] Camacho-Valdez V, Ruiz-Luna A, Ghermandi A, et al. Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in northwest Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 2013, 78: 1-11.
- [72] Smith V K, Osborne L L. Do contingent valuation estimates pass a "scope" test? A meta-analysis. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1996, 31(3): 287-301.
- [73] Qi Yu, Lu Hongyou, Lu Chiyi. Social capital, institutional environment and environmental governance performance: Evidence from Chinese cities. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(12): 45-52. [祁毓, 卢洪友, 吕翹怡. 社会资本、制度环境与环境治理绩效: 来自中国地级及以上城市的经验证据. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(12): 45-52.]
- [74] Xie Jinnan. Study on Arid Climate Change and Prediction in Northwest China. Beijing: China Meteorological Press, 2000. [谢金南. 中国西北干旱气候变化与预测研究. 北京: 气象出版社, 2000.]
- [75] Cai Xiaohui, Zou Songbing, Lu Zhixiang, et al. Evaluation of TRMM monthly precipitation data over the inland river basins of Northwest China. *Journal of Lanzhou University (Natural Science Edition)*, 2013, 49(3): 291-298. [蔡晓慧, 邹松兵, 陆志翔, 等. TRMM月降水产品在西北内陆河流域的适应性定量分析. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2013, 49(3): 291-298.]
- [76] Xiao Honglang, Zhao Wenzhi, Feng Qi, et al. Research on heightening water use rate on river basin scale in Chinese inland: Experiment and demonstration of water-ecology-economy management in the Heihe River Basin. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(4): 381-384. [肖洪浪, 赵文智, 冯起, 等. 中国内陆河流域尺度的水资源利用率提高研究: 黑河流域水—生态—经济管理试验示范. *中国沙漠*, 2004, 24(4): 381-384.]
- [77] Si Shuhong, Zhu Gaofeng, Su Yonghong. The characteristics of water cycle and its ecological functions for inland river basin in northwestern China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24(9): 37-44. [司书红, 朱高峰, 苏永红. 西北内陆河流域的水循环特征及生态学意义. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(9): 37-44.]
- [78] Stanley T D, Jarrell S B. Meta-regression analysis: A quantitative method of literature surveys. *Journal of Economic Surveys*, 1989, 3(2): 161-170.
- [79] Johnston R J, Rosenberger R S. Methods, trends and controversies in contemporary benefit transfer. *Journal of Economic Surveys*, 2010, 24(3): 479-510.
- [80] Sundt S, Rehdanz K. Consumers' willingness to pay for green electricity: A meta-analysis of the literature. *Energy Economics*, 2015, 51: 1-8.
- [81] Raymond J G M F, Peter N, Kenneth G W. Comparative Environmental Economic Assessment. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.

- [82] Rosenberger R S, Phipps T T. Site correspondence effects in benefit transfers: A meta-analysis transfer function. 2nd World Congress of Environmental and Resource Economists. 2002, 34(6): 475.
- [83] Brouwer R. Environmental value transfer: State of the art and future prospects. *Ecological Economics*, 2000, 32(1): 137-152.
- [84] Shrestha R K, Loomis J B. Meta-analytic benefit transfer of outdoor recreation economic values: Testing out-of-sample convergent validity. *Environmental and Resource Economics*, 2003, 25(1): 79-100.
- [85] Ahlheim M, Frör O, Luo J, et al. Towards a comprehensive valuation of water management projects when data availability is incomplete: The use of benefit transfer techniques. *Water*, 2015, 7(5): 2472-2493.
- [86] Tang Z, Nan Z, Liu J. The Willingness to pay for irrigation water: A case study in Northwest China. *Global Nest Journal*, 2013, 15(1): 76-84.
- [87] Chen Dongjing, Xu Zhongmin, Cheng Guodong, et al. Willingness to pay for the restoration of the ecosystem in Ejina Banner, Inner Mongolia, China. *Journal of Lanzhou University (Natural Science Edition)*, 2003, 39(3): 69-72. [陈东景, 徐中民, 程国栋, 等. 恢复额济纳旗生态环境的支付意愿研究. 兰州大学学报(自然科学版), 2003, 39(3): 69-72.]
- [88] Fan Hui, Zhao Minjuan, Shi Hengtong. Inhabitants' willingness to pay in northwestern ecological fragile zone. *Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition)*, 2016, 16(3): 111-117. [樊辉, 赵敏娟, 史恒通. 西北生态脆弱区居民生态补偿意愿研究. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2016, 16(3): 111-117.]
- [89] Fan Hui, Zhao Minjuan, Shi Hengtong. Difference of willingness to pay for ecological compensation based on the choice experiments method: A case study of Shiyang River basin. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(10): 65-69. [樊辉, 赵敏娟, 史恒通. 选择实验法视角的生态补偿意愿差异研究: 以石羊河流域为例. 干旱区资源与环境, 2016, 30(10): 65-69.]
- [90] Qiao Xuning, Yang Yongjiu, Yang Degang. Willingness to pay for ecosystem services and influencing factors in Weigan River basin. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(9): 1254-1261. [乔旭宁, 杨永菊, 杨德刚. 渭干河流域生态系统服务的支付意愿及影响因素分析. 中国生态农业学报, 2012, 20(9): 1254-1261.]
- [91] Shang Haiyang. Valuation on the wetland in north suburb of Zhangye city based on CVM. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(5): 140-147. [尚海洋. 基于 CVM 方法的张掖市北郊湿地存在价值评估. 干旱区资源与环境, 2011, 25(5): 140-147.]
- [92] Shui Huichun, Zhao Yong. Comparative analysis of WTP and WTA in the recovery value of ecosystem services: A case study of Minqin oasis in the lower reaches of Shiyang River//Summary of 2007 Annual Conference of Chinese Geographical Society, 2007: 178. [石惠春, 赵勇. 生态系统服务恢复价值的 WTP 与 WTA 对比分析: 以石羊河下游民勤绿洲为例//中国地理学会 2007 年学术年会论文摘要集, 2007: 178.]
- [93] Tang Zeng. Analysis on the affordability of farmers' households in Zhangye City. *Yellow River*, 2010, 32(7): 86-88. [唐增. 张掖市农户对灌溉水价承受力分析. 人民黄河, 2010, 32(7): 86-88.]
- [94] Wang Xiaopeng, Zhao Chengzhang, Wang Yanyan. The study of medium-scale ecosystem restoration based on contingent valuation method. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(16): 7579-7580, 7584. [王小鹏, 赵成章, 王艳艳. 微观尺度湿地生态恢复的条件价值评估. 安徽农业科学, 2009, 37(16): 7579-7580, 7584.]
- [95] Xu Tao, Qiao Dan, Zhao Minjuan. Benefit evaluation of inland river ecological restoration in Northwest China: The case of the Heihe River basin. *Northwest A&F University Working Paper*, 2017. [徐涛, 乔丹, 赵敏娟. 西北内陆河生态恢复效益评估: 以黑河流域为例. 西北农林科技大学工作论文, 2017.]
- [96] Xu Zhongmin, Zhang Zhiqiang, Cheng Guodong, et al. Measuring the total economic value of restoring Ejina Banner's ecosystem services. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(1): 107-116. [徐中民, 张志强, 程国栋, 等. 额济纳旗生态系统恢复的总经济价值评估. 地理学报, 2002, 57(1): 107-116.]
- [97] Xu Zhongmin, Zhang Zhiqiang, Su Zhiyong, et al. Measuring total economic value of restoring Ejina Banner's ecosystem services: Application of the non-parametric estimation. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(2): 160-167. [徐中民, 张志强, 苏志勇, 等. 恢复额济纳旗生态系统的总经济价值—条件估值非参数估计方法的应用. 冰川冻土, 2002, 24(2): 160-167.]
- [98] Yin Xiaojuan, Cai Guoying. Farmers' willingness to pay for water and the influencing factors: A case study of Zhangye City in Heihe River basin. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(5): 65-70. [尹小娟, 蔡国英. 基于 CVM 的农户水价支付意愿及其影响因素分析: 以张掖市甘临高三地为例. 干旱区资源与环境, 2016, 30(5): 65-70.]
- [99] Zhang Dapeng, Su Xiaoling, Ma Xiaoyi, et al. Evaluation of ecological restoration in Shiyang River basin based on CVM. *Soil and Water Conservation in China*, 2009(8): 39-42. [张大鹏, 粟晓玲, 马孝义, 等. 基于 CVM 的石羊河流域生态系统修复价值评估. 中国水土保持, 2009(8): 39-42.]

- [100] Zhang Zhiqiang, Xu Zhongmin, Long Aihua, et al. Measuring the economic value of restoring ecosystem services in Zhangye City of Heihe River basin: Comparison and application of continuous and discrete contingent valuation survey. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(2): 230-239. [张志强, 徐中民, 龙爱华, 等. 黑河流域张掖市生态系统服务恢复价值评估研究: 连续型和离散型条件价值评估方法的比较应用. *自然资源学报*, 2004, 19(2): 230-239.]
- [101] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 2007, 63(2): 616-626.
- [102] Wallace K J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, 2007, 139(3): 235-246.
- [103] Haines-Young R, Potschin M. Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 4.1). European Environment Agency, 2012.
- [104] Dong Dong, Zhou Zhixiang, He Yunhe, et al. Economic evaluation of the conservation of old and famous trees based on tourists' willingness to pay: A case study of Jiuhua Mountain Scenic Area, Anhui, China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(11): 1334-1340. [董冬, 周志翔, 何云核, 等. 基于游客支付意愿的古树名木资源保护经济价值评估: 以安徽省九华山风景区为例. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(11): 1334-1340.]
- [105] Zhou Chen, Li Guoping. The influencing factors for willingness to pay of payment for watershed services: A case of the water receiving area of Zhengzhou City of the middle route project of the South-North Water Transfer Project. *Economic Geography*, 2015, 35(6): 38-46. [周晨, 李国平. 流域生态补偿的支付意愿及影响因素: 以南水北调中线工程受水区郑州市为例. *经济地理*, 2015, 35(6): 38-46.]
- [106] He Ke, Zhang Junbiao, Zhang Lu, et al. Interpersonal trust, institutional trust and the willingness of farmers' participation in environmental governance: A case study of agricultural waste resources. *Management World*, 2015(5): 75-88. [何可, 张俊彪, 张露, 等. 人际信任、制度信任与农民环境治理参与意愿: 以农业废弃物资源化为例. *管理世界*, 2015(5): 75-88.]
- [107] Brouwer R, Martin-Ortega J, Berbel J. Spatial preference heterogeneity: A choice experiment. *Land Economics*, 2010, 86(3): 552-568.
- [108] Kosenius A K. Heterogeneous preferences for water quality attributes: The case of eutrophication in the Gulf of Finland, the Baltic Sea. *Ecological Economics*, 2010, 69(3): 528-538.
- [109] Aregay F A, Yao L, Zhao M, et al. Spatial preference heterogeneity for integrated river basin management: The case of the Shiyang River Basin, China. *Sustainability*, 2016, 8(10): 1-17.
- [110] Palmer T M, Peters J L, Sutton A J, et al. Meta-analysis in Stata: An Updated Collection from The Stata Journal. 2nd ed. College Station: Stata Press, 2016.
- [111] Hedges L V, Olkin I. *Statistical Methods for Meta-analysis*. London: Academic Press, 1985.
- [112] Stanley T D, Rosenberger R S. Are recreation values systematically underestimated? Reducing publication selection bias for benefit transfer. *Bulletin of Economics and Meta-Analysis*, 2009.
- [113] Yan Yan, Zhu Jieyuan, Wu Gang, et al. Review and prospective applications of demand, supply, and consumption of ecosystem services. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(8): 2489-2496. [严岩, 朱捷缘, 吴钢, 等. 生态系统服务需求、供给和消费研究进展. *生态学报*, 2017, 37(8): 2489-2496.]
- [114] National Oceanic and Atmospheric Administration. Report of the NOAA Panel on contingent valuation. *Federal Register*, 1993, 58(10): 4601-4614.
- [115] Hanemann M W. Willingness to pay and willingness to accept: How much can they differ? *American Economic Review*, 1991, 81: 635-647.
- [116] Hanemann M W, Kanninen B. The statistical analysis of discrete-response CV data//Bateman I, Willis K. *Valuing Environmental Preferences*. New York: Oxford University Press, 2001.
- [117] Rosenberger R S, Johnston R J. Selection effects in meta-analysis and benefit transfer: Avoiding unintended consequences. *Land Economics*, 2009, 85(3): 410-428.
- [118] Lehrer J. The truth wears off. *The New Yorker*, 2010, 13(52): 229.
- [119] Brander L M, Van Beukering P, Cesar H S J. The recreational value of coral reefs: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 2007, 63(1): 209-218.
- [120] Brouwer R. Multi-attribute choice modelling of Australia's rivers and wetlands: A meta-analysis of ten years of research. *CSIRO Sustainable Ecosystems*, 2009.

Revaluation of ecosystem services in inland river basins of China: Based on meta-regression analysis

YAN Yan¹, YAO Liuyang², LANG Liangming^{1,3}, ZHAO Minjuan^{1,3}

(1. College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. International Business School, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 3. Sixth Industrial Research Institute, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Incorporating the economic value of river basin ecosystem services into cost-benefit analysis is the key to solving environmental problems and achieving a sustainable allocation of water resources in river basins. In recent years, with the increase in valuation literature, there has been much controversy in terms of the amount of value and its influencing factors, which has made it difficult to apply these research results to management practices. In this paper, the meta-regression analysis is first applied to the valuation of ecosystem services in the inland river basins of China. The results show that the valuation can be significantly affected by characteristics of the four aspects of valuation research, specifically: object, respondents, measurement method and publications. Among them, the valuation of both the Shiyang River and the Tarim River is significantly higher than that of the Heihe River. The valuation of the upstream portion is significantly higher than that of the middle and lower reaches. The value assessed by the dichotomous choice contingent valuation method is not significantly different from that of the choice experiments. However, it is significantly higher than values obtained by other contingent valuation methods. In addition, valuation over time shows a "declining effect" of 2%-3% per year and valuation in journal literature is significantly higher than that in other forms of literature. By using the $n-1$ data splitting technique, we applied the results of the meta-regression to out-of-sample benefit transfer, evaluated it, and found a median error of 27.12%. Compared with the existing research, the results are in an acceptable range. Therefore, the meta-regression analysis used in this paper is applicable to the valuation of the ecosystem services of the policy sites in the inland river basins of China.

Keywords: ecosystem services valuation; meta-regression analysis; $n-1$ data splitting technique; inland river basins; China