

DOI: 10.5846/stxb201803300658

周鹏,周婷,彭少麟.生态系统服务价值的测度模式与方法.生态学报,2019,39(15): - .

Zhou P, Zhou T, Peng S L. Measurement modalities and methodologies of ecosystem services valuation. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(15): - .

生态系统服务价值的测度模式与方法

周 鹏, 周 婷, 彭少麟*

中山大学生命科学学院有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广州 510275

摘要:为了更好地权衡人类福祉与经济发展之间、生态系统各类服务之间的关系,加速生态系统服务价值评估成为全世界生态保护与可持续发展政策制定面临的首要难题。总结了原始价值评估和价值转移两类主要的生态系统服务评估测度模式,侧重概述了价值转移的涵义、类型、历史研究、应用限制及现有的可用于价值转移的有代表性的数据库,在此基础上归纳两类测度模式的优势和普遍存在的局限性。总体而言,基于生态功能的原始评估更适用于地区尺度的精细化管理,评估准确但相对难度大、耗时长、成本高;基于相似生境的價值转移方法更适用于国家或区域尺度进行估判和分级,估值快速但相对信息少、不确定性大、影响因素多。其后还介绍了一类或多类测度模式中不同方法的综合评估模型与工具。通过分析当前主流的评估方法与日益增长的评估需求之间的矛盾,结合生态系统服务级联,最终提出基于关键生态系统特征建立简化预测模型的评估思路,目的是为了简化传统评估过程、缩短评估周期,完善并发展以往的价值转移,推动生态系统服务多尺度、大范围的摸底清查。
关键词:生态系统服务估值;价值转移;简化模型;快速评估;生态效益

Measurement modalities and methodologies of ecosystem services valuation

ZHOU Peng, ZHOU Ting, PENG Shaolin*

State Key Laboratory of Biocontrol, School of Life Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: To achieve a good trade-off between human well-being and economic development, and among ecosystem services, accelerated valuation of ecosystem services is the primary challenge for policy makers of ecological protection and sustainable development throughout the world. In this paper, two main measurement methods of ecosystem services valuation (ESV) are summarized: primary valuation and benefit transfer. And an overview of the latter is provided, including the conception, types, historical research, application constraints, and existing representative databases available for benefit transfer. Based on these, the advantages and general limitations of the two measurement methods are described, which show that the primary valuation based on ecological functions is more applicable on a local scale for fine management, is accurate but relatively difficult, time-consuming, and costly, whereas the benefit transfer based on similar habitats is more applicable on national or regional scales for estimation and rating, is fast but provides little information and has large uncertainties and many influencing factors relatively. Subsequently, the integrated valuation models and tools for combining different methods in one or more measurement modalities are also presented. Furthermore, by analyzing the contradiction between the current mainstream valuation methods and the increasing assessment requirements, and referring to the ecosystem services cascade, we finally propose to establish a simplified predictive valuation model based on key ecosystem characteristics. The objective is to simplify the traditional valuation process, shorten the cycle, improve the previous benefit transfer, and promote the multi-scale and wide-scale inventory of ecosystem services as soon as possible.

基金项目:国家自然科学基金重点项目(31030015);广州市珠江科技新星(201806010150);广东省海洋渔业科技推广专项资金(科技攻关方向)(A201700D05);广东省促进经济发展专项资金(海洋经济发展用途)(GDME-2018E002)

收稿日期:2018-03-30; **网络出版日期:**2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lsspsl@mail.sysu.edu.cn

Key Words: ecosystem services valuation; benefit transfer; simplified model; rapid assessment; ecological benefits

中国总陆地生态系统服务价值 1990 年约为 23983 亿美元,2010 年减少至 23476 亿美元^[1]。全球,从 1997—2011 年间,生态系统服务价值因为土地利用变化丧失了 4.3—20.2 万亿美元^[2]。随着社会经济发展与资源环境问题之间的冲突日益加剧,当下越来越多的情境需要借用生态系统服务价值评估以进行自然资产的权衡和优化,如 2011—2020 年《生物多样性战略计划》及其“爱知生物多样性目标”(Aichi Targets)、“可持续发展目标”(Sustainable Development Goals)和“生物多样性和生态系统服务政府间科学-政策平台”(Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES)等^[3-4]。在国家或地区,效益成本的最优模式及生态系统的恢复、保护、规划等均要以生态系统服务作为相关决策制定的重要依据并借此来反映政策执行后效益的盈亏,甚至通过支付生态系统服务的激励行为来促成资源的保护与再生^[5-7]。

我国是首个执行国家生态系统服务政策的国家,近几年对生态文明的重视也达到了前所未有的高度^[8]。2017 年 11 月,由中国国家统计局、联合国统计司和欧盟联合主办的中国“自然资本核算和生态系统服务估价”项目启动;2018 年我国领导干部自然资源资产离任审计也已进入全面推开阶段,一系列新近政策也表明生态系统服务的估值核算将在我国未来环境决策的制定过程中起到重大作用。

生态系统服务的定量评估一直是当今生态系统经济学领域研究的热点。面对不断增长的大量、多元、跨尺度的评估需求,不难察觉到“没有一种评估技术是完美的,人们必须同时兼顾分析的要求及数据、资源的可用性”^[4],评估的内容和管理的目标一旦不同,在选择时对效率和精度的要求则有所差异^[9]。因此,有必要对现有的评估方法进行分类概括,以便了解其各自的特点和适用性^[10]。

目前将生态系统服务的物质量转换为价值量的评估方法众多,根据数据来源是否从研究地直接调查获取,可将其估值的方法分为两大类型:原始评估和价值转移(Benefit Transfer)^[4]。前者基于生态系统的结构(组成)和功能(过程)及市场的供需关系进行估价,如千年生态系统评估(MA)、生态系统和生物多样性经济学(TEEB)、国际会计举措如世界银行主导的财富核算和生态系统服务估值(WAVES)项目以及联合国环境经济核算体系(SEEA)框架等均使用此法,表现为更准确但较耗时;后者假设生境相似的系统可作为代理单元提供经验值,如 Costanza 等^[11]使用此法,表现为更快速但信息被大量减化。鉴于尚且没有一种既考虑生态系统结构和功能特征兼而可快速评估的方法,在尽可能地全面分析现有的评估方法基础之上,本文综合两类方法的优势,尝试提出一种新的简化模型思路,即遵循生态系统服务级联(Ecosystem Service Cascade),运用少量的关键特征指标建立各项服务的预测模型,作为生态系统服务价值评估体系的发展和补充,以期未来可以最大程度地对生态系统服务进行更广泛而快捷地评估^[12-13]。

1 原始价值评估

原始价值评估通过生态系统的过程、功能机制及其与人的相互作用关系对评估地进行现场数据收集与价值量的计算,是一种采集一手数据参照经济学估值方法的传统评估模式,包括直接市场价值、显示偏好及陈述偏好等多个类别(表 1)^[14-16]。除此之外,资源租金法(Resource Rent)、模拟交换法(Simulated Exchange)等也偶见采用^[9]。以欧阳志云等^[17]和《森林生态系统服务功能评估规范(LY/T 1721—2008)》提出的方法为代表,我国关于传统评估的研究案例已非常之多,在赵军和杨凯^[18]、Zhang 等^[19]、D'Amato 等^[20]、Jiang^[21]等综述中有详细报道,但尚缺乏统一的、清晰的原始估值方法的分类体系^[22],仍存在相互混淆的现象^[16, 23],不利于不同评估成果数据的整合分析和规律提取。

原始价值评估可提供对生态系统服务实际水平的最佳估计,不过随着应用增加,原始评估也表现出诸多的局限性,如每一种方法仅适用于少数几种服务,数据采集与评估的成本较高、周期长,很多数据往往不易获取等^[24],以我国应用较广的《森林生态系统服务功能评估规范(LY/T 1721—2008)》为例,14 类服务逾 6 种原

始评估方法,含市场定价法(固碳、释氧)、替代成本法(调节水量、保肥和林木营养积累)、机会成本法(森林防护、物种保育)等等;共涉及 50 多个参数,其中 23 个以上参数需实地测量或现场采样后通过实验分析才能获得。

表 1 原始评估方法的主要类型
Table 1 The main types of primary valuation approaches

原始评估方法 Primary valuation approach	概述 Overview
直接市场价值 Direct market valuation	使用实际市场的数据
直接市场定价 Direct market pricing	最终可交易的商品价值
基于成本的方法 Cost based methods	基于维护、恢复、重建、选择等措施产生的花费或付出的代价
避免成本 Avoided Cost	如果服务消失,损害发生时需花费的应对成本
缓解成本 Mitigation Cost	如果服务消失,阻止或预防损害发生需要的防护费用
恢复成本 Restoration Cost	如果服务退化,恢复到它最初的状态需要的成本
重置成本 Replacement Cost	如果服务丧失,重建这项服务需要的成本
替代成本 Substitute Cost	其它与该服务效果相当的人工维护建设成本,如影子工程
机会成本 Opportunity Cost	牺牲最大替代用途的收入
排污收费 Pollution Charges	增加服务负担所设立的强制性执行标准
生产函数/要素收入 Production Function/ Factor Income	有助于市场产品生产所提升的经济价值
能值分析 Emergy analysis	通过能值货币率表征价格
显示偏好 Revealed preference	经济主体通过自己的选择“显露”自身的喜好
享乐定价 Hedonic Pricing	服务对其它商品价格影响的幅度,即特征价格法
旅行费用 Travel Cost	消费者对旅游景点的支付意愿
陈述偏好 Stated preference	模拟市场,价格根据供应或政策而做出变化
条件估值 Contingent Valuation	虚拟市场中受访者愿意购买或销售某项特定服务时的价格
选择实验 Choice Experiments	受访者在具有不同属性的环境商品中做出选择
群体估值 Group Valuation	知悉者协商估价

2 价值转移

2.1 理论概述

随着原始评估方法不断细分、日趋成熟,一方面,人类对美好生存空间的向往与资源环境分配不均、过速损耗之间的矛盾加剧,生态系统服务价值评估的案例不断增加,另一方面,亟须快捷的应对策略来权衡各项人为措施的成效性和整个系统的可持续性,当现有评估方法的效率和成本控制不能满足上述需求,如何更便捷地捕获当前环境的状态就会变得更受依赖,价值转移正是在这样的背景下受到越来越多的关注和重视^[25-27]。

价值转移是借助一个或多个已评估的“研究地”的价值信息对相似的待评估的“政策实施地”进行服务价值评估的方法^[26]。这些信息或许是一定面积内某项服务的平均价值或中间价值,即数值转移(Value Transfers),也可能是生态环境和社会经济属性与服务价值之间存在的某种确定关系,即函数转移(Function Transfers)。价值转移方法的主要目的和意义是为了在不易采集原始一手数据的地方,通过匹配待评估地的其他环境信息进行价值估算,当构建出合适的模型,即可在很大程度上提高评估的效率并节约成本^[28]。加之一些传统研究并没有针对实际决策做出适用的评估,价值转移方法有望从基础研究数据中总结新的经验和规律,并对后续的原始估值具有指导意义^[28]。

有关价值转移的研究于 20 世纪 90 年代初已见诸报道,Smith 和 Kaoru^[29]首次将 Meta 分析运用于文化旅游价值评估。1992 年,Water Resources Research 期刊就环境价值转移的概念和方法做了第一次专题报道^[26]。2006 年,Ecological Economics 也以特刊的形式详尽探讨了价值转移的方法及应用,并对标准化和验证方法进行了新的尝试^[30]。Navrud 和 Ready^[31]编著了 Environmental Value Transfer: Issues and Methods 一书,围绕不同

价值转移技术的适用性和有效性展开了多方位的讨论。Johnston 等^[28]面向研究者和从业者出版了 *Benefit Transfer of Environmental and Resource Values* 专著,全面介绍了价值转移在条件价值评估、显示和陈述偏好数据、选择实验等传统评估中的应用,以及与 Meta 分析、贝叶斯方法、地理空间信息技术的集成研究并报道了欧美等多个国家的评估实例。

2.2 价值转移的类型

从方法技术上考虑,价值转移主要分为数值转移和函数转移(图 1)。前者可来源于单个研究,或多个研究的均值、中值,或专家、政府提供的获得普遍认可的公共数据,这些值可根据评估地的相关要素进行调整或校准;后者是定义了一个生态和经济的选择集,往往也包含利益相关者,以它们的整体属性作为解释变量形成相应的价值函数^[30, 32]。

价值转移方法最初的主要应用形式是采用不同土地利用(或土地覆盖)类型中单位土地面积的服务价值

作为基础价值单元进行经济效益的计算,该单位价值在实际应用过程中可根据评估地的不同进行调整,如在我国广泛应用的谢高地评估法^[33]。随后逐步发展出需求函数和 Meta 回归等方法,综合考虑信度和效度,其中 Meta 回归分析受到众多好评。Meta 回归分析又以线性 Meta 回归模型(Meta-regression Models, MRMs)最为常见,近几年也有很多研究者开始采用对数或二次函数形式在 MRMs 中进行非线性效应的可行性研究^[34-35]。在 MRMs 的评估中常常将研究的参数分为三大类,分别是研究地自身的属性和特征、社会经济和地理环境特征、评估方法,这种分类方式现在已经演变为一种标准化形式^[35]。不过,包括 MRMs 在内的价值转移方法几乎都是纯粹的经验运用,而结构偏好或效用函数将个人的偏好选择与原始研究的经验结果关联起来,有利于提高评估的准确性^[36]。

2.3 价值转移的应用研究

价值转移最常用于游憩价值的评估,在较早的研究中还包括地下水、空气质量、濒危物种、价格弹性等^[37-38]。在美国,欧盟和其他地方,价值转移也被应用于几乎所有大规模的效益成本分析。在实践中,价值转移还多被应用于支付意愿(WTP)估计,弹性测量或需求关系等经济措施中^[28]。

早期知名的价值转移应用是美国林务局为施行 1990 年资源规划法制定的资源定价和估值指南,以及美国陆军工程兵团 1991 年建立的用于军团水库游憩价值转移的区域需求模型^[39]。

Meta 分析现已于沿海和湿地生态系统服务价值的评估中取得了较成功的应用^[40]。Woodward 和 Wui^[41]综合 39 份研究评估了不同湿地服务的相对价值。De Groot 等^[42]基于 ESVD 数据库中 244 个观测值对全球内陆湿地价值进行了 Meta 回归分析,其中研究地面积、人均 GDP、人口数量及多种价值评估方法等指标呈较高的显著性。Rao 等^[43]评估了全球沿海生态系统服务中的海岸线保护价值。Brander 等^[44]对东南亚红树林的生态系统服务价值进行价值转移应用。在我国,赵玲^[45]率先对自然资源游憩价值评价进行了理论和方法的探索,近几年以湿地生态系统服务价值评估为主的价值转移的实证研究也屡见报道^[46-49]。

2.4 价值转移的假设条件与影响因素

价值转移方法是基于许多假设的条件进行的,而对这些条件的满足程度影响着其评估的精确度,例如纳入的研究必须数据充分;研究地的大小、人口数量、假设的市场、环境效益(或生物物理过程)及其在供需水平的变化等需较相似。除此之外,原始研究中可提取的信息不完整及其操作测量误差也将对评估的精度造成影响^[30, 32, 50]。

价值转移如果缺乏理论有效性和统计可靠性的验证,往往会引起质疑。此外,关于假设条件未完全满足时如何进行利益转移的明确协议仍然缺乏,尚未达成共识,在实践层面上,这便意味着从业者经常对不同类型

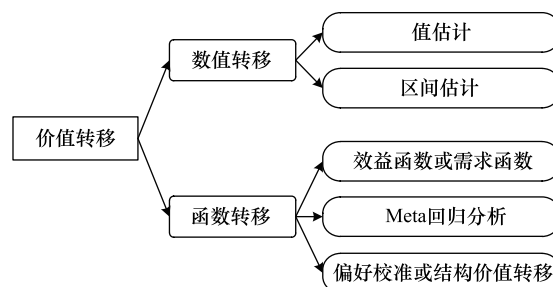


图 1 价值转移的一种分类类型

Fig.1 A type of benefit transfer classification

的相似性和推荐的转移方法的适用性和重要性做出非正式的,甚至不知情的判断^[28]。Wong 等^[8]指出将生态学从经济学和政策中分开的学科框架产生了“数据沟(Data Gap)”,并导致了在处理这种数据沟时概念和方法的混乱,只有在数据沟得到充分解决后,价值转移才有效。

其次,基于经验的价值转移模型通过量化关系将管理和环境因素与生态系统功能相关联,当研究阈值或在超出已知数据和原始模型范围时外推,则易产生问题^[51]。当出版刊物发布文章倾向有显著意义的结果时,还会发生选择偏差。很多参数在进行价值转移时并非一成不变,通常随着资源的富足或稀缺,单位价值或个人支付意愿都会随之变化。价值转移仍需特别关注时空尺度和替代性服务的问题。对于大多数生态系统服务,在一个地方提供的服务大小可能不一定与其实现的经济价值保持一致,因为价值将受到所提供的服务现有需求的影响,即服务的边际价值非并恒定不变,此时原始研究提供的信息可能早已过时或因边际效应影响而不再适用^[40, 52]。空间尺度影响了服务流的相对稀缺性和可替代性,这种替代性通常随着空间尺度的增加而下降^[32]。只有当生态系统特征与最终服务之间所需的经验关系被建立之后,价值转移才得以真正应用于管理实践^[32]。非市场可交易的服务类型评估中不确定性因素多、浮动大,价值转移中的 Meta 分析也并非一定占据绝对优势,若有个别极为相似地的评估数据可直接参考往往更有意义。

2.5 数据库支持

价值转移依赖于数据库的支持。设计标准化的数据库是实现价值转移、充分发挥其简便节支优势的必要环节,也是未来开发新的综合模型的基础,大规模数据库的构建与共享具有十分重要的意义。我国较早开启了生态保护与建设工程,2012 年开展全国生态环境十年变化(2000—2010 年)调查评估,随后发布了“中国生态系统评估数据库”,包含了 2000 年、2010 年全国生态系统五大服务信息等数据,但关于原始价值评估的基础数据库国内鲜有报道,有待填补和完善。至今全球创建了丰富的数据库(表 2),可为我国学者取精用弘,为构建全国各地区自然资产核算的基础数据资料提供框架模式^[60-61]。

表 2 生态系统服务评估数据库
Table 2 Ecosystem services valuation database

数据库 Database	简介 Brief description	参考 Reference
EVRI	收录逾 2000 多个案例,目前所知最大的全球在线价值评估数据库之一	Johnston 和 Thomassin ^[53]
ESVD	在 TEEB 估值数据库的基础上建立,收集有 300 多个研究,应用较广的全球数据库	de Groot 等 ^[42] , Van Der Ploeg 等 ^[54]
MESP	收录了 1053 个全球海洋生态系统服务的评估值并制作为开放检索的在线平台	Vegh 等 ^[55]
NZNMVD	整合了新西兰 167 个有关游憩、污染、美学等 7 种主要服务类型的研究案例	Kerr ^[56]
中国生态系统评估数据库 China ecosystem assessment database	“全国生态环境十年(2000—2010)变化遥感调查与评估”的研究成果之一,包含“全国生态系统服务功能数据”等 5 个子数据库	Ouyang 等 ^[13]
BUVD	收录北美地区水资源效益的 131 个研究	Pendleton 等 ^[57]
RUVD	收录北美地区游憩价值的 421 个研究	Rosenberger 和 Stanley ^[58]
GecoServ	收录墨西哥湾约 486 个研究	Plantier-Santos 等 ^[27]
GEVAD	收录欧洲 49 个国家 317 个研究	Damigos 和 Kaliampakos ^[59]

EVRI: 环境估值参考清单 Environmental Valuation Reference Inventory; ESVD: 生态系统服务评估数据库 Ecosystem Service Valuation Database; MESP: 海洋生态系统服务合作联盟 Marine Ecosystem Services Partnership; NZNMVD: 新西兰非市场估值数据库 New Zealand Non-Market Valuation Database; BUVD: 效益使用价值数据库 Beneficial Use Values Database; RUVD: 游憩使用价值数据库 Recreation Use Values Database; GecoServ: 墨西哥湾生态系统服务评估数据库 Gulf of Mexico Ecosystem Service Valuation Database; GEVAD: 希腊环境评估数据库 Greek Environmental Valuation Database

3 综合评估与方法简化

3.1 综合评估模型和工具

生态系统服务的多样性及其与人类社会关系的复杂性,注定了评估方法的多元化趋势。随着原始价值评估与价值转移中不同方法的集成,加之空间制图 (Spatial Mapping)、贝叶斯信念网络 (Bayesian Belief Networks, BBNs) 等技术的引入和发展,形成了众多综合的评估模型和工具 (表 3),如基于网络资源的可视化工具,这在一定程度上推进了不同类型评估方法的兼容并蓄,促进了新的评估技术的研究。尽管这类工具提高了模型的可移植性,却同时也增加了其复杂程度 (InVEST、ARIES 等),抑或区域适配度高而灵活性不够 (Envision、Benefit Transfer and Use Estimating Model Toolkit 等),因此权衡这两者,仍然值得进一步探索应用性更广的简化模型方法^[61, 65, 67]。

表 3 生态系统服务综合评估工具及平台

Table 3 Ecosystem services integrated valuation tools and platforms		
工具 Tool	简介 Brief description	参考 Reference
InVEST	基于生产函数方法,反映生态系统结构和功能的变化如何影响生态系统服务的流量和价值,适用于陆地、淡水、海洋、沿海生态系统服务实物量或价值量的评估,它在国内的知名度较高,有非常多的介绍与应用实例	Natural Capital Project ^[62]
ARIES	运用 k.LAB 工具包整合多种复杂模型于一体,如空间数据和 GIS、方程和查找表、贝叶斯概率模型、基于过程和代理的模型,研究者可使用 k.IM 语言集成并创建新的数据和模型,实现了云端资源共享以重复使用,因此用户也具有模型开发和高度自定义的权限,这种模块化和互操作的功能大大提高了建模的灵活性	Villa 等 ^[63]
Envision	由美国俄勒冈州立大学 Bolte 等人开发,建立在以往的基于主体建模和生物复杂性理论的基础之上,适用于特定社区和区域的综合规划和环境评估,以丰富、可定制的插件和“多代理建模”的子系统为功能特色,是一个基于 GIS 的开源工具	Guzy 等 ^[64]
其它 Others	荷兰环境评估署 (PBL) 授权 IMAGE 团队开发的 IMAGE 3.0;美国 Accounting For Desirable Futures LLC (AFORDable futures) 设计的 MIMES;英国公司 Social Value UK 建立的 Global Value Exchange 项目;美国地质调查局开发的 Benefit Transfer Toolkit;加拿大 Ecopath 研究与开发联盟开发的 EwE;美国科罗拉多州立大学开发 Benefit Transfer and Use Estimating Model Toolkit, 等	Bagstad 等 ^[61] Ochoa 和 Urbina-Cardona ^[65] Waage 和 Kester ^[66]

InVEST: 生态系统服务与权衡综合评估模型 Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs; ARIES: 生态系统服务人工智能模型 Artificial Intelligence for Ecosystem Services; IMAGE: 全球环境评估综合模型 Integrated Model to Assess the Global Environment; MIMES: 生态系统服务多尺度综合模型 Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services; EwE: 生态系统质量平衡途径与动态模拟 EcoPath with EcoSim

3.2 基于生态系统特征的简化方法

综合评估工具将不同测度模式中的多种方法进行组合,又或融入专家意见,实质上并未考虑方法的精简。生态系统服务方法越来越广泛地应用,加之完成许多其它的估值研究的成本可能变得非常昂贵,探索新的价值转移的方法显得尤为重要^[68]。时值我国大力推进生态文明建设,使其社会地位和历史地位与其它文明体系之间发生了前所未有的渗透与融合,这加速了生态系统服务在全国范围内不同尺度下的评估^[69]。为了更便捷地权衡人类进行土地规划和资源开采的利弊,对已逐步退化或丧失的生境进行更及时地管理、保护与恢复,急需探索新的方法以缓解时间和成本压力,弥补以往方法的不足。

价值转移方法是对数据的二次利用并不涉及生态系统特征和最终服务之间的因果关系^[8],而根据生态系统级联模型 (Ecosystem Service Cascade Model) 可知,生态系统结构 (组成) 和功能 (过程) 是所有其他服务的基础,为此提出基于关键生态系统特征指标简化价值评估过程的新方法 (图 2b)。

大量证据表明,生态系统的结构和功能指标在评估生态系统服务价值的过程中并非孤立地发挥作用,而是相互影响、相互制约。Verkerk 等^[70]在欧洲森林的研究中发现一定面积内供给服务和碳汇、休憩价值、倒木 (栖息地服务) 之间存在着权衡关系。生产力还与生物多样性在多尺度上存在显著关联,Costanza 等^[71]证实

了这一观点并表明这种关系受到温度的影响^[72-73]。Gamfeldt 等^[74]选择了瑞典经济林中 6 种服务类型进行评估,发现物种丰富度越高,多种生态系统服务的水平越高。这些实证研究可为模型简化提供理论支持。以备受关注的森林生态系统为例,已有的研究表明净初级生产力(NPP)既是供给服务的直接核算指标和多种服务的中间计算量(如林木营养物质积累),又是一种间接服务,可作为衡量一些直接服务的替代指标^[4],而生物多样性是所有生态系统服务赖以存在的基础^[75]。它们几乎与所有其他服务类型之间均存在着直接或间接的关系,将这类指标与服务价值建立简化预测模型将是一种新的解决思路,既可大大简化原始评估的过程,与以往的价值转移相比,又可保留关键的结构和功能信息(图 2)。

4 总结和展望

伴随着原始评估越来越精细而严谨,价值转移的方法也有望更稳定、更具现实参考性。价值转移与传统方法并不冲突,实质上生态系统服务价值的评估最终都需要以生态系统生物物理过程模型和生态系统变化驱动力模型为基础,因此价值转移并不能替代原始评估,而采用综合评估或简化的评估模型思路是对这两种测度模式的发展和创新运用,是为了平衡各自的受限之处,几者应在特定的场景和需求中进行选择与取舍。

为了促进价值转移方法更佳地应用,Loomis 和 Rosenberger^[76]便针对原始评估提出了许多附加的建议,如全面并一致地报告当前环境质量水平的信息;使用客观的量化方法;对人口统计数据使用一致的定义和测量等。Rosenberger 和 Stanley^[58]提出了控制误差源的多种方式,如将检验方法的应用标准化;为有完整记录、报告和发布的研究建立明确标准的电子期刊等。

正如 Levins^[77]所言:“所有的模型都要面临在现实性(Realism)、精确性(Precision)和普遍性(Generality)三者之间进行权衡”。一方面越接近生态理论的因果机制的模型越能指导管理决策,另一方面越能反映主要特征作用关系的简化的经验模型越能节约时间和资金的投入成本。对于没有资源或原始评估技能的分析师和政策制定者而言,一个简易的评估模型能够产生更大的吸引力,毕竟很多情境需要的只是一个大致又能提供关键信息的评估^[78]。更复杂的方法并不总是产生更准确的结果,并且在某些情况下,可能缺乏足够的时间、资源或专业知识来支持更复杂的转移方法^[28]。

综合以上,随着大数据的建设和综合评估模型的开发越来越被重视,基于关键生态系统特征的简化预测模型,可利用其快速、低成本且保留重要信息的优势,与原始价值评估及价值转移中的其它方法进行创新整合,从而推动我国现阶段自然资源资产价值多尺度、大范围的摸底清查。

参考文献(References):

- [1] Li G D, Fang C L, Wang S J. Exploring spatiotemporal changes in ecosystem-service values and hotspots in China. *Science of the Total Environment*, 2016, 545-546: 609-620.
- [2] Costanza R, De Groot R, Sutton P, Van Der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [3] Díaz S, Demissew S, Carabias J, Joly C, Lonsdale M, Ash N, Larigauderie A, Adhikari J R, Arico S, Báldi A, Bartuska A, Baste I A, Bilgin A, Brondizio E, Chan K M A, Figueroa V E, Duraipapp A, Fischer M, Hill R, Koetz T, Leadley P, Lyver P, Mace G M, Martin-Lopez B, Okumura M, Pacheco D, Pascual U, Pérez E S, Reyers B, Roth E, Saito O, Scholes R J, Sharma N, Tallis H, Thaman R, Watson R, Yahara T, Hamid Z A, Akosim C, Al-Hafedh Y, Allahverdiyev R, Amankwah E, Asah S T, Asfaw Z, Bartus G, Brooks L A, Caillaux J, Dalle G,

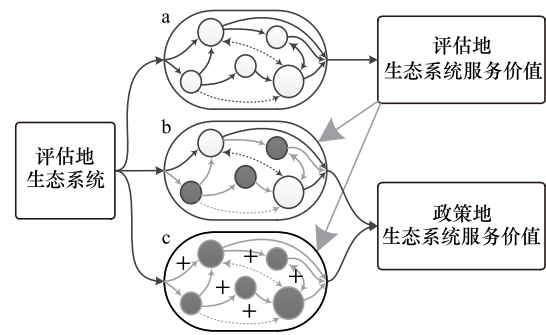


图 2 3 种测度模式示意图

Fig.2 Illustration of three measurement modes

a. 原始估值,考虑生态系统过程和功能的复杂性;b. 基于关键生态系统特征的简化方法,保留系统部分的重要信息,灰色实心圆相当于方法中的黑箱部分;c. 价值转移,侧重于社会经济和地理环境等外在特征,+号表示;b、c 除了考虑评估地自身的信息外,还需参考原始估值中其它评估地的生态系统服务价值信息

- Darnaedi D, Driver A, Erpul G, Escobar-Eyzaguirre P, Failler P, Fouda A M M, Fu B J, Gundimeda H, Hashimoto S, Homer F, Lavorel S, Lichtenstein G, Mala W A, Mandivenyi W, Matczak P, Mbizvo C, Mehrdadi M, Metzger J P, Mikissa J B, Moller H, Mooney H A, Mumby P, Nagendra H, Nesshover C, Oteng-Yeboah A A, Pataki G, Roué M, Rubis J, Schultz M, Smith P, Sumaila R, Takeuchi K, Thomas S, Verma M, Yeo-Chang Y, Zlatanova D. The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2015, 14: 1-16.
- [4] Costanza R, De Groot R, Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L, Sutton P, Farber S, Grasso M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 2017, 28: 1-16.
- [5] Kareiva P, Tallis H, Ricketts T H, Daily G C, Polasky S. *Natural Capital—Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. New York, USA: Oxford University Press, 2011.
- [6] Guerry A D, Polasky S, Lubchenco J, Chaplin-Kramer R, Daily G C, Griffin R, Ruckelshaus M, Bateman I J, Duraipapp A, Elmqvist T, Feldman M W, Folke C, Hoekstra J, Kareiva P M, Keeler B L, Li S Z, Mckenzie E, Ouyang Z Y, Reyers B, Ricketts T H, Rockstrom J, Tallis H, Vira B. Natural capital and ecosystem services informing decisions: from promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(24): 7348-7355.
- [7] Obst C, Hein L, Edens B. National accounting and the valuation of ecosystem assets and their services. *Environmental and Resource Economics*, 2016, 64(1): 1-23.
- [8] Wong C P, Jiang B, Kinzig A P, Lee K N, Ouyang Z Y. Linking ecosystem characteristics to final ecosystem services for public policy. *Ecology Letters*, 2015, 18(1): 108-118.
- [9] Harrison P A, Dunford R, Barton D N, Kelemen E, Martín-López B, Norton L, Termansen M, Saarikoski H, Hendriks K, Gómez-Baggethun E, Czúcz B, García-Llorente M, Howard D, Jacobs S, Karlsen M, Kopperoinen L, Madsen A, Rusch G, Van Eupen M, Verweij P, Smith R, Tuomasjukka D, Zulian G. Selecting methods for ecosystem service assessment: a decision tree approach. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 481-498.
- [10] Jacobs S, Martín-López B, Barton D N, Dunford R, Harrison P A, Kelemen E, Saarikoski H, Termansen M, García-Llorente M, Gómez-Baggethun E, Kopperoinen L, Luque S, Palomo I, Priess J A, Rusch G M, Tenerelli P, Turkelboom F, Demeyer R, Hauck J, Keune H, Smith R. The means determine the end – Pursuing integrated valuation in practice. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 515-528.
- [11] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [12] 虞依娜, 彭少麟. 生态系统服务价值评估的研究进展. *生态环境学报*, 2010, 19(9): 2246-2252.
- [13] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, Lu F, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F, Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [14] Pascual U, Muradian R, Brander L, Gómez-Baggethun E, Martín-López B, Verma M, Armsworth P, Christie M, Cornelissen H, Eppink F, Farley J, Loomis J, Pearson L, Perrings C, Polasky S, McNeely J A, Norgaard R, Siddiqui R, Simpson R D, Turner R K. The economics of valuing ecosystem services and biodiversity//Kumar P, ed. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. London and Washington: Earthscan, 2010.
- [15] Gómez-Baggethun E, Barton D N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 2013, 86: 235-245.
- [16] Freeman III A M, Herriges J A, Kling C L. *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*. 3rd ed. New York: RFF Press, 2014.
- [17] 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. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [18] 赵军, 杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展. *生态学报*, 2007, 27(1): 346-356.
- [19] Zhang B A, Li W H, Xie G D. Ecosystem services research in China: progress and perspective. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1389-1395.
- [20] D'Amato D, Rekola M, Li N, Toppinen A. Monetary valuation of forest ecosystem services in China: a literature review and identification of future research needs. *Ecological Economics*, 2016, 121: 75-84.
- [21] Jiang W. Ecosystem services research in China: a critical review. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 10-16.
- [22] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系. *生态学报*, 2017, 37(2): 341-348.
- [23] Bennett J. *The International Handbook on Non-market Environmental Valuation*. Cheltenham, Massachusetts: Edward Elgar Publishing, 2011.
- [24] Eigenbrod F, Armsworth P R, Anderson B J, Heinemeyer A, Gillings S, Roy D B, Thomas C D, Gaston K J. The impact of proxy-based methods on mapping the distribution of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 2010, 47(2): 377-385.
- [25] Seppelt R, Dormann C F, Eppink F V, Lautenbach S, Schmidt S. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(3): 630-636.
- [26] Brookshire D S, Neill H R. Benefit transfers: conceptual and empirical issues. *Water Resources Research*, 1992, 28(3): 651-655.
- [27] Plantier-Santos C, Carollo C, Yoskowitz D W. Gulf of Mexico Ecosystem Service Valuation Database (GecoServ): gathering ecosystem services valuation studies to promote their inclusion in the decision-making process. *Marine Policy*, 2012, 36(1): 214-217.
- [28] Johnston R J, Rolfe J, Rosenberger R S, Brouwer R. *Benefit Transfer of Environmental and Resource Values: A Guide for Researchers and Practitioners*. Dordrecht: Springer, 2015.
- [29] Smith V K, Kaoru Y. Signals or noise? Explaining the variation in recreation benefit estimates. *American Journal of Agricultural Economics*, 1990,

- 72(2): 419-433.
- [30] Wilson M A, Hoehn J P. Valuing environmental goods and services using benefit transfer: the state-of-the art and science. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 335-342.
- [31] Navrud S, Ready R. *Environmental Value Transfer: Issues and Methods*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2007.
- [32] Richardson L, Loomis J, Kroeger T, Casey F. The role of benefit transfer in ecosystem service valuation. *Ecological Economics*, 2015, 115: 51-58.
- [33] Xie G D, Zhang C X, Zhen L, Zhang L M. Dynamic changes in the value of China's ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 146-154.
- [34] Kaul S, Boyle K J, Kuminoff N V, Parmeter C F, Pope J C. What can we learn from benefit transfer errors? Evidence from 20 years of research on convergent validity. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2013, 66(1): 90-104.
- [35] Fitzpatrick L, Parmeter C F, Agar J. Threshold effects in meta-analyses with application to benefit transfer for coral reef valuation. *Ecological Economics*, 2017, 133: 74-85.
- [36] Smith V K, Pattanayak S K, Van Houtven G L. Structural benefit transfer: an example using VSL estimates. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 361-371.
- [37] 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.
- [38] Zandersen M, Tol R S J. A meta-analysis of forest recreation values in Europe. *Journal of Forest Economics*, 2009, 15(1/2): 109-130.
- [39] Boyle K J, Bergstrom J C. Benefit transfer studies: myths, pragmatism, and idealism. *Water Resources Research*, 1992, 28(3): 657-663.
- [40] Carrasco L R, Nghiem T P L, Sunderland T, Koh L P. Economic valuation of ecosystem services fails to capture biodiversity value of tropical forests. *Biological Conservation*, 2014, 178: 163-170.
- [41] Woodward R T, Wui Y S. The economic value of wetland services: a meta-analysis. *Ecological Economics*, 2001, 37(2): 257-270.
- [42] De Groot R, Brander L, Van Der Ploeg S, Costanza R, Bernard F, Braat L, Christie M, Crossman N, Ghermandi A, Hein L, Hussain S, Kumar P, McVittie A, Portela R, Rodriguez L C, Ten Brink P, Van Beukering P. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 50-61.
- [43] Rao N S, Ghermandi A, Portela R, Wang X W. Global values of coastal ecosystem services: a spatial economic analysis of shoreline protection values. *Ecosystem Services*, 2015, 11: 95-105.
- [44] Brander L M, Wagtendonk A J, Hussain S S, McVittie A, Verburg P H, De Groot R S, Van Der Ploeg S. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: a meta-analysis and value transfer application. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 62-69.
- [45] 赵玲. 基于价值转移法的自然资源游憩价值评价研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [46] 张玲, 李小娟, 周德民, 张翼然. 基于 Meta 分析的中国湖沼湿地生态系统服务价值转移研究. *生态学报*, 2015, 35(16): 5507-5517.
- [47] 张翼然, 周德民, 刘苗. 中国内陆湿地生态系统服务价值评估——以 71 个湿地案例点为数据源. *生态学报*, 2015, 35(13): 4279-4286.
- [48] 杨玲, 孔范龙, 郝敏, 李悦, 王森. 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.
- [49] Sun B D, Cui L J, Li W, Kang X M, Pan X, Lei Y R. A meta-analysis of coastal wetland ecosystem services in Liaoning Province, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2018, 200: 349-358.
- [50] Rolfe J, Bennett J. *Choice Modelling and the Transfer of Environmental Values*. Cheltenham: Edward Elgar, 2006.
- [51] Beldring S. Multi-criteria validation of a precipitation-runoff model. *Journal of Hydrology*, 2002, 257(1/4): 189-211.
- [52] Johnston R J, Rosenberger R S. Methods, trends and controversies in contemporary benefit transfer. *Journal of Economic Surveys*, 2010, 24(3): 479-510.
- [53] Johnston R J, Thomassin P J. Evaluating the Environmental Valuation Reference Inventory (EVRI): results from a survey of actual and potential users. *AERE (Association of Environmental and Resource Economists) Newsletter*, 2009, 29(1): 33-38.
- [54] Van Der Ploeg S, De Groot R S, Wang Y. *The TEEB Valuation Database: Overview of Structure, Data and Results*. Wageningen, the Netherlands: Foundation for Sustainable Development, 2010.
- [55] Vegh T, Jungwiwattanaporn M, Pendleton L, Murray B. *Mangrove Ecosystem Services Valuation: State of the Literature*. Durham, NC: Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University, 2014.
- [56] Kerr G. A New Zealand perspective on value transfer//Conference oral presentation of the 55th AARES Annual Conference. Melbourne, Victoria, 2011.
- [57] Pendleton L, Atiyah P, Moorthy A. Is the non-market literature adequate to support coastal and marine management? *Ocean & Coastal Management*, 2007, 50(5/6): 363-378.
- [58] Rosenberger R S, Stanley T D. Measurement, generalization, and publication: sources of error in benefit transfers and their management. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 372-378.
- [59] Damigos D, Kaliampakos D. Economic aspects of modern environmental policy issues: a step forward//Aravossis K, Brebbia C A, Kakaras E, Kungolos A G, eds. *Environmental Economics and Investment Assessment*. Southampton, UK: WIT Press, 2006.
- [60] McComb G, Lantz V, Nash K, Rittmaster R. International valuation databases: overview, methods and operational issues. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 461-472.
- [61] Bagstad K J, Semmens D J, Waage S, Winthrop R. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 2013, 5: e27-e39.

- [62] Natural Capital Project. InVEST: integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs. [2018-03-23]. <http://www.naturalcapitalproject.org/invest/>.
- [63] Villa F, Bagstad K J, Voigt B, Johnson G W, Portela R, Honzak M, Batker D. A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. *PLoS One*, 2014, 9(3): e91001.
- [64] Guzy M R, Smith C L, Bolte J P, Hulse D W, Gregory S V. Policy research using agent-based modeling to assess future impacts of urban expansion into farmlands and forests. *Ecology and Society*, 2008, 13(1): 37.
- [65] Ochoa V, Urbina-Cardona N. Tools for spatially modeling ecosystem services: publication trends, conceptual reflections and future challenges. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 155-169.
- [66] Waage S, Kester C. Making the Invisible Visible: Analytical Tools for Assessing Business Impacts & Dependencies Upon Ecosystem Services. San Francisco, CA; BSR's Ecosystem Services Working Group, 2014.
- [67] Sharps K, Masante D, Thomas A, Jackson B, Redhead J, May L, Prosser H, Cosby B, Emmett B, Jones L. Comparing strengths and weaknesses of three ecosystem services modelling tools in a diverse UK river catchment. *Science of the Total Environment*, 2017, 584-585: 118-130.
- [68] Shapiro C, Arthaud G, Casey F, Hogan D. Ecosystem services science, practice, and policy: perspectives from ACES, a community on ecosystem services. *Ecological Economics*, 2015, 115: 1-2.
- [69] 彭少麟. 生态文明的社会横向和历史纵向地位分析. *中国科学院院刊*, 2016, 31(11): 1271-1276.
- [70] Verkerk P J, Mavsar R, Giergiczny M, Lindner M, Edwards D, Schelhaas M J. Assessing impacts of intensified biomass production and biodiversity protection on ecosystem services provided by European forests. *Ecosystem Services*, 2014, 9: 155-165.
- [71] Costanza R, Fisher B, Mulder K, Liu S, Christopher T. Biodiversity and ecosystem services: a multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production. *Ecological Economics*, 2007, 61(2/3): 478-491.
- [72] Poorter L, Ongers F B, Aide T M, Zambrano A M A, Balvanera P, Becknell J M, Boukili V, Brancalion P H S, Broadbent E N, Chazdon R L, Craven D, De Almeida-Cortez J S, Cabral G A L, De Jong B H J, Denslow J S, Dent D H, Dewalt S J, Dupuy J M, Durán S M, Espírito-Santo M M, Fandino M C, César R G, Hall J S, Hernandez-Stefanoni J L, Jakovac C C, Junqueira A B, Kennard D, Letcher S G, Licona J C, Lohbeck M, Marín-Spiotta E, Martínez-Ramos M, Massoca P, Meave J A, Mesquita R, Mora F, Muñoz R, Muscarella R, Nunes Y R F, Ochoa-Gaona S, De Oliveira A A, Orihuela-Belmonte E, Peña-Claros M, Pérez-García E A, Piotto D, Powers J S, Rodríguez-Velázquez J, Romero-Pérez I E, Ruíz J, Saldarriaga J G, Sanchez-Azofeifa A, Schwartz N B, Steininger M K, Swenson N G, Toledo M, Uriarte M, Van Breugel M, Van Der Wal H, Veloso M D M, Vester H F M, Vicentini A, Vieira I C G, Bentos T V, Williamson G B, Rozendaal D M A. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 2016, 530(7589): 211-214.
- [73] Kassen R, Buckling A, Bell G, Rainey P B. Diversity peaks at intermediate productivity in a laboratory microcosm. *Nature*, 2000, 406(6795): 508-512.
- [74] Gamfeldt L, Snäll T, Bagchi R, Jonsson M, Gustafsson L, Kjellander P, Ruiz-Jaen M C, Fröberg M, Stendahl J, Philipson C D, Mikusiński G, Andersson E, Westerlund B, Andrén H, Moberg F, Moen J, Bengtsson J. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*, 2013, 4: 1340.
- [75] Bartkowski B. Economic Valuation of Biodiversity: An Interdisciplinary Conceptual Perspective. New York, NY: Routledge, 2017.
- [76] Loomis J B, Rosenberger R S. Reducing barriers in future benefit transfers: needed improvements in primary study design and reporting. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 343-350.
- [77] Levins R. The strategy of model building in population biology. *American Scientist*, 1966, 54(4): 421-431.
- [78] Rieb J T, Chaplin-Kramer R, Daily G C, Armsworth P R, Böhning-Gaese K, Bonn A, Cumming G S, Eigenbrod F, Grimm V, Jackson B M, Marques A, Pattanayak S K, Pereira H M, Peterson G D, Ricketts T H, Robinson B E, Schröter M, Schulte L A, Seppelt R, Turner M G, Bennett E M. When, where, and how nature matters for ecosystem services: challenges for the next generation of ecosystem service models. *Bioscience*, 2017, 67(9): 820-833.