

# Space Difference Analysis of Eco-Efficiency in the Area around Nansihu Lake, China

Bo SONG<sup>1</sup>, Yong-liang XIN<sup>2</sup>

Department of Environmental Engineering, School of Civil and Environmental Engineering,  
University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China  
1.songbo@pku.edu.cn, 2.yongliang1010@sina.com

**Abstract:** The ecological footprint composition and space difference of eco-efficiency in districts and counties around Nansihu Lake was analyzed with related statistical data of 2007, and then the sustainability was assessed in the method of quadrant analysis by footprint per capita and eco-efficiency. The results show that the total ecological footprint presents a pyramid structure, and the top county is 5.7 times more than the bottom one. In general, the proportion of carbon footprint land is as high as 44.3%, while that of built-up land is only 6.66%. The spatial eco-efficiency distribution assumes a pattern of descending from south to north obviously. Yutai, Liangshan, Jinxiang and Sishui locate in quadrant three, which implicates the best sustainability, while Tengzhou, Xuecheng and Tongshan locate in quadrant one, which means the worst.

**Keywords:** Ecological Footprint, Eco-Efficiency, GDP, Quadrant Analysis, Nansihu Lake

## 环南四湖区域生态效率空间差异分析

宋波<sup>1</sup>, 辛永亮<sup>2</sup>

北京科技大学土木与环境工程学院环境工程系, 北京, 中国, 100083  
1.songbo@pku.edu.cn, 2.yongliang1010@sina.com

**摘要:** 利用生态足迹法, 依据 2007 年环南四湖区域 16 个区县的统计数据, 核算分析了该区域生态足迹组分结构及生态效率的空间分布情况。结果表明, 区域内各区县的生态足迹总量呈金字塔结构, 且差异较大, 生态足迹最高的区县比最低的高 5.7 倍。各区县的化石能源生态足迹数值都较大, 平均占总足迹的 44.3%; 建筑用地比重最低, 平均仅为 6.66%。各区县的生态效率具有较明显的空间分布规律, 总体呈现南高北低的特征。利用人均生态足迹和生态效率进行象限分析可知, 鱼台县、梁山县、金乡县、泗水县处于相对较好的状态, 可持续性较强, 滕州市、薛城区、铜山县的可持续性较弱。

**关键词:** 生态足迹 生态效率 地区生产总值 象限分析 南四湖

### 1 引言

南四湖位于山东省西南部, 现属山东省济宁市微山县管辖, 与江苏省徐州市交界。全湖面积 1266km<sup>2</sup>, 是中国大型淡水湖泊之一。南四湖是南水北调东线工程的必经通道, 也是该工程的重要调蓄区。近年来, 南四湖环湖区域在经济迅速发展的同时, 生态环境也受到了前所未有的压力。由于环湖地区在资源环境、社会习俗、经济发展等方面存在一定的不同, 导致该区域的生态效率也随之在空间上呈现出一定差异。为保护南四湖及环湖区域的生态环境, 保障南水北调东线工程的顺利实施, 有必要对这些空间差异加以研究, 以期为区域发展模式实现“量身定做”式的调整提供决策依据。

人们的社会经济活动往往伴随着消耗或占用一定

量的生态资源(如水、氧气、土地等)。生态效率就是用于衡量、评价这些社会经济活动中所使用的生态资源情况的指标。因此, 生态效率反映了人们对经济问题和生态问题的双重考虑<sup>[1]</sup>, 是人们对过去单纯追求经济效率从而导致生态环境恶化问题反思的结果。生态效率作为不同层次上落实可持续发展目标的重要切入点<sup>[2]</sup>, 近年来受到了较多关注。

生态资源的占用或消耗情况可以用生态足迹法测算。该方法于 1990 年, 由 Rees W. 和 Wackemagel M. 等人提出<sup>[3][4]</sup>。随后的几年里, 学术界就生态足迹法展开热烈讨论, 推动其理论和方法基础不断发展完善<sup>[5-9]</sup>。目前, 生态足迹法及其改进方法已被广泛应用到各类区域的发展状况评价工作中, 成为常用的区域可持续发展定量评价方法之一<sup>[10-12]</sup>。生态足迹法自 2000 年前后被

引入我国<sup>[13][14]</sup>,在区域和行业可持续发展定量评价方面得到了广泛应用<sup>[15-19]</sup>。

有鉴于此,本研究选用生态足迹法,对南四湖环湖16个区县的生态效率空间差异情况进行分析。

## 2 研究方法

### 2.1 各种消费项目的生态足迹分量

建立区域消费账户,根据实际情况罗列具体消费项目。消费账户由生物账户和能源账户构成。生物账户包括谷物、豆类、薯类、蔬菜、水果、棉花、药材、木材、肉类、牛奶、蜂蜜、禽蛋、蚕茧、水产品等;能源账户包括原煤、洗煤、焦炭、汽油、柴油、天然气、电力等。各种消费项目的生态足迹分量计算方法见公式(1):

$$a_i = c_i / Y_i = (p_i + i_i - e_i) / Y_i \quad (1)$$

- 式中:  $a_i$  -第  $i$  种消费项目折算的生物生产面积,  $ghm^2$ ;  
 $c_i$  -第  $i$  种消费项目的消费量,  $kg$ ;  
 $Y_i$  -第  $i$  种消费项目的世界年均单产,  $kg/hm^2$ ;  
 $p_i$  -第  $i$  种消费项目的年生产量,  $kg$ ;  
 $i_i$  -第  $i$  种消费项目的年进口量,  $kg$ ;  
 $e_i$  -第  $i$  种消费项目的年出口量,  $kg$ ;

### 2.2 生态足迹

按照生产以上各种消费项目所需的土地类型,将  $a_i$  分别归入耕地、牧草地、林地、水域、建筑用地和化石能源地6个大项,每一大项内的  $a_i$  加和得到  $A_j$  ( $j=1, 2, 3, \dots, 6$ )。

区域总生态足迹的计算方法见公式(2):

$$EF = \sum_{j=1}^6 r_j A_j \quad (2)$$

- 式中:  $EF$  一整个区域的生态足迹,  $ghm^2$ ;  
 $r_j$  一第  $j$  类土地的均衡因子。

区域内人均生态足迹为公式(3):

$$ef = EF / N \quad (3)$$

- 式中:  $ef$  一人均生态足迹,  $ghm^2/cap$ ;  
 $N$  一整个区域的人口总数。

### 2.3 生态效率

生态效率一般采用单位经济产出所消耗或占用的生态资源来表示。在本研究中,采用单位国内生产总值所占用的生态足迹作为计算方法,见公式(4):

$$ee = EF / E \quad (4)$$

- 式中:  $ee$  一生态效率,  $ghm^2/万元GDP$ ;

$E$  一整个区域的国内生产总值(GDP), 万元。

## 3 研究对象

南四湖环湖区域共涉及到山东省的济宁市、枣庄市和江苏省的徐州市3个地级市。直接临湖的县级行政区有济宁市的任城区、微山县、鱼台县,枣庄市的薛城区和滕州市(县级市),徐州市的铜山县和沛县。考虑到南四湖隶属于济宁市,受济宁市的影响较大,因此本文的研究范围在直接临湖的7个区县基础上,又增加了济宁市其它的所有区县,共计16个区县(含县级市)。另外,由于济宁市的市中区面积很小,经济较发达,为便于比较,将该区与任城区合并为市辖区进行计算。

所需基础数据来源于《济宁市统计年鉴2007》、《枣庄市统计年鉴2008》、《徐州市统计年鉴2008》以及所涉及的济宁市市中区、任城区、微山县、鱼台县、金乡县、嘉祥县、汶上县、泗水县、梁山县、曲阜市、兖州市、邹城市、薛城区、滕州市、沛县、铜山县16个区县的2007年统计公报。以上资料收录的都是2007年数据。2007年南四湖环湖区域各区县基本情况见表1。

## 4 计算结果

### 4.1 生态足迹计算

通过获取粮食(含谷物、稻谷、小麦、玉米、大豆、薯类)、棉花、油菜籽、花生、麻类、糖料、茶叶、烤

Table 1. Base situation in survey region (2007)

表1 南四湖环湖区域各区县基本情况(2007年)

所属	区县	面积 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	国内生产总值 (亿元)
济宁市	市辖区	904.5	109.06	263.74
济宁市	微山县	1591.3	70.64	161.51
济宁市	鱼台县	628	45.78	73.29
济宁市	金乡县	790	62.14	86.19
济宁市	嘉祥县	1008.2	81.22	110.02
济宁市	汶上县	762.3	75.79	90.06
济宁市	泗水县	1070	60.56	70.95
济宁市	梁山县	963.9	74.07	93.13
济宁市	曲阜市	889.4	64.08	175.09
济宁市	兖州市	690	61.35	242.16
济宁市	邹城市	1387.3	113.59	376.91
枣庄市	薛城区	420.5	41.69	68.85
枣庄市	滕州市	1485	164.74	404.06
徐州市	沛县	1349	123.57	173.37
徐州市	铜山县	1877.4	120.53	206

烟、蔬菜、猪肉、牛肉、羊肉、奶类、山羊毛、绵羊毛、羊绒、禽蛋、蜜蜂、水产品、核桃、苹果、柑桔、梨、葡萄、香蕉、木材等各项生物资源，以及煤、焦炭、汽油、柴油、煤油、燃料油、液化石油气、天然气和电力等能源消费情况相关数据，计算南四湖环湖区域各区县2007年生态足迹<sup>[20]</sup>，结果见表2。

由表2可见，各区县生态足迹总量差异较大，大致呈金字塔结构。在总共15个研究对象中，生态足迹超过 $300 \times 10^4 \text{ghm}^2$ 的有1个， $200-300 \times 10^4 \text{ghm}^2$ 的有1个， $100-200 \times 10^4 \text{ghm}^2$ 的有6个，低于 $100 \times 10^4 \text{ghm}^2$ 的有7个。其中滕州市生态足迹最高，达 $334.4 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ，超过排名第二的济宁市辖区（包括任城区和市中区）67%。鱼台县的生态足迹最低，仅为 $49.4 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ，不到滕州市的1/6。

分析各区县人均生态足迹构成，可以看出各区县的耕地、林地、草地、水域、化石能源用地、建筑用地6项生态足迹消费结构和比例差别较大。在耕地生态足迹方面，最高的滕州市、沛县、铜山县都在 $50 \times 10^4 \text{ghm}^2$ 左右，而最低鱼台县仅有 $8.7 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ；在草地生态足迹方面，滕州市最高，超过 $40 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ，鱼台县和梁山县最低，均未超过 $10 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ；在林地生态足迹方面，滕州市最高，超过 $30 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ，金乡县最低，仅有 $3.11 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ；在水域生态足迹方面，仍然是滕州市最高，超过 $30 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ，排在第二位的微山县则

接近 $30 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ，这与微山县湖域面积较大、湖产品消费较多有关，水域生态足迹最低鱼台县，仅有 $2.75 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ；各区县的化石能源生态足迹数值都较大，可能与该区域盛产煤炭有关，其中滕州市和邹城市最高，都超过了 $100 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ，最低的泗水县也超过了 $20 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ；建筑用地生态足迹是各区县生态足迹中最低的一项，其中最高的滕州市也刚超过 $20 \times 10^4 \text{ghm}^2$ ，最低鱼台县仅有 $2.75 \times 10^4 \text{ghm}^2$ 。

总体来看，滕州市的生态足迹无论在总量方面还是各分量方面，都明显高于其它区县，这与滕州市人口数量大、经济发展水平较高有关；鱼台县、泗水县、金乡县等则明显低于其它区县，这主要由于这些县人口较少、经济总量较低所致。

### 4.2 生态效率计算

根据公式(4)计算出各区县的生态效率(万元GDP生态足迹)，其空间分布见图1。

由图1可见，南四湖环湖区域各区县的生态效率具有较明显的空间分布规律，总体呈现南高北低的特征。生态效率最高的兖州市、曲阜市、邹城市都分布在南四湖的东北方，生态效率较高的梁山县、济宁市辖区、金乡县、鱼台县、微山县主要分布在南四湖的西北方。而生态效率最低的汶上县、沛县、薛城区、铜山县4个区县中，有3个区县分布在南四湖以南，且空间上呈现集中连片。

Table 2. Ecological Footprint in Survey Region (2007), Units:  $10^4 \text{ghm}^2$

表2 南四湖环湖区域各区县生态足迹(2007年) 单位:  $10^4 \text{ghm}^2$

区县	耕地	草地	林地	水域	化石能源	建筑用地	生态足迹
市辖区	27.27	35.99	23.99	13.09	88.34	12.00	200.67
微山县	15.54	13.42	3.53	28.26	50.86	9.18	120.79
鱼台县	8.70	5.95	6.41	2.75	22.89	2.75	49.44
金乡县	11.19	12.43	3.11	4.97	26.72	3.11	61.52
嘉祥县	24.37	15.43	9.75	8.12	33.30	5.69	96.65
汶上县	22.74	15.92	13.64	8.34	27.28	3.79	91.71
泗水县	10.90	12.11	3.63	4.24	21.80	3.63	56.32
梁山县	15.55	8.89	5.18	3.70	29.63	4.44	67.40
曲阜市	14.74	16.66	10.25	4.49	55.75	7.05	108.94
兖州市	11.66	16.56	6.75	7.36	77.91	11.66	131.90
邹城市	15.90	20.45	13.63	9.09	119.27	17.04	195.37
薛城区	12.09	10.42	7.92	3.34	31.27	5.42	70.46
滕州市	49.42	41.19	32.95	34.60	154.86	21.42	334.42
沛县	50.66	30.89	4.94	13.59	55.61	9.89	165.58
铜山县	53.03	32.54	12.05	14.46	62.68	12.05	186.82

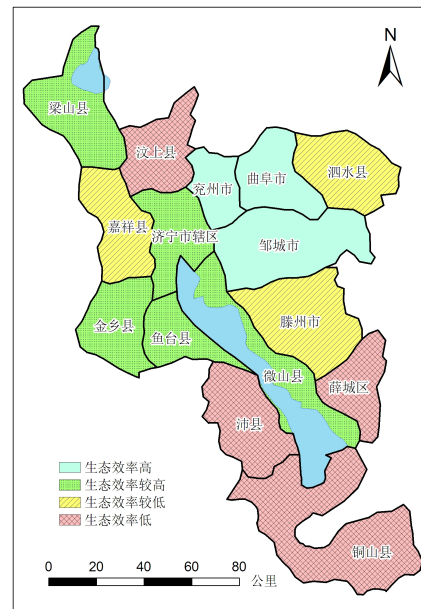


Figure 1. Distribution Map of Eco-efficiency in Survey Region

图1 南四湖环湖区域各区县生态效率空间分布

将生态效率与人均生态足迹进行象限分析,可进一步把环湖各区县划入4个象限。结果见图2。

象限 I 表示生态资源利用效率较低,且人均消耗生态资源量较高的情况。位于该象限的滕州市、薛城区、铜山县应积极调整产业结构,提高单位生态足迹的经济产出,并降低人均生态足迹(在人口变动不大的前提下,应致力于降低生态足迹总量),以提升可持续发展能力。象限 II 表示生态资源利用效率较高,但人均消耗生态资源量也较高的情况。位于该象限的兖州市、济宁市辖区、曲阜市、微山县、邹城市应在保持当前较高生态效率的前提下,致力于降低生态足迹总量。象限 III 表示生态资源利用效率相对较高,且人均消耗生态资源量相对较低的情况。位于该象限的鱼台县、梁山县、金乡县、泗水县,相对于区域内其它区县处于较好的可持续发展状态,经济建设和生态保护能够协调发展,具有较大的增长潜力。象限 IV 表示生态资源利用效率较低,人均消耗生态资源量较低的情况。位于该象限的沛县、汶上县、嘉祥县应在保持当前较低人均生态足迹的前提下,致力于提高单位生态足迹经济产出,提升生态效率。

### 5 结论与讨论

(1) 南四湖环湖区域各区县生态足迹总量差异较大,大致呈金字塔结构。生态足迹最高的区县(滕州市)与最低的区县(鱼台县)之间相差的6.7倍。

(2) 从生态足迹的组分结构来看,各区县的化石能源生态足迹数值都较大,平均占总足迹的44.3%;耕地排在第二位,仅为17.7%,远低于石化能源用地;建筑用地比重最低,平均仅为6.66%。

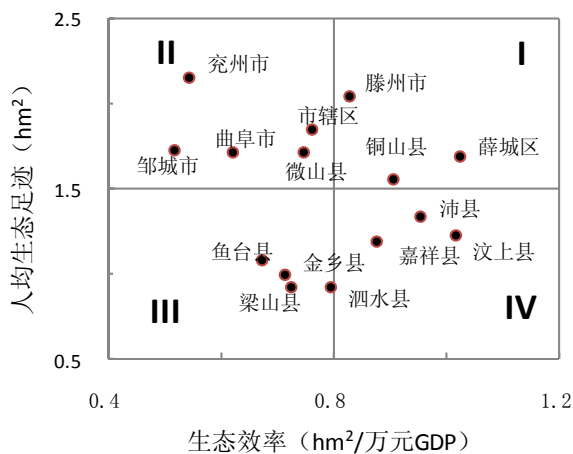


Figure 2. Ecological Footprint per Capita and Eco-efficiency  
图2 南四湖环湖区域各区县人均生态足迹和生态效率

(3) 各区县的生态效率具有较明显的空间分布规律,总体呈现南高北低的特征。

(4) 通过人均生态足迹和生态效率象限分析可知,鱼台县、梁山县、金乡县、泗水县处于相对较好的状态,可持续性较强,滕州市、薛城区、铜山县可持续性较弱。

### References (参考文献)

- Li P., Yang GH., Zheng B., Zhang YQ. GHG emission-based eco-efficiency study on tourism itinerary products in Shangri-La, Yunnan Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008,28(5):2207-2219.  
李鹏,杨桂华,郑彪,张一群.基于温室气体排放的云南香格里拉旅游线路产品生态效率[J].生态学报,2008,28(5):2207-2219.
- Lv B., Yang JX. Review of methodology and application of eco-efficiency[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(11):3898-3906.  
吕彬,杨建新.生态效率方法研究进展与应用[J].生态学报,2006,26(11):3898-3906.
- Rees W. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2):121-130.
- Rees W., Wackernagel M. Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable - And why they are a key to sustainability[J]. Environmental Impact Assessment Review, 1996, 16(4):223-248.
- Wackernagel M., Rees W. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective[J]. Ecological Economic, 1997, 20(1):3-24.
- Rees W., Wackernagel M. Monetary analysis: Turning a blind eye on sustainability[J]. Ecological Economic, 1998, 29(1):47-52.
- Van den Bergh J., Verbruggen H. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the Ecological Footprint[J]. Ecological Economics, 1999, 29(1): 61-72.
- Ayres RU. Commentary on the utility of the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 2000, 32(3):347-349.
- Luck MA., Jenerette GD., Wu JG., Grimm NB. The urban funnel model and the spatially heterogeneous ecological footprint[J]. Ecosystems, 2001,4(8):782-796.
- Wood R., Garnett S. An assessment of environmental sustainability in Northern Australia using the ecological footprint and with reference to indigenous populations and remoteness[J]. Ecological Economics, 2009, 68(5):1375-1384.
- Scotti M., Bondavalli C., Bodini A. Ecological Footprint as a tool for local sustainability: The municipality of Piacenza (Italy) as a case study[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2009, 29(1):39-50.
- Lei KP., Hu D., Wang Z., Yu YY., Zhao YH. An analysis of ecological footprint trade and sustainable carrying capacity of the population in Macao[J]. International Journal of Sustainable Development and World ecology, 2009, 16(2): 127-136.
- Xu ZM., Cheng GD., Zhang ZQ. Measuring sustainable development with the ecological footprint method: take Zhangye prefecture as an example[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(9): 1484-1493.  
徐中民,程国栋,张志强.生态足迹方法:可持续性定量研究的新方法——以张掖地区1995年的生态足迹计算为例[J].生态学报,2001,21(9):1484-1493.
- Yang KZ., Yang Y., Chen J. Ecological Footprint Analysis: Concept, Method and Cases[J]. Advance In Earth Sciences, 2000, 15(6):630-636.  
杨开忠,杨咏,陈洁.生态足迹分析理论与方法[J].地球科学进展,2000,15(6):630-636.
- Liu YH., Peng XZ. Time series of ecological footprint in China

- between 1962~2001: Calculation and assessment of development sustainability[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10):2257-2262.  
刘宇辉,彭希哲. 中国历年生态足迹计算与发展可持续性评估[J]. *生态学报*, 2004, 24(10):2257-2262.
- [16] Zhang JH., Zhang J., Liang YL., Li N., Liu ZH. An Analysis of Touristic Ecological Footprint and Eco-compensation of Jiuzhaigou in 2002[J]. *Journal of National Resources*, 2005, 20(5):735-744.  
章锦河,张捷,梁玥琳,李娜,刘泽华. 九寨沟旅游生态足迹与生态补偿分析[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(5):735-744.
- [17] He CL., Wu JH., Liu WL. Calculation method of cement ecological footprint[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7):3549-3558.  
贺成龙,吴建华,刘文莉. 水泥生态足迹计算方法[J]. *生态学报*, 2009, 29(7):3549-3558.
- [18] Jin W., Xu LY., Yang ZF. Modeling a policy making framework for urban sustainability: Incorporating system dynamics into the Ecological Footprint[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(12): 2938-2949
- [19] Zhang HY., Liu WD., Lin YX., Shan NN., Wang SZ. A modified ecological footprint analysis to a sub-national area: the case study of Zhejiang Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5):2738-2748.  
张恒义,刘卫东,林育欣,单娜娜,王世忠. 基于改进生态足迹模型的浙江省域生态足迹分析[J]. *生态学报*, 2009, 29(5):2738-2748.
- [20] Song B., Xin YL., Zhang XX., Ni TY. Ecological Footprint Analysis of the Districts and Counties around Nansihu Lake[A]. In: *SCI RES PUBL. EBM2010: International Conference on Engineering and Business Management*[C]. Chengdu, 2010, VOLS 1-8: 3372-3376