

基于数据包络分析的生态服务评估问题研究

Research on Ecological Service Assessment Based on Data Envelopment Analysis

于风晓 马玲岩 孙文童 张瑞卿 姚道洪

Fengxiao Yu Lingyan Ma Wentong Sun Ruiqing Zhang Daohong Yao

青岛理工大学
中国·山东 临沂 273400
Qingdao University of Technology,
Linyi, Shandong, 273400, China

【摘要】随着经济社会的不断发展,生态环境问题引起了人们的高度重视,而在土地利用开发项目过程中忽略生态系统服务和变化从而导致片面的成本评估问题,成为亟待解决的焦点。论文利用数据包络分析的方法,建立了生态服务评估和成本效益的模型,得出所选的8个区域的生态服务成本及经过计算分析得出环境成本对效益有显著影响,最后,从生态环境成本角度对生态系统服务的问题进行剖析,向土地利用项目规划人员和管理人员提出要建立环境成本责任中心的机制。

【Abstract】With the continuous development of economy and society, ecological environment problems have aroused people's great attention, and the neglect of ecosystem services and changes in the process of land use and development projects leads to the one-sided cost assessment problem, which has become the focus to be solved urgently. Paper by using the method of data envelopment analysis (dea), ecological service assessment and cost-benefit model is established, it is concluded that the selected eight regional ecological service cost and through calculation and analysis of environment cost has a significant effect on efficiency, finally, from the perspective of ecological environmental cost problem of ecosystem services, the project of land use planning and management personnel to set up the system of responsibility center of environment cost is put forward.

【关键词】生态服务评估;数据包络分析;成本效益

【Keywords】ecological service evaluation; data envelopment analysis; cost effective

【DOI】10.36012/emr.v1i3.886

1 引言

生态系统服务既可以保证人类的资本利益,又能考虑到环境的保护^[1]。在土地利用开发过程中,影响土地利用开发的因素有很多,而且具有研究范围宽泛、信息量较大的特点,但都存在一些考虑不足的情况,国际上的相关专家也做了很多的贡献,也有了一些成果。王筱明等^[2]建立了C2R模型对中国山东省的土地利用效率进行了研究,发现土地利用效率相差较大并且由东向西逐渐降低;佟香宁等^[3]探讨了指标体系的构建,并建立了相应的评价模型;刘坚等^[4]分析了中国江苏省城市土地利用结构效应并给出用地结构控制建议;宫继萍等^[5]对土地经济效益进行定量分析与评价。由此可以看出,前人所

做的工作都没有将生态环境的成本作为投入指标来对生态服务评估进行定量性的研究。论文为了弥补不足,做了以下相关方面的研究。

首先,选择不同规模、不同类型的区域作为分析对象,求得各区域的单位生态服务价值含量作为生态服务的环境成本。其次,利用数据包络分析方法建立了成本效益评估模型。以所选8个区域为例,对调整环境成本指标值前后的有效性进行对比,得到环境成本对效益有明显影响的结论,并对该模型进行有效性分析。最终,结合所建模型及其计算结果的分析,向土地利用项目规划人员和管理人员提出决策建议,强调环境成本在项目成本分析中的重要性。

表 1 江苏省单位面积生态服务价值当量

一级类型	二级类型	林地	牧地	园地	耕地	未利用地	其他用地
调节服务	气体调节	1.08	3.11	1.74	0.52	0.37	0.04
	气候调节	1.12	2.93	9.76	0.7	1.48	0.09
	水文调节	1.09	2.94	9.68	0.55	13.51	0.05
	废物处理	0.95	1.24	10.37	1	10.69	0.19
	保持土壤	1.61	2.89	1.43	1.06	0.3	0.12
供给服务	食物生产	0.31	0.24	0.26	0.72	0.38	0.01
	原材料生产	0.26	2.15	0.17	0.28	0.25	0.03
文化服务	维持生物多样性	0.63	1.5	3.38	0.12	3.2	0.17
支持服务	提供美学景观	1.35	3.25	2.66	0.73	2.47	0.29

2 数据包络分析法概述

数据包络分析(DEA)模型是著名运筹学家 A. Charnes 和 W. W.Cooper 等在“相对效率评价”概念基础上发展起来的一种系统分析方法^[6]。以相对效率概念为基础,对同类型的部门或单位进行相对有效性或效益评价。此外,DEA 是一个具有多个投入和多个产出的多目标决策问题的方法。可以证明,DEA 有效性与相应的多目标规划问题的 pareto 有效解是等价的。

论文构建的生态服务评估模型中,成本对应目标的投入项,效益对应目标的产出项,通过多目标约束,进行多目标规划。在对应不同规模的项目开发的收益率有着较好的分析与体现,并且能够直观地反映相关指标的有效性,以及失效指标的改进区间。

3 建立生态服务评估模型

3.1 生态服务评估模型的研究思路

由于中国幅员辽阔,从东部到西部具有明显的不同气候特征,而且南北跨度大,东西跨度大,生态系统类型广泛。因此,论文自东部到西部选取如下典型的区域作为 4 个大型国家项目^[7-8]:江苏省、重庆市、河南省、前三者的均值;4 个小型社区项目:南京市、郑州市、江津区、前三者的均值。

首先,根据全国的年降水量、年平均温度分别与所选区域的年降水量、年平均温度做修正,得出修正因子系数。然后,引用谢高地研究的中国大陆系统价值评估分析表^[9],对论文选取的区域进行修正,得出各个区域单位面积生态服务的价值当量。最后,将所选区域的粮食作物播种面积、粮食作物总产量及粮食的平均价格进行计算,得出各个区域单位面积的生态服务价值,即单位面积的生态服务成本。

根据谢高地对中国生态服务的数据统计,得到中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量。以 2017 年江苏省为例,全国的年平均气温为 10.3℃,年降雨量为 630mm;江苏年平均气温为 14.5℃,年降雨量为 1002.7mm;因而计算得到修

正因子系数为 0.72。

对植物的生产力进行计算。考虑到误差的大小及因子的全面性,论文采用 Thornthwait-Memorial 模型对植物生产力进行计算,公式如下:

$$TPS(V)=[1-e^{-0.000095(t-20)}] \quad (1)$$

$$V=\frac{1.05R}{\sqrt{(1+1.05R/L)^2+1}} \quad (2)$$

$$L=3000+25t+0.05t^2 \quad (3)$$

式中,TPS(V)为以年平均蒸发量所计算出的植物干物质总量 [kg/(hm².y)];R 为年降雨量 (mm);L 为年平均最大蒸散量 (mm);t 为年平均温度(℃)。

由此,可以得出江苏省单位面积生态服务的价值当量,如表 1 所示。

由于全国的平均粮食单产市场价值随着时间变化,论文对全国平均粮食单产市场价值做一个修正,修正得到评估的基准年的单位面积生态服务成本含量。具体公式计算如下:

$$W=\frac{1}{7} \times \frac{PQ}{M} \quad (4)$$

式中,W 为单位面积生态服务的价值含量(元/hm²);P 为全国粮食作物平均价格(元/kg),而且以 1.33 元/kg 计算;M 为江苏省 2017 年粮食作物播种面积(hm²);Q 为江苏省 2017 年粮食作物总产量(kg)。

依据江苏省统计年鉴可知 2017 年江苏省粮食作物播种面积为 5.45179×106hm²,粮食作物年总产量为 3.5398×1011kg。以中国生态系统服务价值因子为基础,对江苏省价值因子进行校核,得到单位面积的生态服务成本,如表 2 所示。

3.2 生态服务评估模型的结果

表 2 代表一个生态服务评估模型。所以,江苏省的生态服务成本是 1760307.44 元/hm²,通过相同的计算方法分别求出南京市、郑州市、江津区、小规模、河南省、重庆市、大规模的生态服务成本是 1044563.52 元/hm²、101529.29 元/hm²、252262.91 元/hm²、466118.57 元/hm²、668970.93 元/hm²、78833.19 元/hm²、836037.21 元/hm²。

表 2 江苏省土地单位面积的生态系统服务成本

一级类型	二级类型	林地	牧草地	园地	耕地	未利用地	其他用地
调节服务	气体调节	44690	42320	30160	7430	660	5240
	气候调节	42070	39840	29170	10050	1310	21310
	水文调节	42290	40040	29060	7980	760	194270
	废物处理	17810	16870	15730	14420	2730	153630
	保持土壤	41630	39420	32340	15190	1750	4260
供给服务	食物生产	3390	3210	3930	10380	220	5460
	原材料生产	30810	29180	17260	4040	440	3610
文化服务	维持生物多样性	21530	20380	15300	1750	2510	45890
支持服务	提供美学景观	61389.79	58136.13	43418.54	13945.69	5463.26	46725.25
合计		382715.74	362431.81	271006.45	107683.73	19121.41	617348.3

4 建立基于数据包络分析(DEA)的成本效益模型

4.1 成本效益模型的研究思路

首先, 讨论生态服务模型对不同规模的土地利用开发项目(从小型社区项目到大型国家项目)进行效益成本分析, 考虑到生态成本对成本效益的影响, 论文选用具有生态成本和不具有生态成本的对比进行效益分析。由参考文献查得的真实成本指标分别是土地使用面积(用建成区面积表示)、资本投入(用固定资产投资总额表示)、劳动者的数量(用就业人数表示)再加上计算得到的生态成本这 4 个指标作为投入指标。效益指标分别是经济效益(用生产总值表示)、社会效益(用人均建设用地表示)作为产出指标。然后建立基于数据包络分析(DEA)的成本效益模型并且运用 MATLAB 软件对模型进行运算, 最后对得到的所有结果进行汇总分析。

4.2 C2R 模型的建立

假设有 n 个 DMU, 每个 DMU 都有 m 种投入和 s 种产出, 设 $x_{ij}(i=1, \dots, m; j=1, \dots, n)$ 表示第 j 个 DMU 的第 i 种投入的权值量, $y_{rj}(r=1, \dots, s; j=1, \dots, n)$ 表示第 j 个 DMU 的第 r 种产出量, $v_i=1, \dots, m$ 表示第 i 种投入的权值, $u_r=1, \dots, s$ 表示第 r 种产出的权值。

向量 X_j, Y_j 分别表示决策单元 j 的投入和产出量, v 和 u 分别表示投入、产出权值向量, 则 $X_j(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T, Y_j(y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T, u=(u_1, u_2, \dots, u_m)^T, v=(v_1, v_2, \dots, v_s)^T$ 。因此, 定义决策单

元 j 的效率评价指数为:

$$h_j = \frac{u^T Y_j}{v^T X_j}, j=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

评价决策单元 j_0 效率的数学模型为:

$$\max \frac{u^T Y_{j_0}}{v^T X_{j_0}} \quad (6)$$

$$s.t. \begin{cases} \frac{u^T Y_{j_0}}{v^T X_{j_0}} \leq 1 & j=1, 2, \dots, n \\ u \geq 0, v \geq 0 & u \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

4.3 成本效益模型的结果分析

选取南京、郑州、江津相应数据作为小型社区项目, 选取江苏省、河南省、重庆市作为大型国家项目, 求取小型社区项目的平均值(小规模)作为第 4 个社区项目, 求取大型国家项目的平均值(大规模)作为第 4 个国家项目, 如表 3 所示。

运用 MATLAB 软件, 求解 C2R 模型, 分别求解投入指标具有生态成本和不具有生态成本的 C2R 模型, 实现多目标线性规划。经过程序的 8 次计算, 得到 8 个最优目标值, 南京、郑州、江津、小规模、江苏省、河南省、重庆市、大规模的成本效益分别如下。

具有生态成本: 1.0000、1.0000、1.0000、0.9918、1.0000、1.0000、1.0000、0.9028;

不具有生态成本: 1.0000、1.0000、1.0000、0.9918、1.0000、1.0000、1.0000、0.8969。

从上述数据中可以看出南京、郑州、江津、江苏省、河南省、重庆市的土地利用开发项目至少是若有效性的, 小规模和

表 3 各个决策单元投入产出指标值

决策单元	投入指标				产出指标	
	生态成本/(元/hm ²)	土地使用面积/(km ²)	资本投入/(亿元)	劳动者数量/万	经济效益/(亿元)	社会效益/(m ² /人)
南京市	1044563.52	738	6000	204.47	11715	95
郑州市	101529.29	830.97	7573.4	612.9	9130	95.6
江津区	252262.91	121	834.4	585.3	757	97
小规模	466118.57	563.32	4802.6	1402.67	7200.67	95.87
江苏省	1760307.44	4426.5	53000.21	4757.8	51280	87.36
河南省	668970.93	2685.3	40090.36	1550	44988	89.45
重庆市	78833.19	1423.1	17440.57	1714.55	19500	82.51
大规模	836037.21	2844.97	38110.38	2673.85	38589.34	86.44

大规模的土地利用开发项目是非若有效性的。加入松弛因子之后经过进一步的计算可知:对于重庆市和大规模区域来说,没有生态成本时产出指标分别是 11.1914、4.0773,考虑生态成本时指标是 0.0000、1.9852。因此,可得出当增加生态成本后,输出指标都会减少,这就与事实情况相符合,证明环境成本对效益有显著的影响。此外,南京、郑州、江津、江苏省、河南省、重庆市这 6 个区域属于 DEA 有效,主要原因是地理位置比较优越,发展比较迅猛,有资金和政策的支持,相对于其他区域而言对土地的开发投入较多,所以能够产出较高的水平,这些地区的土地利用 DEA 值是 1.0000,反映了高效率的合理运用。

4.4 成本效益模型的有效性评估

任意选取一个决策城市或一个决策省份进行模型的有效性评估。例如,决策城市(南京市)、决策省市(大规模)为例进行模型的有效性评估,根据 DEA 定义可知,DEA 要求尽量投入越少越好,产出越大越好。因此,论文任取南京市的一个投入指标(资本投入)并将其减少 5%,再利用 MATLAB 进行 DEA 成本效益的计算得出南京市的产出指标经济效益和社会效益都得到增加。不仅如此,若将南京市的资本投入减少 10%时,得到产出指标增加值会更多。同样地,对决策省份(大规模)资本投入进行变动,分别减少 5%和 10%,利用 MATLAB 软件进行计算,得到省份产出指标也会增加。再次利用 MATLAB 软件进行计算,无论是南京市还是大规模有效性都没有发生改变,仍然为有效。因此,DEA 成本效益模型是有效的。

5 对土地利用项目规划人员和管理人员的决策建议

对结果进行分析,从整体的发展趋势来看符合由东部沿海向西部内陆递减的趋势,这就反映了东部城市在城市的建设过程中对土地资源的管理和利用,资金的投入方面相对于中西部更加合理,所以在土地利用项目上更加有效。对土地利用项目规划人员和管理人员来讲,可以为土地进行区域规划,合理确定土地发展规模,同时,有利于规划人员和管理人员有针对性地增减投入指标,从而获得更大的效益产出,提高土地项目的利用率。因此,规划人员和管理人员可以在生态环境的成本方面对土地利用项目做出规划。例如,修建一些道路、下

水道、桥梁、房屋或工厂时就要考虑这些活动对生态服务的影响和生态服务变化的影响,建立一个相对比较全面的环境成本责任中心,可以起到积极的作用。

6 结语

论文针对没有考虑生态服务对土地利用开发项目真实经济成本的影响而导致片面的成本评估问题,建立一系列真实有效的模型,模型具有灵活性,可以根据地区实际情况进行实际分析。其中,在模型中运用到的数据包络分析法能够有效地回避权重假设过程,每项投入与产出的权重不是根据使用者的主观判断,而是来自决策单元的实际数据所求得的权重。解决生态系统评估问题上,去除了因素重要性的主观定义,使目标最优值更加可信,最终得出环境成本对效益有显著影响,并为土地利用项目规划人员和管理人员提出决策建议。

但是,论文只是针对中国的生态服务进行的评估和研究,没有将全球具有代表性的国家进行一一研究,所以下一步人们应该将更多的投入指标和产出指标考虑在内,对于其他国家 and 地区进行分析,从而了解全球的生态服务评估问题。

参考文献

- [1]杨青,刘耕源.森林生态系统服务价值非货币量核算:以京津冀城市群为例[J].应用生态学报,2018,29(11):3747-3759.
- [2]王筱明,闫弘文.城市土地利用效率的 DEA 评价[J].山东农业大学学报(自然科学版),2005(4):573-576.
- [3]佟香宁,杨钢桥,李美艳.城市土地利用效益综合评价指标体系与评价方法——以武汉市为例[J].华中农业大学学报(社会科学版),2006(4):53-57.
- [4]刘坚,黄贤金,赵彩艳,等.基于 DEA 模型的城市土地利用结构效应分析——以江苏省为例[J].江西农业大学学报,2005(3):330-334.
- [5]宫继萍,石培基,潘竟虎.基于 DEA 方法的兰州市城市土地利用经济效益分析[J].水土保持通报,2011,31(5):163-166.
- [6]盛昭瀚,朱乔,吴广谋.DEA 理论、方法与应用[M].北京:科学出版社,1996.
- [7]齐少华,张学雷,段金龙.中国中、东部典型城市城市化过程中的土地利用变化对比研究[J].测绘与空间地理信息,2012,35(12):69-73.
- [8]蒋小勇.西部地区工业化城镇化进程中的土地利用问题[J].改革与战略,2006(10):11-14.
- [9]谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008(5):911-919.