

基于 GIS 的生态系统服务直接利用价值评估方法

陈能汪*,张潇尹,卢晓梅 (浙江大学环境科学系,浙江 杭州 310028)

摘要:针对目前生态系统服务直接利用价值评估中缺乏空间表达、对数据要求高、评估效率低等不足,初步构建了适用于县域尺度的生态系统服务(产品提供和娱乐文化)直接利用价值评估框架与技术方法,确定评估过程与关键步骤,初步形成一套基于 GIS 的科学高效的农业服务价值、森林木材价值和旅游价值的空间表达技术方法.对浙江省天台县生态系统服务直接利用价值进行空间分配与评估.2005 年全县生态系统服务直接利用价值达 5.38 亿元,其中以农业服务价值为主(65%),其次是森林木材价值(30%),旅游价值所占比例较低(5%).生态系统服务直接利用价值与产品及服务的空间分布状况密切相关,存在高度的空间变化.

关键词:生态系统服务;直接利用价值;地理信息系统(GIS);评估方法

中图分类号: X82 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2008)07-0661-06

Mapping direct use value of ecosystem services: a GIS-based approach. CHEN Neng-wang*, ZHANG Xiao-yin, LU Xiao-mei (Department of Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China). *China Environmental Science*, 2008,28(7): 661~666

Abstract: A GIS-based approach designed for spatially valuation and visualization was developed to estimate direct use value of ecosystem service and to map results for a case study representing a county scale. The approach highlights the use of GIS to collect data, spatial analysis, and calibrate economic values of ecosystem service. Three core steps of spatial valuation for agricultural products, forest products, and tourism assets were investigated in the technical framework. The GIS-based approach was implemented in a case of Tiantai County, Zhejiang province in southeast China. Selected components of natural products and tourism assets in the Tiantai County were mapped as data layers in a GIS, with each layer containing monetary values for every 25m cell. The results of this case study showed that a total value of 538 million RMBs in 2005, 8.6% of GDP, was mostly contributed by agricultural products (65% of total value) and forest products (30% of total value). A current low economic value of tourism assets can be increased by development of eco-tourism and ecosystem-based conservation and management. The economic value maps of ecosystem service can be used to obtain distribution of the natural capital and identify regions needed more concern. The present study demonstrates that GIS is a powerful tool for mapping direct use value of ecosystem service, and also provides a solid foundation for integrated valuation of regional ecosystem, eco-environmental zoning and planning, as well as policy making.

Key words: ecosystem services; direct use value; geographic information system (GIS); evaluation approach

生态系统服务价值评估已成为当前生态经济学领域的研究热点^[1-2],生态系统服务价值可分为直接利用价值、间接利用价值、选择价值与存在价值^[3].对各类生态系统服务价值的科学评估是区域生态系统管理的重要基础,国内外对不同尺度生态系统服务价值的评估方法进行了大量的探索与实践^[4-10].目前在生态系统服务直接利用价值(产品或服务价值)评估中,主要利用国民经济统计数据(如每个县的 GDP)进行计算和描述,这在宏观尺度(如全国、省、市)评估中尚可

接受.然而在县域尺度评估中,尤其在南方丘陵地区自然资源与地理特征高度异质的情况下,现有县级统计数据的精度决定了产品或服务价值往往只能以单一的数值表示,难以实现空间表达,不能体现产品或服务的空间变化,因此无法与土壤保持等生态系统服务间接利用价值评估结果进行

收稿日期: 2007-12-03

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y507063);浙江省教育厅科研资助项目(20070210)

* 责任作者, 博士, nwchen@zju.edu.cn

空间上的叠加,一定程度上影响了评估结果的科学性和指导作用.为此,本研究主要探讨如何在县域尺度上,将现有统计数据进行产品或服务价值的空间分配与表达,初步建立基于GIS的生态系统服务直接利用价值的空间表达技术方法和评估框架,为区域生态环境功能区规划、生态系统管理和生态补偿机制等政策制定提供有力支撑.

1 评估方法

1.1 直接利用价值的界定

直接利用价值即生态系统产品价值,是指自然生态系统为人类提供的产品或服务的价值.受资料的可获性和有效性限制,在大多数评估研究中主要考虑国民经济统计涉及的自然生态系统提供的农业服务价值、森林木材价值和旅游价值(又称娱乐文化价值)3部分.农业包括种植业、林业、牧业和渔业等,具体包括:粮食、油料、糖料、棉花、麻类、甘蔗、烟叶、药材、蔬菜、花卉、瓜类和其他农作物,以及来自茶园、果园、桑园

的产品;林业包括林木栽培、林产品的采集和林木采伐;牧业包括除渔业养殖以外的一切动物饲养和放牧.森林木材价值,主要计算森林生产活立木的价值^[6].旅游价值则体现为一个地区的旅游收入,是指以自然生态景观和人文生态景观为消费客体,旅游者置身其中享受陶冶性情、净化心灵和增长见识等服务时的支付意愿.

1.2 评估技术框架

对生态系统服务直接利用价值进行评估和空间维度上的表达,包括以下3个关键步骤:研究区识别.综合考察研究区生态系统特征,识别评估对象,确定评估项目;资料收集与数据库建立.收集评估工作需要的相关资料与图件,利用GIS平台建立空间数据库与属性数据库;GIS分析与空间表达.基于生态系统产品和娱乐文化资源(如景点)的空间分布,确定评价指标与相关系数,利用GIS的空间分析功能,进行价值计算与可视化表达.评估技术框架见图1.

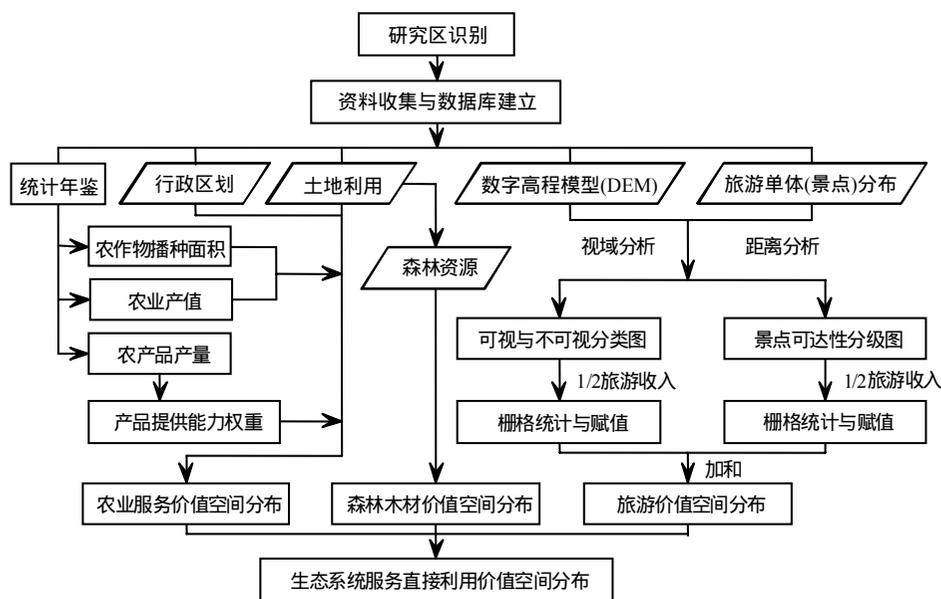


图1 生态系统服务直接利用价值评估技术框架

Fig.1 A valuation framework for mapping direct use value of ecosystem service

1.3 资料收集与数据库建立

图件主要包括数字高程模型(DEM)、土地利用图、森林资源分布图、旅游资源分布图和行政

区划图等,其来源包括测绘局、国土资源局、林业局、旅游局和民政局等.部分县域可能无森林资源分布图,可从土地利用分布图中提取,或者通

过遥感影像解译得到,纸质图件通过 GIS 软件(如 MapInfo)进行坐标配准和矢量化,也可直接购买电子数据。所有数据图层(包括栅格数据和矢量数据两种格式)按研究区边界拼合、裁剪处理后,转换为一致的投影坐标系统(如西安 80 或北京 54),以便后续的空间分析。空间分析平台可采用 ArcGIS 或 ArcView。此外,还需收集或购买统计年鉴、旅游资源调查报告、森林资源调查报告等有关资料,用于建立属性数据库。

1.4 农业服务价值评估

从统计资料中获得各种农产品和林产品的产值和产量,结合土地利用图,在 GIS 技术支持下,进行农业服务价值评估与空间表达。评估步骤如下:统计各种农产品和林产品净产值(指一定时期内农业劳动者从事农业生产劳动中新创造的价值,等于总产值扣除中间消耗),除以种植面积(播种面积除以复种指数),得到单位面积产值;将各种农产品的单位面积产值经种植面积加权后赋给相应的土地利用图斑(考虑到土地利用分类与产品分类不能一一对应,如耕地可能种植粮食,也可能种植蔬菜,因此在赋值前,应根据各种产品的实际种植面积进行加权平均);产品提供能力空间差异的修正。土壤肥力空间差异大,各地农作管理水平也不尽一致,因此同种产品的产量即产品提供能力在地区之间(如不同乡镇)必然存在差异,为准确表达农业服务价值的空间分布,可计算各种农产品在各个乡镇中的亩产与全县平均亩产的比值作为修正权重系数,并赋给相应的行政区划(乡镇)图斑;将土地利用图与行政区划图进行叠加分析,利用修正权重系数乘以加权得到的单位面积产值,即得各个图斑的农业服务价值;对价值字段进行栅格化,形成农业服务价值空间分布图。

1.5 森林资源价值评估

基于森林资源分布图,采用市场价值法计算各种林分的价值。评估步骤如下:确定森林生态系统林分(优势物种)分布,根据森林资源调查资料,统计林分年净生长蓄积量;确定活立木林价,乘以蓄积量,得到各种林分木材价值;利用 GIS 软件,将各种林分木材价值赋给相应的森林资源分布

图斑,栅格化后形成森林木材价值空间分布图。森林资源价值计算公式为:

$$V_f = M \cdot P \quad (1)$$

式中: M 为蓄积量, m^3 ; P 为活立木林价, 元/ m^3 。

1.6 旅游价值评估

根据 DEM 和景点分布图,从景点可达性、景点可视性 2 个方面进行旅游收入的分配与空间表达。评估步骤:假设旅游收入主要由景点可达与可视 2 部分贡献^[4],并对半分配作为景点可达性计算和景点可视性计算的价值基数(各 1/2 旅游收入);遵循距离景点越近价值越高的原理,利用景点分布图进行距离分析,基于专业经验和文献资料^[4],按距离景点 100,500,1000,5000m 划分成 5 个距离等级图斑,并假设其价值分别占 1/2 旅游收入的 30%,25%,20%,15%,10%,除以各等级图斑的栅格总数,完成旅游收入在景点可达性方面的空间分配过程。

利用景点分布图和 DEM,通过 ArcView 的视域分析模块(Viewshed),确定景点可视与不可视单元格,不可视单元格价值为 0,对于可视单元格,首先统计各单元格可见到的景点数(1~ n),再将不同景点数与相应的栅格数相乘加和,得到参与分配的总栅格数,最后平均分配另外 1/2 旅游收入,从而完成旅游收入在景点可视性方面的空间分配过程;加和景点可达与可视 2 部分价值分配结果,产生旅游价值空间分布图。

涉及的计算公式包括:

$$V_t = V_t(a) + V_t(b) \quad (2)$$

式中: $V_t(a)$ 为景点可达部分价值; $V_t(b)$ 为景点可视部分价值,各占旅游收入的 50%。

$$V_t(a) = \sum A_{\text{cell}} \cdot P_i \quad (3)$$

式中: A_{cell} 为按距离划分的不同等级单元格; P_i 为单元格所分配到的平均收入,元/格。

$$V_t(b) = \sum B_{\text{cell}} \cdot P_i \quad (4)$$

式中: B_{cell} 为景点可视单元格; P_i 为可视单元格所分配到的平均收入元/格。

1.7 直接利用价值综合评估

将 1.4 节、1.5 节、1.6 节产生的 3 个图层进行栅格加和运算,即可得到生态系统服务直接利用价值的空间分布图。利用 ArcView 软件

的 Zonal statistics 统计模块,进行相关统计,进而综合评估生态系统服务价值的空间分布,为区域生态环境功能区划和差别化管理提供定量支持.

2 案例研究

2.1 研究区概况

天台县位于浙江省东部,地处 120°41'E~121°15'E,28°57'N~29°20'N.东西长 54.7km,南北宽 33.5km,总面积 1423.8km².境内山脉连绵,是典型的山区盆地.天台县位于中亚热带季风气候区,

降水丰富、热量充足,主要土地利用与种植作物见表 1.天台县森林覆盖率达 63%,林业总蓄积 192.7 万 m³,其中针叶林占 91%,阔叶林占 1.6%,针阔混交林占 7.4%.群落结构和树种单一,松类面积占 84.7%,杉木面积占 3.8%;按龄组结构分,幼龄林面积占 53.5%,中龄林面积占 33.0%,近熟林面积占 10.5%,成熟林面积占 3.0%.天台县拥有丰富的旅游资源,有上等级的旅游资源单体(景点)268 个,平均单体密度为 0.19 个/km².旅游收入主要来自属于自然生态景观和人文生态景观的 72 个景点.

表 1 天台县土地利用分类与作物种植情况

Table 1 Landuse and crops in Tiantai County

土地利用分类	面积(km ²)	所占比例(%)	种植作物
耕地(灌溉水田)	131.4	9.2	生产粮食、甘蔗、花卉园艺、蔬菜、药材等
耕地(望天田)	70.4	4.9	生产高山蔬菜、粮食、其他农作等
耕地(旱地)	115.1	8.1	生产棉花、麻类、油料、药材、粮食等
林地(经济林)	51.4	3.6	生产水果、茶叶、蚕茧等
林地(灌木、疏木林)	46.1	3.3	提供林木产品及林副产品
林地(有林地)	834.5	58.6	提供林木产品及林副产品
林地(其他林地)	19.2	1.4	提供林木产品及林副产品
水体	40.5	2.8	包括河流、水库、养殖水面和坑塘水面
其他用地	115.2	8.1	包括城镇用地、交通用地和未利用地

2.2 数据库

根据天台实际建立基础数据库.DEM(25m)按行政区边界进行拼幅、裁剪;纸质土地利用现状图(1:5 万)经配准矢量化;景点分布经纬度资料经坐标转换导入.所有图层的投影坐标系统均统一为西安 80 坐标.天台县 2005 年农业总产值为 53421 万元*,扣除农业中间消耗 18695 万元,农业净产值为 34726 万元.将天台县主要林地分为松类、杉木、阔叶类和其他共 4 类,其年净生长蓄积量分别为 446155,20016,9261,42834m³.参考王如松等^[11]的研究成果和有关数据,确定其木材价值分别为 350,315,280,250 元/m³.天台县 2005 年 72 个景点门票收入 1382 万元*,考虑到目前多数景点未设门票,而且存在门票管理等问题,确定实际旅游收入为统计门票收入的 2 倍,即 2764 万元.利用前述评估方法,对全县范围农业服务、森林木材和旅游价值进行计算

与空间表达.GIS 工作平台采用 ArcView3.3 和 MapInfo7.5,评价单元格统一为 25m,所有价值以 2005 年当年价计.

2.3 结果与讨论

根据所建立的评估技术方法,得到天台县农业服务价值分布[图(2a)],其空间差异很大,这与土地利用现状直接相关[图(2b)].按单元格统计,其价值从 0 到 1064.3 元/格不等,按乡镇平均值统计,最大值 43.6 万元/km²(天台中部的始丰街道)与最小值 3.1 万元/km²(林地为主的里石门水库管理区)相差 14 倍.由图 2 可见,农业服务价值集中分布在天台县中部盆地农业发达区域,该区域主要种植蔬菜、水果、茶叶、蚕茧、药材等经济作物.天台县森林木材价值总计 16076 万元,主要分布在天台县四周林地.天台县旅游价值分布见图 3(a).图 3(b)显示了价值分配过程.可达性计算时,不同距离

* 天台县统计局.天台县统计年鉴.2005.

的单元格其价值不同,如>5000m 为 0.12 元/格, 1000~5000m 为 1.57 元/格.同理,景点可视的单元格也因其可见到的景点数多少呈现不同的价值.按栅格统计得到旅游总价值为 2758 万元,与 2005 年天台旅游收入 2764 万元相差 0.2%,较好地完成了价值的空间分配.按乡镇统

计,旅游价值最高的是赤城街道(394.8 万元),其次是街头镇(356.7 万元);单位面积价值最高的是华顶山国家森林公园(7.1 万元/km²),其次是华顶林场(5.0 万元/km²),这与它们拥有丰富的旅游资源相一致,该区域是天台县的重点旅游开发区.

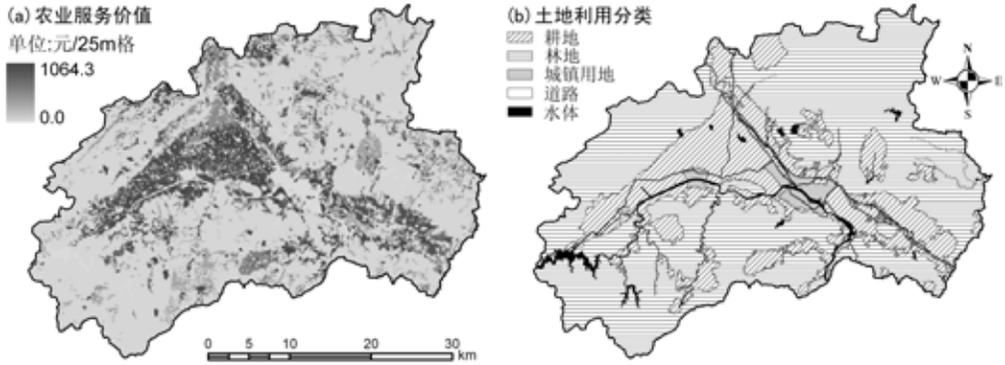


图 2 天台县农业服务价值空间分布与土地利用情况

Fig.2 Mapping the economic value of agricultural products for Tiantai County, and combined land use.

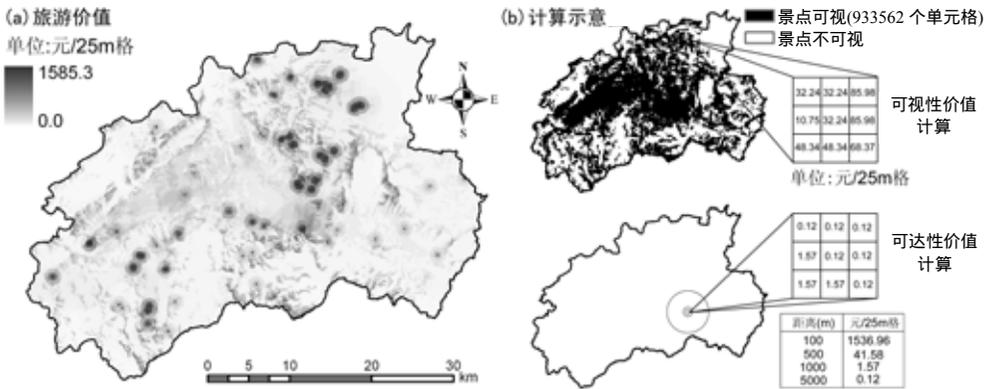


图 3 天台县旅游价值空间分布及其计算示意

Fig.3 Mapping the economic value of tourism for Tiantai County, and sketch map of calculation

综合以上 3 种类型生态系统服务价值,天台县 2005 年生态系统服务直接利用价值达 5.38 亿元,是当年 GDP(62.50 亿元)的 8.6%,其中以农业服务价值为主(65%),其次是森林木材价值(30%).旅游价值较低,仅占 5%.然而,天台县生态环境良好,景观资源丰富,今后在保护生态环境的同时,可重点发展生态旅游,提升生态系统的娱乐文化服务功能,增加旅游收入,提高文化服

务价值.

从评估结果发现,生态系统服务直接利用价值与间接利用价值一样,均存在高度空间异质性,若不进行价值的空间分配过程,各项直接利用价值只能按乡镇统计数据或全县单一数值进行表示,难以体现空间差异.如农业服务价值与作物种类、播种面积、土壤肥力、农作物管理水平等多种因素有关,空间差异很大,若采用各乡镇统计数

据表示该项服务价值,一定程度上掩盖了其空间分布特征.旅游价值与景点资源的分布、景点可达性与可视性有密切关系,如果仅以全县统计数据表示,就难以区分哪些区域是旅游资源重点保护范围.通过直接利用价值空间分配过程,结合间接利用价值评估结果,有利于对特定范围(县域)的生态系统服务能力进行全面的分析.

3 结语

利用 GIS 技术在数据采集和空间分析上的优势,建立县域尺度生态系统服务直接利用价值的评估技术框架,确定评估过程与关键步骤,初步形成一套科学高效的农业服务价值、森林木材价值和旅游价值的空间表达技术方法.根据服务价值大小可确定不同区域的主导生态服务功能,在此基础上进行生态环境功能区划,明确生态保护和生态系统管理的重点,实现不同功能分区的差别化管理.此外,生态系统服务价值评估结果还可以为生态补偿机制的建立提供定量数据支持,可根据生态服务能力和贡献大小,计算环境保护基本公共服务财政转移支付额度.

参考文献:

- [1] Costanza R, d'Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(6630):253-260.
- [2] Daily G C, Soderqvist T, Aniyar S, et al. *Ecology-The value of*

nature and the nature of value [J]. *Science*, 2000, 289(5478): 395-396.

- [3] Tuner K. Economics and wetland management [J]. *Ambio*, 1991,20(2):59-61.
- [4] Eade J D O, Moran D. Spatial economic valuation: benefits transfer using geographical information systems [J]. *Journal of Environmental Management*, 1996,48(2):97-110.
- [5] Troy A, Wilson M A. Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer [J]. *Ecological Economics*, 2006,60(2):435-449.
- [6] 薛达元,包浩生,李文华.长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估 [J]. *中国环境科学*, 1999,19(3):179-223.
- [7] 欧阳志云,王效科,苗 鸿.中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究 [J]. *生态学报*, 1999,19(5):607-613.
- [8] 陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值 [J]. *科学通报*, 2000, 45(1):17-22.
- [9] Guo Z W, Xiao X M, Gan Y L, et al. Ecosystem functions, services and their values - a case study in Xingshan County of China[J]. *Ecological Economics*, 2001,38:141-154.
- [10] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估 [J]. *自然资源学报*, 2003,18(2):189-196.
- [11] 王如松,林顺坤,欧阳志云.海南生态省建设的理论与实践 [M]. 北京:化学工业出版社, 2004:95-96.

作者简介:陈能汪(1976-),男,福建德化人,讲师,博士,主要从事区域生态规划和流域生态过程的理论与方法研究.发表论文 20 余篇.

致谢:浙江省环境保护局和天台县政府有关部门提供图件资料,部分数字化工作由浙江大学环境工程设计所杨小娟完成,在此表示感谢.

《中国环境科学》获 2008 年度中国科协精品科技期刊工程项目资助

《中国环境科学》获得 2007 年度中国科协精品科技期刊工程项目资助后,于 2008 年继续获得该项目资助.《中国环境科学》将充分利用中国科协精品科技期刊工程项目资助经费,在广大环境保护科技人员的大力支持下,将《中国环境科学》办得更好,使《中国环境科学》在促进环境科学的学科发展,环境保护科研成果的推广和国内外学术交流中发挥更大的作用.

《中国环境科学》编辑部