

基于 InVEST 模型的生态系统服务功能价值 评估研究框架

杨园园¹ 戴尔阜^{2*} 付 华¹

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘 要

生态系统服务功能定量评估是合理有效利用自然资源、保护生态环境、协调自然与人类可持续发展的基础,也是生态补偿核算及生态系统综合管理的理论依据。国内外学者在生态系统服务功能分类和定量评估方面做了大量工作,目前众多分类中以 MA 的分类得到普遍认可;生态系统服务功能定量评估亦有诸多方法,其中物质量、价值量和能值方法估算结果动态性不足,且空间化表达和分析比较困难;RS 和 GIS 能实现部分功能空间化动态评估,但对旅游价值、科研文化价值估算方面则略显不足;基于 GIS 平台的 InVEST 模型以空间数据为基础,量化多种生态系统服务功能并以地图的形式表达出来,实现了生态系统服务功能定量评估的空间化和动态化,是生态系统服务功能定量评估的新方法和新工具。

关键词:生态系统服务功能,价值评估,InVEST 模型。

中图分类号:X 171.1

1 引 言

生态系统是人类生存发展的基础,不仅为人类生存提供空间,还为人类发展提供所需要的各种资源,并吸纳人类生产生活所产生的废弃物。人类从生态系统获取的各种效益统称为生态系统服务功能^[1]。自 20 世纪 70 年代初,SCEP (Study of Critical Environmental Problems) 在《人类对全球环境的影响报告》中首次提出了生态系统服务功能(Ecosystem Service)以来,有关生态系统服务功能的研究受到越来越多的关注。目前有关生态系统服务功能的研究主要包括生态系统服务功能分类、生态系统服务功能定量估算和生态系统结构与功能恢复等方面。以生态系统服务功能分类为基础的价值评估能为生态系统综合管理及生态保护措施制定提供理论依据和决策支持^[2]。

由于生态系统的复杂性及交叉性,研究者认识

的差异性,不同研究者选用不同的评估方法导致生态系统服务功能价值评估的结果存在较大差异^[3]。采用模型进行生态系统服务功能价值评估能够在此基础上统一评估结果,减小评估差异,对于生态系统服务功能综合管理和决策提供可靠的依据。因此,自然资本项目(Natural Capital Project)将 InVEST 模型引入生态系统服务功能价值评估中,为生态系统服务功能价值评估提供了新的工具和方法。

本文在综述生态系统服务功能分类的基础上,提出适用于 InVEST 模型的生态系统服务功能分类,在此基础上介绍生态系统服务功能价值评估的新工具——InVEST 模型。

2 生态系统服务功能分类

生态系统服务功能分类是生态系统服务功能价值评估的基础,直接影响价值评估的结果^[4]。由于学者对生态系统服务功能的定义不同,因而分类也存在较大差异。Costanza^[5]等将生态系统服务领域的大量研究加以总结,把生态系统的服务功能分为 17 种类型,包括气候调节、气体调节、扰动调节、水调节、废物处理、水供给、食物生产、原材料、基因资源、侵蚀控制和沉积物保持、土壤形成、养分循环、传粉、生物控制、避难所、休闲、文化;在 Costanza 分类的基

收稿日期:2011-08-29

* 基金项目:国家科技支撑计划课题(2009BAC1B05, 2008BAH31B01),国家自然科学基金项目(编号:41071060, 40701009, 40830741)

* 通讯作者:戴尔阜(1972-),男,博士,副研究员,研究方向:综合自然地理、气候变化对生态系统脆弱性影响等。
E-mail: daief@igsnrr.ac.cn

础上出现了以 Daily^[6] 为代表的三分法和以 De Groot^[7] 及联合国千年生态系统评估(Millennium Ecosystem Assessment, MA)^[11] 为代表的四分法。Daily 将生态系统服务功能划分为提供生活与生产物质基础、维持生命系统和提供生活享受三大类; De Groot^[7] 提出将生态系统服务功能划分为生产功能、承载功能、调节功能和信息功能四大类; 目前得到较大程度认可的是 MA 的分类方法, MA 将生态系统服务分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务四类, 供给服务是指生态系统生产或提供的产品, 如食物和水等物质资源; 调节服务是指调节人类生态环境的功能, 包括调控洪涝、干旱、土地退化和疾病等; 支持服务是保证其它所有生态系统服务功能提供所必需的基础功能, 支持服务对人类的影响是间接的或者通过较长时间才能发生的, 如土壤形成和养分循环; 文化服务是指人们从生态系统中获得的非物质利益, 如消遣娱乐、精神感受、美学体验等。MA 的分类框架将生态系统服务同人类福祉结合起来, 相较 Costanza 的分类系统性更强。

国内学者对生态系统服务功能的分类到目前为止也没有统一的分类标准。已有的研究中不论是整体生态系统层面还是具体生态系统或者区域层面研究中关于生态系统服务功能分类主要包括以下三种分类。

一是以欧阳志云^[8]、谢高地^[9]、孙刚^[10] 等为代表的分类, 这种分类类似于 Costanza 的分类, 侧重于生态系统本身功能, 考虑到的生态系统服务功能比较全面, 但是由于不同的生态系统服务功能差异较大, 因此学者们在研究农田生态系统^[11]、湿地生态系统^[12, 13]、森林生态系统^[14, 15]、草地生态系统^[16, 17]、河流生态系统^[18] 等具体的生态体系服务功能时根据生态系统的差异性, 提出了相应的便于研究具体生态系统服务功能的分类。

二是类似于 MA 的四分法, 如李建勇^[19] 等将生态系统服务功能划分为 4 大类: 调节功能、生境功能、生产功能、信息功能。刘纪远^[20] 等将三江源区草地生态系统系统服务功能分为生态系统结构、支持功能、调节功能和供给功能 4 大类。这种分类也是侧重考虑生态系统, 但是相比 Costanza 的分类比较简洁明了。

三是以李文华^[4]、王伟^[21]、赵荣钦^[11]、赵同谦^[22] 等为代表参考环境经济学中的“总经济价值(TEV)”理论进行的分类, 侧重于对价值的考虑。如李文华参考环境经济学中的“总经济价值(TEV)”理论, 依据人类获取经济利益的程度和期限将生态系统服务功能的价

值分为使用价值和非使用价值, 其中使用价值包括直接使用价值、间接使用价值和潜在(选择)价值, 非使用价值包括遗传价值和存在价值。

生态系统服务功能分类直接影响服务功能整体价值评估的准确性, 特别是对于同一区域不同的分类对价值评估影响很大。以三江源区为例, 刘敏超^[23]、孙发平^[24]、刘纪远^[20] 分别提出了不同的分类体系。刘敏超将三江源地区生态系统服务功能分为: 废物处理、水源涵养、气候调节、土壤形成与保护、生物多样性、娱乐文化、气体调节、原材料和食物生产; 而孙发平则将三江源生态服务价值分为使用价值和非使用价值, 使用价值包括直接使用价值和间接使用价值, 非使用价值包括存在价值、选择价值和遗产价值。刘纪远等在联合国新千年全球生态系统评估(MA)概念框架的基础上, 提出了三江源区草地生态系统系统完整的评估指标体系, 包括 4 大类(生态系统结构、支持功能、调节功能和供给功能) 15 个一级指标、75 个二级指标。同一区域按照不同分类系统计算出的生态系统服务功能价值差异很大, 刘敏超对三江源区生态系统服务功能价值估算的结果是 $3\ 377.1 \times 10^8$ 元·a⁻¹^[23], 而孙发平评估三江源区生态系统服务功能总价值达 11.55 万亿元。由此可见, 选择不同的分类方法对评估结果会有直接影响。

3 生态系统服务功能定量估算

生态系统服务功能价值评估是近 10 年来生态学和生态经济学研究的一个热点领域^[25]。科学合理的评估生态系统服务功能对于更好地发挥生态系统功能、进一步处理好区域经济发展与生态保护之间的关系, 使生态系统健康持续地为人类服务具有重要意义。国内外有大量学者从不同角度对不同生态系统服务功能做了评估。

20 世纪 90 年代之前学者们对生态系统服务功能的研究还多停留在定性研究阶段。1993 年 Cairns^[26] 分三种情景(维持现状、零损失政策和生境恢复政策)探讨了如何确定理想的生态系统服务水平。1995 年 Rapport^[27] 等将生态系统服务和管理选择作为生态系统健康的总指标, 并用环境评估、健康科学、生态科学和社会科学相结合的综合方法评估生态系统的健康状况。

20 世纪后期开始, 对生态系统服务功能价值的定量评估工作陆续展开。最具代表性的是 1987 年美国学者 Costanza 等对全球生态系统服务功能所做的价值评估。Costanza 等将生态系统服务领域的大量

研究加以总结,采用物质质量评价法、能值分析法、影子价格法、影子工程法、资产价值法、市场价值法、机会成本法、费用分析法、人力资本法、恢复费用法、防护费用法、旅行费用法、条件价值法等一系列方法分别对每一类子生态系统进行测算,最后对各生态系统服务功能价值进行求和,首次算出全球生态系统每年的服务价值高达33万亿美元^[5],是1997年全球GNP的1.8倍,证实全球生态系统潜藏有巨大的服务价值。Costanza对全球生态系统服务功能价值定量评估所采用的方法可以归纳为三类:物质质量评价方法、能值分析方法和价值量评价方法,三种方法至今应用最为广泛的是价值量评价方法,该方法主要包括影子价格法、影子工程法、资产价值法、市场价值法、机会成本法、费用分析法、人力资本法、旅行费用法、条件价值法。三种方法在生态系统服务功能价值评估中各有优缺点:物质质量评价方法适于分析生态系统服务的可持续性,价值量评价方法适于为某些工程项目立项的决策提供依据;物质质量评价方法反映的主要是生态系统的结构功能及生态过程,价值量评价方法反映的是交换价值;物质质量评价方法就较大空间尺度生态系统服务评价比价值量评价方法更有意义^[28]。能值分析方法能通过一系列指标建立经济系统与生态系统的连接桥梁,评判自然与社会发展状态,但是过于简化,存在容易产生误导和评估结果不准确等缺陷^[29]。

Costanza等对生态系统服务功能评估的研究比较全面,为生态系统服务的深入、系统和广泛研究奠定了基础。但是估算结果是静态的,且没有实现空间化,不够直观。基于此,R. Naidoo^[30]等搜集全球数据量化了四类生态系统服务功能,并将这些生态系统服务价值和其生产面积绘制成地图,对比分析生态系统服务价值和生物多样性间的关系,在生态系统服务功能评估的空间化上迈进了一步。

国内学者在评估较大尺度生态系统服务功能价值时多采用Costanza(1997)的方法。据不完全估计全国不同类型草地生态系统的年服务价值为 149719×10^8 US \$^[31,32],陆地生态系统的服务功能总经济价值达 2435.88×10^{13} 元/a^[33],可见我国生态系统具有巨大的生态效益和经济效益。

近10年来,对生态系统服务功能的研究从单一的价值评估转向对生态系统服务功能及其影响要素之间关系的研究。如2008年Erik Nelson^[34]等用一种集成模型预测了作为现存市场条件功能之一的土

地所有者决策和基于生态补偿的激励机制,并预测了其对于生态系统服务功能和生物多样性的影响。

近年来遥感技术(RS)和地理信息系统技术(GIS)快速发展为生态系统服务功能价值的准确评估提供了强大的工具。遥感技术强大的获取空间信息的优势与GIS强大的空间数据处理能力相结合使得生态系统服务功能价值评估涌现出了一批新的研究成果。于格^[35,36]等根据生态系统服务理论,应用RS和GIS方法,评价了青藏高原草地生态系统服务功能及价值随季节动态变化过程的规律。张宏锋^[37]等应用GIS空间分析技术评价了新疆玛纳斯河流域冰川生态系统服务功能,分析了受全球气候变化影响新疆玛纳斯河流域冰川面积的变化对生态系统服务价值的影响。张明阳^[38]等应用多年遥感和气象数据研究了西南喀斯特地貌区生态系统服务功能的时空变化特征,为实现生态恢复和可持续发展奠定了基础。尽管RS和GIS在生态系统服务功能价值评估中有明显的优势,但是采用RS和GIS仅能实现生态系统服务部分功能空间化动态评估,对旅游价值、科研文化价值估算方面则略显不足。

4 采用 Invest 模型进行生态系统服务功能定量估算研究框架

模型方法是联系科学理论与现实世界的桥梁,因而被广泛应用于自然科学和社会科学的研究中并产生了巨大的社会效益和经济效益。采用模型方法进行生态系统服务功能评价能够将复杂的生态系统服务问题简化成理想的简单问题,从而更便于抓住生态系统服务的本质,从不同的时间和空间尺度更系统地认识生态系统服务以使生态环境和人类社会能够协调持续发展。但到目前为止采用模型方法评估生态系统服务功能价值的还比较少,生态系统服务功能动态区划系统(SIZES)^[39]软件能够解释生态系统服务功能的空间分异特征,但是还不能实现生态系统服务功能价值的定量评估。由美国斯坦福大学、世界自然基金会(WWF)和大自然保护协会(TNC)联合开发,基于GIS应用平台,用于生态系统服务功能评估的模型系统InVEST模型填补了这一领域的空白,实现了生态系统服务功能价值定量评估的空间化。

目前该模型系统已成功应用于中国长江流域上游^[40,41]、中美洲南部的厄瓜多尔、委内瑞拉、哥伦比亚^[42,43]、中美洲伯利兹城海岸^[44]、亚洲印度尼西亚^[46]、美国夏威夷^[45]和加利福尼亚州^[47]、非洲坦

桑尼亚^[48, 49]等多个区域的生态系统服务功能评估, 为上述区域生态系统产品供给与生命支持功能的权衡、自然资本保育、土地利用规划等提供了科学支撑^[50]. 该软件旨在通过模拟预测不同土地利用情景下生态系统服务功能物质和价值量的变化, 为决策者权衡人类活动的效益和影响提供科学依据.

1) Invest 模型设计理念

生态系统服务和交易的综合评估模型(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs), 简称 InVEST, 是由自然资本项目(Natural Capital Project)所提供的软件工具, 其设计初衷是为了有效进行自然资源管理决策. InVEST 模型可以量化生态系统服务功能并以图的形式表达出来, 从而识别出在何处投资可能提高人类和大自然的福利, 十分适合分析多种服务和多种目标. InVEST 的多功能, 多模块设计为政府部门、非盈利的社会机构和企业决策者对多种资源的多种用途评估提供了一个有效的工具. 评估结果有助于管理和

合理开发利用土地等资源、保护生物多样性、协调生态系统保护与经济发展之间的关系, 维系社会和自然的利益平衡.

因此该模型较以往生态系统服务功能评估方法的最大优点是评估结果的可视化表达, 解决了以往生态系统服务功能评估用文字抽象表述而不够直观的问题.

2) 采用该模型进行计算的生态系统服务功能分类

InVEST 从最初发布至今, 共发布了 7 版, 最新的 InVEST 版本为 2.1, 该版本提供了多种生态系统服务功能评估, 包括淡水生态系统评估、海洋生态系统评估和陆地生态系统评估三大模块, 每个模块又分别包含了具体的评估项目. 淡水生态系统评估包括产水量、洪峰调节、水质和土壤侵蚀; 海洋生态系统评估包括生成海岸线、海岸保护、美感评估、水产养殖、生境风险评估、叠置分析、波能评估; 陆地生态系统评估包括生物多样性、碳储量、授粉和木材生产量(图 1).

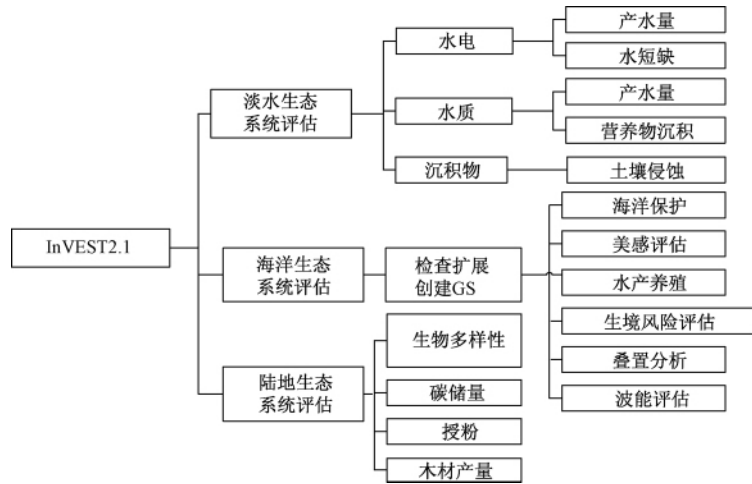


图 1 InVEST2.1 结构示意图

3) 采用 InVEST 模型进行不同生态系统服务功能定量估算的实现方法

InVEST 模型采用分级设计, 如表^[51]所示:

0 级模型	1 级模型	2 级模型	3 级模型
相对价值	绝对价值	绝对价值	绝对价值
没有对评估	通过一系列方法进行评估	通过一系列方法进行评估	通过一系列方法进行评估
一般没有严格的时间, 或采用累年平均	年均时间步长, 没有时间序列	时间步长从日到月, 有时间序列	时间步长从日到月, 时间序列同
从流域到全球适当的空间范围	从流域到全球适当的空间范围	很广, 从很小的区域到全球	从很小的区域到全球
适用于确定重要区域(高风险或专门的生态系统服务区)	适用于战略决策, 依据一定的标准做战术决策	适用于依据绝对价值做战术决策	更精确地评估生态系统服务功能
生态系统服务之间没有互动	个别生态系统服务功能间存在互动	个别生态系统服务功能间存在互动	以反馈和阈值为条件的复杂生态系统服务交互

0 级模型评估生态系统服务的相对水平或对特

殊服务需求较大的显著区域. 例如, InVEST2.1 中的

海岸线绘制仅绘制特别容易侵蚀和易发洪灾的海岸线, 没有对生态系统服务功能作评估. 1 级模型有一定的理论基础并且很简单, 是能抓住问题本质设计的最简单的模型. 1 级模型适用于能够获得比 0 级更多的数据, 但仍旧满足相对较少的数据需求. 通过 1 级模型可以确定生态系统服务功能区域差别及生物多样性, 当前或未来条件下生态系统服务的平衡和协调. 所有 1 级模型均可输出绝对价值, 并为用户提供经济价值评估的选择(除生物多样性外). 更为复杂的 2 级模型主要用来评价生物多样性及其他一些生态系统服务功能. 2 级模型能够更为精确的评估生态系统服务功能及其价值, 评估结果对于制定生态补偿方案具有重要意义. 用户可以将 0 级、1 级和 2 级模型很好地配合使用从而创造出最适用于自己研究工作和感兴趣的问题的模型. 在另外一些情况下(如渔业), 一些特殊的地方已经可以使用 3 级模型.

InVEST2.1 融合了 0 级和 1 级模型. 工作组将设计一个 2 级平台用来整合 0、1、2 和 3 模型中的不同应用. InVEST2.1 能够有效模拟决策过程, 实现对陆地、淡水和海洋生态系统服务功能价值评估的定量化和空间化. 具体实现流程如图:

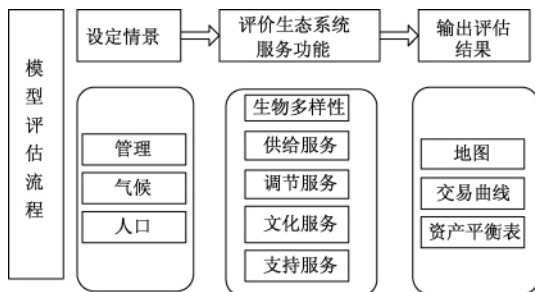


图 2 InVEST 模型嵌入决策过程图解

用户通过生物物理和经济模型对生态系统服务功能进行评估, 生成几种不同类型的输出结果.

首先, 通过讨论, 确定政策制定者、社团、保护组织感兴趣的问题. 这些问题可能是目前某景观上的生态系统服务交易及这些服务未来如何受到新程序、政策、和条件的影响. 关于未来的问题, 通过情景

设定来探索预期的变化对自然资源的影响. 这些情景通过未来土地利用和土地覆被图, 或未来海岸线和海洋使用及沿海/海洋栖息地图等地图形式表达.

讨论确定情景后, InVEST 能够评估当前和未来情景下生态系统服务总量和价值. InVEST 模型使用地图数据作为信息源并且输出地图从而实现空间显示. 模型适用的信息源数据的空间分辨率比较灵活, 而且适用范围广, 能解决局部、区域和全球范围问题. InVEST 生成的结果或以生物物理形式(如固定的碳)或以经济形式(如固定下来的碳的净价值)反馈, 反馈结果可为用户和决策者提供决策依据.

5 结论与讨论

1) 生态系统服务功能定量评估为合理有效利用自然资源, 保护生态环境, 协调自然人类可持续发展奠定了基础, 同时也为生态补偿核算及生态系统综合管理提供理论依据和决策支持. 国内外在生态系统服务功能分类和定量评估等方面开展了大量工作. 以 MA 等为代表的生态系统服务功能分类为生态系统服务功能的评估提供了基础, 在此基础上学者们采用不同的方法估算了全球及各个国家和地区的生态系统服务功能价值. 评估结果在统筹资源管理、优化资源配置、协调人地关系、促进可持续发展等方面等具有不可估量的作用.

2) 采用模型方法进行生态系统服务功能定量评估具有很大的优势. 模型方法在抓住问题本质的前提下将复杂的实际问题简化成理想的简单问题, 从而使问题简明扼要.

3) 采用 Invest 模型进行生态系统服务功能定量评估具有很大的优势, InVEST 模型是基于 GIS 平台的, 能够将 RS 和 GIS 的优势结合起来, 不仅解决了生态系统服务功能定量评估空间化的问题, 也可以实现对生态系统服务功能的动态评估. 此外, InVEST 模型可对设定情景进行模拟, 多模块设计适合分析多种服务和多种目标, 是决策者进行决策和规划的有效工具.

参 考 文 献

- [1] 张永民. 千年生态系统评估-生态系统与人类福祉评估框架[M]. 2007, 北京: 中国环境科学出版社.
- [2] 彭怡. InVEST 模型在生态系统服务功能评估中的应用研究——以四川汶川地震灾区为例[D]. 2010, 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所: 成都.
- [3] 秦艳芳, 周可法, 孙莉. 生态系统服务的价值评估方法研究[J]. 新疆地质, 2008(1): 第 100 - 106 页.
- [4] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M]. 2008, 北京: 中国人民大学出版社.

- [5] Costanza R. ,et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature ,1997. 387.
- [6] Daily ,G. C. Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystem[M]. 1997 ,Washington D. C: Island Press.
- [7] De Groot R. S. Evaluation of nature in environmental planning ,management and decision making [M]. 1992 ,Amsterdam: Wolters-Noordhoff.
- [8] 欧阳志云 ,王如松. 生态系统服务功能、生态价值与可持续发展[J]. 世界科技研究与发展 ,2000(5) : 第 45-50 页.
- [9] XIE Gaodi ,ZHEN Lin ,LU Chunxia ,et al. Applying Value Transfer Method for Eco-Service Valuation in China [J]. Journal of Resources and Ecology ,2010(1) : p51 - 59.
- [10] 孙刚 ,盛连喜 ,冯江. 生态系统服务的功能分类与价值分类[J]. 环境科学动态 ,2000(1) : 第 19 - 22 页.
- [11] 赵荣钦 ,黄爱民 ,秦明周 ,等. 农田生态系统服务功能及其评价方法研究[J]. 农业系统科学与综合研究 ,2003(4) : 第 267 - 270 页.
- [12] 刘向华. 生态系统服务功能价值评估方法研究——基于三江平原七星河湿地价值评估实证分析[M]. 2009 ,北京: 中国农业出版社.
- [13] 陈庆 ,蔡永立 ,罗坤. 蚌埠市三汊河湿地生态系统服务功能价值评价[J]. 湿地科学 ,2007(4) : 第 334 - 340 页.
- [14] 靳芳 ,鲁绍伟 ,等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 应用生态学报 ,2005(8) : 第 1531 - 1536 页.
- [15] 赵同谦 ,欧阳志云 ,等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报 ,2004(4) : 第 480 - 491 页.
- [16] 刘兴元 ,龙瑞军 ,等. 草地生态系统服务功能及其价值评估方法研究[J]. 草业学报 ,2011(1) : 第 167 - 174 页.
- [17] 赵同谦 ,欧阳志云 ,等. 草地生态系统服务功能分析及其评价指标体系[J]. 生态学杂志 ,2004(6) : 第 155 - 160 页.
- [18] 肖建红 ,施国庆 ,等. 河流生态系统服务功能经济价值评价[J]. 水利经济 ,2008(1) : 第 9 - 11 + 25 + 75 页.
- [19] 李建勇 ,陈桂珠. 生态系统服务功能体系框架整合的探讨[J]. 生态科学 ,2004(2) : 第 179 - 183 页.
- [20] 刘纪远 ,邵全琴 ,等. 三江源区草地生态系统综合评估指标体系[J]. 地理研究 ,2009(2) : 第 273 - 283 页.
- [21] 王伟 ,陆健健. 生态系统服务功能分类与价值评估探讨[J]. 生态学杂志 ,2005(11) : 第 64 - 66 页.
- [22] 赵同谦 ,欧阳志云 ,等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报 ,2003(4) : 第 443 - 452 页.
- [23] 刘敏超 ,李迪强 ,等. 三江源地区生态系统服务功能与价值评估[J]. 植物资源与环境学报 ,2005(1) : 第 40 - 43 页.
- [24] 孙发平 ,曾贤刚. 中国三江源区生态价值及补偿机制研究[M]. 2008 ,北京: 中国环境科学出版社.
- [25] 杨光梅 ,李文华 ,等. 对我国生态系统服务研究局限性的思考及建议[J]. 中国人口. 资源与环境 ,2007(1) : 第 85 - 91 页.
- [26] Cairns J. ,Determining desirable levels of ecosystem services [J]. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery (Formerly Journal of Aquatic Ecosystem Health) ,1993. 2(4) : p. 237.
- [27] Rapport ,D. J. ,Ecosystem services and management options as blanket indicators of ecosystem health [J]. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery (Formerly Journal of Aquatic Ecosystem Health) ,1995. 4(2) : p. 97.
- [28] 赵景柱 ,萧寒 ,等. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 应用生态学报 ,2000(2) : 第 290 - 292 页.
- [29] 魏胜文 ,陈先江 ,等. 能值方法与存在问题分析[J]. 草业学报 ,2011(2) : 第 270 - 277 页.
- [30] R. Naidoo et al. ,Global mapping of ecosystem services and conservation priorities[J]. PNAS 2008. 105(28) : p. 9495 - 9500.
- [31] 谢高地 ,张钰铨 ,等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报 ,2001(1) : 第 47 - 53 页.
- [32] 谢高地 ,鲁春霞 ,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报 ,2003(2) : 第 189 - 196 页.
- [33] 欧阳志云 ,王效科 ,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报 ,1999(5) : 第 19 - 25 页.
- [34] Erik Nelson ,S. P. D. J. ,W. D. B. Denis and A. J. J. Lawler ,Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape[J]. PNAS 2008. vol. 105(no. 28) : p. 9471 - 9476.
- [35] 于格 ,鲁春霞 ,等. 基于 RS 和 GIS 的青藏高原草地生态系统土壤水分保持功能及其经济价值评估——以生长季为例[J]. 山地学报 ,2006(4) : 第 498 - 503 页.
- [36] 于格 ,鲁春霞 ,谢高地. 青藏高原草地生态系统服务功能的季节动态变化[J]. 应用生态学报 ,2007(1) : 第 47 - 51 页.
- [37] 张宏锋 ,欧阳志云 ,等. 新疆玛纳斯河流域冰川生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报 ,2009(11) : 第 5877 - 5881 页.

- [38] 张明阳,王克林,等. 喀斯特生态系统服务功能遥感定量评估与分析[J]. 生态学报, 2009(11): 第 5891 – 5901 页.
- [39] 史娜娜,战金艳,等. 生态系统服务功能动态区划系统及其在鄱阳湖湖区的应用[J]. 生态学杂志, 2009(9): 第 1909 – 1914 页.
- [40] Wang Yukuan, et al. ,Mapping Ecosystem Function Conservation Areas to Integrate Ecosystem Services into Land Use Plans in Baoxing County ,China. . 2010.
- [41] China Demonstration Site Towards harmony of man and nature through conservation of ecosystem services.
- [42] Rebecca L Goldman ,et al. ,Linking People and Nature through Watershed Conservation in the East Cauca Valley , Colombia. 2010.
- [43] Rebecca L Goldman ,et al. ,water funds: Protecting watersheds for nature and people. Not Peer-reviewed: The Nature Conservancy Arlington ,VA 2010.
- [44] Managing Director Mary Ruckelshaus ,L. S. A. G. ,Marine InVEST. <http://www.naturalcapitalproject.org>
- [45] Joshua H. Goldstein ,G. C. C. C. and G. M. K. S. McKenzie ,Integrating Ecosystem Services into Land-Use Planning in Hawai'i. 2010.
- [46] Thomas Barano ,et al. ,Integrating Ecosystem Services into Spatial Planning in Sumatra ,Indonesia. 2010.
- [47] Sierra Nevada ,California Demonstration Site. <http://www.naturalcapitalproject.org>
- [48] Eastern Arc Mountains ,Tanzania Demonstration Site Valuing the Arc: Linking science with stakeholders to sustain natural capital.
- [49] Eastern Arc Mountains ,Tanzania Demonstration Site. <http://www.naturalcapitalproject.org>
- [50] http://www.cees.ac.cn/gjll/hzjl/201010/t20101013_2986155.html.
- [51] Heather Tallis ,T. R. A. A. ,ed. InVEST 2.1 Beta User's Guide: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs. 2011.

The Assessment Framework of Ecosystem Service Value Based on InVEST Model

Yang Yuanyuan¹ Dai Erfu^{2*} Fu Hua¹

(1. The Institute of Resource Environment and Tourism of Capital Normal University ,Beijing 100048;

2. The Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research ,CAS , Beijing 100101)

Abstract

The quantitative evaluation of ecosystem service is the foundation of reasonable and effective use of natural resources , protection of the ecological environment , harmonious development between the human and the nature , and is also the theoretical basis of ecological compensation and Ecosystem service comprehensive management. Scholars both at home and abroad do a lot of work in the ecosystem service function classification and quantitative evaluation. At present , the classification of MA is the more recognized in many classifications. In many of the quantitative evaluation method , the content quality method , the magnitude value method and the energy analysis method which used to estimate produce static result , and not realize the spatialization; RS and GIS can realize the function of dynamic and spatial evaluation , but not sufficient for tourism value , scientific research and cultural value estimated; The InVEST model based on GIS platform , using map as the data source , quantify multiple ecosystem service and export the evaluation result in the form of map , realize the spatial and dynamic evaluation of the ecosystem service , is the new method and new tool for quantitative evaluation of ecosystem service.

Key words: ecosystem service , value assessment , InVEST model.

作者简介 杨园园(1985 -) ,女, 硕士研究生, 研究方向: 综合自然地理。