基于投入产出技术的区域生态足迹调整分析

——以 2002 年江苏省经济为例

赖 力^{1,2}, 黄贤金¹, 刘伟良², 赵登辉^{1,2}

(1. 南京大学城市与资源学系, 南京 210093; 2. 江苏省信息中心, 南京 210013)

摘要:目前国际学界有两类生态足迹模型,即以 Wackernagel 为代表的经典模型和 Bicknell 为代表的投入产出模型。研究以 2002 年江苏省经济为例,依照 Bicknell 的投入产出模型思路,采取 Ferng 的改良计算方法,对江苏经济的需求、进口、出口以及积累各项的生态性土地占用及化石能源地占用做出一一估算。综合两种模型的优缺点,调整了足迹结果,转换成以全球标杆衡量的虚拟土地,以评估江苏这样的开放型经济区域的可持续发展能力。结果显示:(1)江苏人均地区生态足迹实际高达 2.33hm²,真实生态赤字率高达 58.8%,可持续能力堪忧;(2)江苏通过国内外贸易实现了 0.009hm² 的生产性土地顺差和 0.068hm² 的化石能源地逆差,贸易方式总体属于生态逆差型。最后,引入足迹影响力与足迹感应力的概念,研究生态足迹的产业波及效果,结果显示江苏二产部门的足迹感应力系数最强,其未来发展也将面临较大的生态瓶颈。

关键词:生态足迹;投入产出;足迹影响力系数;足迹感应力系数;江苏省

文章编号:1000-0933(2006)04-1285-08 中图分类号:F062.2;F30 文献标识码:A

Adjustment for regional ecological footprint based on input-output technique: a case study of Jiangsu Province in 2002

LAI Li^{1,2}, HUANG Xian-Jin¹, LIU Wei-Liang², ZHAO Deng-Hui^{1,2} (1. Dept. of Urban & resources Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093, China; 2. Jiangsu Information Center, Nanjing 210013, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1285 - 1292.

Abstract: Ecological footprint, as a measure of sustainability evaluation, represents the biologically productive areas necessary to sustain current levels of resource consumption for a specified population. At present, there have been two alternative models to estimate ecological footprint. One is based on the standard methodology proposed by Rees and Wackernagel and its later refinement, which is sufficient enough in a closed economy. The other one, suggested by Bicknell *et al.*, is based on input-output analysis which signifies the land appropriation used as intermediate input form those as final consumption. Furthermore, the latter method can take the final demand, accumulation, imports and exports into account synthetically in an open economy. However, Ferng pointed out some errors in the concept and calculation in Bicknell's method and proposed to use the composition of land multipliers instead of land multipliers in calculation.

Taking Jiangsu Province of 2002 as a case, the authors followed the viewpoint of the input-output analysis by Bicknell, and adopted the revised methodology of Ferng to estimate the regional ecological footprint per capita. Further, the authors calculated the productive land and fossil energy land appropriation respectively. In this paper, the calculation method was based on the monetary input-output table, in response to avoiding the shortcoming of pervious EF model claimed by Bicknell, and had successfully given out the implicit land appropriation embodied in final demand, accumulation, inter-regional trade and international trade respectively.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40101007, 70373029),教育部霍英东基金优选资助项目(94001)

收稿日期:2005-3-29; **修订日期:**2005-09-30

作者简介:赖力(1980-),男,南京人,硕士,主要从事土地经济研究。E-mail: fireshake@163.com

Foundation item: The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40101007, 70373029); the preferred item of Fok Ying Tung Education Foundation, China (No. 94001)

Received date: 2005-3-29; **Accepted date:** 2005-09-30

Biography: LAI Li, Master, mainly engaged in land economy. E-mail: fireshake@163.com

Furthermore, the authors compared the difference between the results of land appropriation in two models. It can be found that the productive land in the Bicknell's model was not as hypothetical land area as those in Wackernagel's. Rather, it is genuine land area without the balance of global benchmark. Thereby, the author advanced a method amending the genuine productive land into hypothetical land, and bridged the two self-existent models. The amended results revealed: (1) the regional EF per capita of Jiangsu is 2.3 hm^2 , and the ecological deficit proportion is 58.8%; (2) There had been per-capita EF deficits 0.059 hm^2 lead to trade, including 0.009 hm^2 productive land surplus and 0.068 hm^2 energy land deficits.

At length, the authors introduced the concept of land infection coefficient and land inductivity coefficient to analyze the eco-economy relationship by sectors. As a result, the highest land appropriation inductivity coefficient was the 2nd sector, which implied the probable EF conditionality of 2nd sector of Jiangsu in the future.

Key words: ecological footprint; input-output table; land infection coefficient; land inductivity coefficient; Jiangsu Province

生态足迹(ecological footprint)是由加拿大学者 Rees 在 1992 年提出并由其博士生 Wackernagel 在 1996 年加以完善的概念,其以生态生产性土地面积来度量某个确定人口或经济规模主体的资源消费和废物吸收水平,测量人类生存所必需的真实生物生产面积^[1]。

该方法已被广泛应用于各类可持续发展评测研究中^[2,3],但从目前国内相关研究来看,基本沿用 Wackernagel 的模型。该模型在理论及应用上仍存在一定缺陷^[4-6]:一是无法对足迹消费中最终需求和中间投入环节进行区分,也难以考察生态足迹同国民经济部门的内在联系;二是对于计算开放经济体间足迹的贸易流动显得力不从心,需要通过贸易产品的数量及其能源密度来估算^[7]。Bicknell 指出标准足迹模型上述的不足性,提出采用投入产出技术,以土地乘数来计算区域生态足迹的贸易流动的新思路^[4]。本研究以 2002 年江苏为例,采用 Bicknell 的投入产出思路,并借鉴 Ferng^[8]改良后的算法,对江苏的消费、国际贸易、国内贸易、积累足迹进行计算调整,以评价江苏这一开放型经济区域真实的可持续发展能力。

1 研究区概况

江苏省位于长江下游,东濒黄海,为 $116^{\circ}21' \sim 121^{\circ}54' \text{ N}$, $30^{\circ}46' \sim 35^{\circ}08' \text{ E}$,国土面积 $10.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。地形以平原为主,丘陵次之,江河纵横,湖泊众多。绝大多数区域属北亚热带湿润季风气候区,温暖湿润,四季分明。

2002 年,江苏省年末总人口 7381 万,占全国的 5.75%;但土地面积只有全国的 1.06%,人均国土面积只有 $0.139 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。多年来,江苏经济发展保持两位数的高增长速度,外向型经济特征十分显著。目前该省处于工业化后期阶段,以全球化制造业基地的目标,资源、产品两头在外,在国际产业链条中扮演着“国际加工车间”的角色。其“大出大进”的经济增长方式对于人口密集、资源禀赋相对不足、生态承载力较弱的省情来说,存在不小的生态压力和风险。

2 研究方法

2.1 投入产出分析的引入

Wackernagel 的标准模型是基于消费角度的衡量,作为一个动态、开放系统来说,区域经济体的总体足迹需求还应包括积累、贸易等因子。其模型只反映了区域经济中的本地消费一项,却未区分足迹的最终消费与中间投入,难以考察区域经济部门间的生态关联。另外,模型在考察区域间生态足迹贸易流动时也显得十分繁琐,需要以能源密度来估算。因此,Wackernagel 的标准足迹模型在评估开放型区域体的可持续发展能力时缺乏说服力。

Bicknell 认为标准足迹算法只适用于自给自足的封闭经济主体,率先提出以区域投入产出分析为基础来核算生产满足国民经济最终消费的产品(服务)量所必须投入的土地占用面积的思路^[4]。其大概思路是运用乘数分析方法来估算要生产满足国民经济最终需求的产品(服务)所需要的直接或者间接的土地投入量。以后,Manfred^[5],Hubacek^[6],Helmut^[9]等相继沿袭该思路,运用投入产出技术来分析区域生态足迹。Ferng 则进一步完善修正了其中的概念与算法,提出以复合土地利用乘数代替土地乘数,以区分农用地与建成地^[8]。

Ferng 计算的总土地占用面积虽与 Bicknell 的结果近似,但分部门土地占用则有显著差异。本研究拟采取 Ferng 的计算方法。

2.2 投入产出模型构建

首先,构建 2002 年江苏省的价值量投入产出表(表 1),并注意其中部门分类与土地分类的一致性。

表 1 价值量投入产出表(¥ × 10⁸)^{*}

Table 1 Monetary Input-Output table above 3 sector

项目 Item	第一产业 Sector 1	第二产业 Sector 2	第三产业 Sector 3	需求 Final demand	积累 Accumulation	调出 Transfer-out	出口 Export	总产出(Y) Total output
第一产业 Sector 1	566.14	1138.35	248.35	467.17	121.24	15.05	24.26	2580.58
第二产业 Sector 2	449.27	14393.52	1347.16	1653.78	4395.96	3033.19	3215.37	28488.26
第三产业 Sector 3	135.85	2270.91	1588.31	2690.59	183.12	233.56	18.0	7120.34
增加值合计 Total value-added	1200.68	5480.14	3707.50					
调入 Transfer-in	77.59	2410.9	209.28					
进口 Import	151.05	2794.43	19.73					
总投入(X) Total input	2580.58	28488.26	7120.34					

* 江苏省信息中心,根据 2002 年江苏省 44 部门投入产出表简化调整得 Data source: Jiangsu information centre, modified form a 44 sectors input-output table

根据多部门的价值量投入产出表,计算直接消耗系数矩阵 A 及其列昂惕夫逆矩阵,结果如下:

$$A = \begin{bmatrix} 0.2194 & 0.04 & 0.0349 \\ 0.1741 & 0.5052 & 0.1892 \\ 0.0526 & 0.0797 & 0.2231 \end{bmatrix}; (I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} 1.3138 & 0.1203 & 0.0883 \\ 0.5166 & 2.1511 & 0.547 \\ 0.142 & 0.2289 & 1.3492 \end{bmatrix}$$

2.3 土地占用强度

下面计算研究区各部门的单位土地占用面积价值量产出,即土地占用强度。根据 2002 年江苏省土地利用变更调查表(表 2),概算出江苏 3 次产业部门的土地占用面积分别为 685 × 10⁴hm², 63 × 10⁴hm² 和 29 × 10⁴hm²。因此,土地占用强度向量 $\bar{e} = [2654.8, 22, 40.4]$ 。

表 2 土地利用结构^{*}

Table 2 land use structure

土地利用方式 Land use structure	面积 Area(× 10 ⁴ hm ²)	土地利用方式 Land use structure	面积 Area(× 10 ⁴ hm ²)
农用地 Agriculture land	685.1	建设用地 Built up land	171.4
# 耕地 Arable land	493.4	# 居民点工矿 Land for living quarters, Mining and	141.1
园地 Garden land	28.7	Manufacturing sites	
林地 Forest land	31.9	交通运输用地 Land for transport facilities	9.6
牧草地 Grazing and pasture land	0.6	水利设施用地 Land for water conservancy facilities	20.7
其他农用地 Other agriculture land	130.5	未利用土地 Unexploited land	210.9

* 2002 年江苏土地利用变更调查报告,江苏省国土资源厅 Data resource: land use change report 2002, Jiangsu, form Department of land and resources of Jiangsu Province

2.4 复合土地利用乘数

将土地占用强度向量对角化处理,并乘以矩阵 A 的列昂惕夫逆矩阵,得到土地乘数矩阵 [L]:

$$[L] = \begin{bmatrix} 2654.8 & 0 & 0 \\ 0 & 22 & 0 \\ 0 & 0 & 40.4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1.3138 & 0.1203 & 0.0883 \\ 0.5166 & 2.1511 & 0.547 \\ 0.142 & 0.2289 & 1.3492 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3487.9 & 319.48 & 234.38 \\ 11.352 & 47.268 & 12.02 \\ 5.7448 & 9.564 & 54.572 \end{bmatrix} \quad (1)$$

按照 Ferng 的复合土地乘数的算法,国内消费占用的生产性土地占用 [D_i] 为:

$$[D_i] = \begin{bmatrix} 3487.9 & 319.48 & 234.38 \\ 11.352 & 47.268 & 12.02 \\ 5.7448 & 9.2564 & 54.572 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 467.17 & 0 & 0 \\ 0 & 1653.78 & 0 \\ 0 & 0 & 2690.59 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2788400 \\ 115820 \\ 164820 \end{bmatrix} \quad (2)$$

出口、积累项的算法类似,这里不再一一表述;进口项(表3)需区分直接用于最终需求的进口以及用于间接需求的进口。由于区域外产品的土地投入强度资料,这里假设区域外产品与江苏本地产品的土地投入强度一致。

那么,直接消费的区域外产品所对应的生产性土地占用面积 $[M_i]$ 为:

$$[M_i] = \begin{Bmatrix} \begin{bmatrix} 3487.9 & 319.48 & 234.38 \\ 11.352 & 47.268 & 12.02 \\ 5.7448 & 9.2564 & 54.572 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 55.6 & 0 & 0 \\ 0 & 2248.7 & 0 \\ 0 & 0 & 100.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 935900 \\ 108130 \\ 26619 \end{bmatrix} \quad (3)$$

而公式(4)~(6)依次显示了3次产业所对应的区域外产品的生产性土地:

$$[\bar{M}_1^1] = \begin{Bmatrix} \begin{bmatrix} 3487.9 & 319.48 & 234.38 \\ 11.352 & 47.268 & 12.02 \\ 5.7448 & 9.2564 & 54.572 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 50.1 & 0 & 0 \\ 0 & 83.0 & 0 \\ 0 & 0 & 4.4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 202389 \\ 4559 \\ 1299 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[\bar{M}_1^2] = \begin{Bmatrix} \begin{bmatrix} 3487.9 & 319.48 & 234.38 \\ 11.352 & 47.268 & 12.02 \\ 5.7448 & 9.2564 & 54.572 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100.8 & 0 & 0 \\ 0 & 2628.7 & 0 \\ 0 & 0 & 73.1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1208500 \\ 126280 \\ 28901 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[\bar{M}_1^3] = \begin{Bmatrix} \begin{bmatrix} 3487.9 & 319.48 & 234.38 \\ 11.352 & 47.268 & 12.02 \\ 5.7448 & 9.2564 & 54.572 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 21.9 & 0 & 0 \\ 0 & 244.7 & 0 \\ 0 & 0 & 55.1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 166540 \\ 12429 \\ 5179.5 \end{bmatrix} \quad (6)$$

接着按照 Ferng 的办法,参入 $[r]$ 为调整因子,其代表各产业区域外的投入直接用于最终需求的比例:

$$[r] = [1 \ 1 \ 1] - \begin{bmatrix} \frac{228.64}{2580.58} & \frac{5205.33}{28488.26} & \frac{229.01}{7120.34} \end{bmatrix} = [0.9114 \ 0.8173 \ 0.9678] \quad (7)$$

最后,计算做为间接使用的区域外的生产性土地面积 $[\tilde{M}]$:

$$\tilde{M} = \begin{Bmatrix} \begin{bmatrix} 202390 & 1208500 & 166540 \\ 4559 & 12680 & 12429 \\ 1299 & 28901 & 5179.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.9114 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8170 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9678 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1349500 \\ 119760 \\ 29921 \end{bmatrix} \quad (8)$$

根据以上计算结果,得出江苏生产性土地占用的项目明细(表4)。可以看出,江苏的生产性土地足迹的中,主要为农用地;而进出口足迹所对应的生产性土地占用比重较大,与最终消费的规模相当。

3 研究结果

3.1 人均生态足迹分析

上述计算了江苏2002年生产性土地足迹,能源足迹则需另行核算。其计算过程如下:第1步以2002年江苏省能源平衡表数据为基础,汇总计算出各类初级能源的部门消费(表5);第2步采取类似的投入产出法,即先计算各类初级能源的投入强度,再计算该类能源在进出口项目中的流动(表6);第3步则按照 Wackerganel 给出的折算系数^[1]计算相应的CO₂吸收面积。

表6为能源足迹的计算第2步的结果,为投入三次产业的4类初级能源在最终消费、积累、进口、出口等项目中的结构分配情况。需要指出的是,项目I即最终消费是两个部分的叠加:一是投入三次产业的初级能源经投入产出计算后用于最终消费的部分;二是初级能源的直接消费(即表5中的消费一栏)。

表3 进口及调入的产品价值(¥×10⁸)

项目 Item	第一产业 Sector 1	第二产业 Sector 2	第三产业 Sector 3	最终需求 Final demand
第一产业 Sector 1	50.1	100.8	21.9	55.6
第二产业 Sector 2	83.3	2628.7	244.7	2248.7
第三产业 Sector 3	4.4	73.1	51.1	100.5

表4 江苏生产性土地占用(10⁴×hm²)

项目 Item	I	II	III	IV	V	VI
农用地 Agricultural land	278.84	134.95	93.59	187.02	107.63	111.61
建成地 Built-up land	28.06	14.97	13.47	26.28	18.73	18.34

I 国内消费足迹 Footprint for domestic final demand; II 直接消费的进口土地 Land embodied in imports for domestic final demand; III 间接需求的进口土地 Land embodied in imports for intermediate demand; IV 积累足迹 Land embodied in accumulation; V 调出足迹 Land embodied in transfer-out; VI 出口足迹 Land embodied in export, the same in the following; 下同 the same below

综合生产性土地与能源地足迹的计算,汇总得到江苏省的人均生态足迹。计算表明江苏省的足迹结构中,最终消费为 0.315hm²/人,积累项为 0.209 hm²/人,用于直接消费的进口为 0.107hm²/人,间接用途的进口 0.121hm²/人,而省外调出足迹 0.315hm²/人,国际出口足迹为 0.315hm²/人。

3.2 足迹调整分析

如果以 2002 年江苏统计年鉴数据为基础,以 Wackernagel 模型计算,那么进出口调整前的江苏人均农地足迹 1.028hm²,人均建设用地足迹 0.066 hm²,人均化石能源地 0.56 hm²,人均生态供给为 0.38 hm²。显而易见,两模型计算结果大相径庭,可比性差^[4],投入产出模型中的农用地与建成地的足迹明显偏小。原因是在生产性土地中,Wackernagel 模型计算的是经全球标杆(Global benchmark)均衡后的虚拟土地面积,而 Ferng 模型中计算却为真实的区域土地面积,两者因此没有比较性。而能源地足迹计算中,两模型都采取了虚拟土地,即假定的吸收温室气体所需森林面积,因此结果相差不大。这里,笔者认为,应当按照 Wackernagel 的模型计算结果为基础,将基于 Ferng 模型计算的生产性土地足迹分类调整成以全球标杆均衡的虚拟土地面积。农用地和建设用地均衡面积调整需要分别乘以产量因子与均衡因子;而化石能源地足迹,由于其已是虚拟土地,只需乘以 1.1 的均衡因子^[1]即可。如此调整一来可以将两种足迹模型联系起来,并方便考察足迹的贸易流动;另一个好处就是可进一步引入相关的生态供给(ecological capacity)与生态赤字(ecological deficit)分析。

表 5 江苏省初级能源消费(GJ)

Table 5 primary energy consumption(GJ)

项目 Item	原煤 Coal	原油 Crude oil	天然气 Natural gas	其他能源 Other energy
一产 Sector 1	5282	4250	0	0
二产 Sector 2	176349	32347	374	331
三产 Sector 3	6851	19129	0	0
消费 Resident consumption	13610	3694	16	0

江苏的初级能源消费主要包括原煤、原油、天然气何其它能源四项 The primary energy consumption in Jiangsu consists of coal, crude oil, natural gas and other energy

表 6 初级能源消费结构(GJ)

Table 6 primary energy consumption structure analysis(GJ)

项目 Item	I	II	III	IV	V	VI
原煤 Coal	46775	31815	34660	62205	43030	44547
原油 Crude oil	24252	7098	8073	13845	9902	9300
天然气 Natural gas	70	80	73	143	99	105
其它能源 Other energy	50	74	69	132	91	96

表 7 人均生态足迹(hm²)

Table 7 ecological footprint per capita(hm²)

项目 Item	I	II	III	IV	V	VI
农用地 Agricultural land	0.038	0.013	0.018	0.025	0.015	0.015
建成地 Built-up land	0.004	0.002	0.002	0.004	0.003	0.002
能源地 Energy land	0.166	0.092	0.101	0.18	0.125	0.128
人均足迹 EF per capita	0.208	0.107	0.121	0.209	0.143	0.145

调整的假设前提是消费、积累、出口、进口的产品是同质的,并都按照江苏的产量因子进行估算。调整分为 3 步。第 1 步,以统计年鉴中的各类生态型产品的产量数据为基础,按照 Wackernagel 的经典模型进行计算,得出各类资源的人均生产足迹(如表 8 的 ef_w 一栏)。第 2 步,按照公式(9)调整计算得出生产性土地的消费、积累、进口、出口等各项的人均虚拟面积:

$$ef'_i = ef_i \times \frac{ef_{final\ demand} + ef_{accumulation} + ef_{exp\ ort} - ef_{import}}{ef_w} \quad (9)$$

式中, ef'_i 表示调整后的第 i 项(消费、积累、进口、出口)的人均足迹; ef_i 为基于 Ferng 算法调整前的各项足迹; $i = I、II、III、IV、V、VI$ 。

第 3 步,调整化石能源地足迹,由于其已是虚拟土地,只需乘以 1.1 的均衡因子^[1]即可。

汇总可以得出的足迹调整结果(如表 8)显示:江苏省人均地区生态足迹约为 2.33 hm²,是基于本地消费足迹的近 2 倍;生态供给却只有 0.96 hm²,其中本地供给只占 40%,严重依赖进口;生态赤字率实际高达 58.8%。综合江苏省的国内外贸易情况,江苏属于净生态输出省,通过商品贸易实现了人均 0.06 hm² 的土地逆差。结构分析显示:一产部门为净生态输入型,拥有人均 0.014 hm² 土地顺差;非农产业则为净输出型,为 0.006 hm² 土地逆差;而能源消费方面则有人均 0.059hm² 的土地逆差,也是江苏贸易生态逆差的主要贡献因素。从贸易类型来看,江苏国内贸易实现了人均 0.228hm² 的土地输入和人均 0.314hm² 的土地输出,存在 0.086 hm² 的逆差;而国际贸易则实现了人均 0.249hm² 的土地输入和人均 0.322hm² 的土地输出,有 0.073hm² 的逆差。

表 8 调整的人均生态足迹(hm²)

Table 8 adjusted ecological footprint per capita (hm²)

项目 Item	ef_w	I	II	III	IV	V	VI
农用地 Agricultural land	1.028	0.419	0.203	0.141	0.281	0.162	0.168
建成地 Built-up land	0.066	0.020	0.011	0.010	0.019	0.014	0.013
能源地 Energy land	-	0.183	0.101	0.111	0.198	0.138	0.141
人均足迹 ef		0.622	0.315	0.262	0.498	0.314	0.322

从生产性土地的分析来看,江苏贸易格局为大量输入低价值量的农产品而输出较高价值量的工业产品,取得了生态顺差和价值顺差的双赢。但是,由于能源利用效率不高,大量出口工业产品导致能源足迹成为了贸易中生态逆差的主要贡献因子。如果考虑进口产品国的能源强度低于本地产品,那么这个逆差数值可能会更大。

3.3 足迹影响力与感应力分析

3.3.1 足迹影响力系数 影响力系数用来衡量一个产业对其它产业的影响程度,或对其产业的拉动作用程度。这里,引入足迹影响力系数的概念,即以生态生产性土地来衡量产业间的影响程度。令 U_j 为足迹影响力矩阵,其中元素表示为 u_{ij} ,表示部门 i 对部门 j 的影响力, F_j 为部门 j 的足迹影响系数,为生产性土地或者化石能源地的投入强度,则有:

$$U = \bar{c}(I - A)^{-1} \tag{10}$$

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{u}_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{u}_{ij}} \tag{11}$$

结果表明(表 9):生产性足迹影响力一项中,一产部门数值最大,代表了农业部门对生产性土地的依赖性,在土地利用中举足轻重的地位;而化石能源地足迹影响力系数一项中,第二产业数值最大,表明其对能源消费的依赖性。所以,一产与二产在两个不同的方面主导着江苏省的区域足迹状况,并且存在着较强的足迹波及效应和辐射作用。有趣的是,两项足迹影响力中,后者同价值量衡量的影响力系数类似。

3.3.2 足迹感应力系数 感应力系数是反映某产业增加一个单位增加值时,要求其它产业提供的完全供给程度,以说明该产业对经济发展的推动作用强弱。这里,引入足迹感应力系数的概念,即某部门增加一个土地单位的产品时,要求其它部门提供的生态生产性土地的供给程度。

表 9 足迹影响力系数

Table 9 Comparison of infection coefficients

项目 Item	第一产业 Sector 1	第二产业 Sector 2	第三产业 Sector 3
影响力系数 Infection coefficients	0.92	1.16	0.92
生产性足迹影响力系数 Infection coefficients embodied in productive land	2.514	0.270	0.216
化石能源地影响力系数 Infection coefficients embodied in fossil energy land	0.766	1.486	0.75

首先计算供给系数矩阵 S : $S_{ij} = \frac{Z_{ij}}{x_i}$; (12)

式中, z_{ij} 表示部门 i 供应给部门 j 的价值量; x_i 表示部分 i 的总投入价值。

令 V_j 为足迹感应力矩阵, v_{ij} 为部门 i 对部门 j 的感应力, E_j 为部门 j 的足迹感应系数, $\bar{c}$ 为生产性土地或者化石能源地的投入强度,则有:

$$V = \bar{c}(I - S)^{-1} \tag{13}$$

$$E_j = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{v}_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{v}_{ij}} \tag{14}$$

结果表明(表10),江苏第二产业部门的足迹感应力相当强,超过一产部门,能源地足迹感应力系数更是达到2.032。表明社会对二产部门的产品(服务)的足迹需求很高,呈现快速上升势头,但鉴于江苏资源、原材料依赖进口的现实,二产部门相对也最容易出现发展中的生态性土地供给的瓶颈效应。对比以价值量衡量的感应力系数,说明二产部门发展对江苏经济、生态双重强推动效果。

4 结论与讨论

4.1 结论

按照消费角度核算的标准生态足迹算法没有考虑产品积累与国内贸易的情况,因而不能真实代表地区的生态压力情况。运用投入产出分析对生态足迹模型进行调整,结果显示,江苏实际人均地区生态足迹高达 2.33hm^2 ,比基于消费核算的人均足迹高出近1倍,江苏的真实生态赤字率高达58.8%,可持续能力堪忧。

江苏经济的人均土地最终需求极大,需要人均 2.33hm^2 的足迹面积来支撑,而其中有 0.58hm^2 需要依赖贸易输入,占到总量需求的25%;相应的,江苏的生态足迹输出也十分大,达到人均 0.638hm^2 ,甚至达到人均生态供给的1.6倍。也就是说,江苏经济资源、产品两头在外的发展模式亦可显著体现于足迹面积的输入输出上。江苏的外向型经济需要大量的生态生产性土地输入作为支撑,在近来能源、原材料、农产品价格持续上扬态势下,江苏资源进口必然受到抑止,进而可能导致江苏贸易的生产性土地的顺差大幅缩水。

从足迹类型来看,呈现出生产性土地顺差与能源地逆差共存特征,总体则属于贸易生态逆差。对比价值量的进出口分析,江苏贸易属于生态逆差和价值量顺差共存型。要想实现贸易方式双顺差,最好的手段就是:一边更多地进口区域外的生产性土地,特别是农用地的生态性土地;一边降低化石能源地的投入强度,即以提高能源效率的手段减少化石能源地的出口。

足迹影响力分析显示,江苏一产部门仍占据了生产性足迹需求的强势地位,而二产部门占据了化石能源地需求的强势地位;足迹感应力分析则表明,二产部门的两类足迹感应力系数都极强,其发展将可能面临较大的生态供给瓶颈;交叉关联分析认为,江苏二产部门生态足迹的经济波及效果最强列,不仅足迹占用需求大,而且增长迅猛。全球化背景下,国际产业链条重新分工,江苏二产部门大量承接了低附加值的加工组装业,产业链两头在外,产品附加值不高。因此,能源供给不足、原材料价格上扬、土地供给有限的硬约束条件下,江苏工业部门现行的“国际装配车间”发展模式将受到较大的冲击,进而影响整体区域经济。

4.2 讨论

(1)由于缺乏进口产品数据,研究中将进口的土地占用等同江苏本地处理,会造成一定偏差。其次研究并没将隐性部门(如家庭劳动、地下经济等)的产品(服务)纳入投入产出表中,因而计算的足迹值偏小,不过Bicknell认为其对区域总体足迹影响极小^[4]。

(2)遥感图像难以判别建成地中细分的各类用地(如制造业、建筑业、服务业以及居民点等),因此基于多部门投入产出分析的生态足迹评价,需要精细的土地统计调查数据。但鉴于我国土地利用调查现行口径,很难获取细分的行业土地占用面积(即使在细化到3级地类的土地利用结构表中,除独立工矿用地与交通运输用地,其它非农行业用地面积都难以获得)。

(3)投入产出模型有一缺陷,即生产性土地和能源地足迹的计算采取了不同标准,前者采用真实土地而后者为虚拟土地。因此,按照Wackernagel的标准,将基于Femg模型的结果进行调整,全部转换成虚拟土地,进而实现生态赤字的相关分析。

(4)以价值量投入产出表的模型来调整生态足迹仍然不够完美,从价值量到物理量之间存在单位转换问题,单位价值量的农产品往往比单位价值量的工业产品占用更多的生态资源(土地面积)。Hubacek等提出以

表10 足迹感应力系数

Table 10 comparison of inductivity coefficients

项目 Item	第一产业 Sector 1	第二产业 Sector 2	第三产业 Sector 3
感应系数 Inductivity coefficients	0.562	1.749	0.688
生产性土地足迹感应力系数 Inductivity coefficients embodied in productive land	1.342	1.387	0.271
化石能源地足迹感应力系数 Infectivity coefficients embodied in fossil energy land	0.437	2.032	0.531

实物量投入产出分析进行土地占用分析的思路^[6],不过我国自 1987 年以后就没有进行过相应的实物量投入产出表工作了。

References:

- [1] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, *et al.* National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375 ~ 390.
- [2] Wang S H, Mao H Y, Wang Z J. Progress in research of ecological footprint all over the world. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6):776 ~ 782.
- [3] Yin X, Ni J, Mao X L. Review of ecological footprint theory. *Chinese population, resources and environment*, 2004, 14(5): 45 ~ 52.
- [4] Bicknell K, Ball R, Ross C, *et al.* New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy, *Ecological Economics*, 1998, 27(2):149 ~ 160.
- [5] Manfred L, Shauna M. A modified ecological footprint method and its application to Australia, *Ecological Economics*, 2001, 37(2):229 ~ 255.
- [6] Hubacek K, Giljum S. Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities, *Ecological Economics*, 2003(44):137 ~ 151.
- [7] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. Measuring Sustainable development with the ecological footprint method——take Zhangye prefecture as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9):1484 ~ 1493.
- [8] Ferng J J. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity, *Ecological Economics*, 2001, 37(2):159 ~ 172.
- [9] Helmut H, Erb K H, Fridolin K. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926-1995, *Ecological Economics*, 2001, 38(1):25 ~ 45.

参考文献:

- [2] 王书华,毛汉英,等.生态足迹研究的国内外近期进展. *自然资源学报*, 2002, 17(6):776 ~ 782.
- [3] 尹璇,倪晋仁,毛小苓.生态足迹研究述评. *中国人口资源与环境*, 2004, 14(5):45 ~ 52.
- [7] 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. *生态学报*, 2001, 21(9):1484 ~ 1493.