

中国区域生态足迹的研究^①

□ 周 新^②

(日本地球环境战略研究所)

摘要: 本文指出传统生态足迹核算方法中存在的主要问题, 提出了应用多区域投入产出模型结合区域实际土地利用数据计算区域生态足迹的方法。通过中国八个区域生态足迹的核算, 得到两个主要结论: ① 区域的生态足迹, 以及区域间的生态依存关系存在很大差异, 需要区域层次或次区域层次的详细核算; ② 由于可再生资源的生态价值没有内在化于产品的生产成本中, 造成地区生态资源占用的不公平性, 解决这个问题需要适当的政策干预, 如区域间生态补偿机制。

关键词: 生态足迹 区域差异 区域间生态依存性 多区域投入产出模型

A Study on China's Regional Ecological Footprints

Zhou Xin

Abstract: This paper points out major problems associated with the conventional accounting method of ecological footprint, based on which provides a regional approach for ecological footprint calculation using multi-regional input-output model and regional land use data. By accounting for the ecological footprint of China's eight regions, this paper draws two conclusions. i) Regional ecological footprints and interregional resource dependency differ greatly from one region to another, which demands for detailed accounting at regional or sub-regional levels. ii) Regional appropriation of natural resource is unequitable due

^① 本研究得到了名古屋大学环境学研究科井村秀文教授和白川博章副教授的宝贵意见, 在此表示衷心感谢。

^② 周新, 通信地址: Institute for Global Environmental Strategies, 2108-11 Kamiyamaguchi, Hayama, Kanagawa, 240-0115 Japan; 电话: +81-46-855-3863; 传真: +81-46-855-3809; 邮箱: zhou@iges.or.jp.

mainly to the fact that the ecological value is not internalized in the production costs of associated products and therefore requires policy intervention such as the adoption of payment for ecological services.

Keywords: Ecological footprint Regional disparity Interregional resource dependency Multi-region input-output model

1 引言

20世纪90年代末期以来, 以 *Ecological Economics* (《生态经济学》) 为主的一些国际学术期刊上涌现了许多关于生态足迹 (Ecological Footprint) 的概念、实证研究, 以及探讨其核算方法的文章。此外, *Living Planet Report* (《地球生命力报告》)^[1] 揭示了全球生物多样性的状况和人类消费的变化, 包括世界近150个国家生态足迹的排名。2008年的报告表明, 2005年中国人均生态足迹为2.1全球公顷^①, 低于世界人均水平 (2.7全球公顷), 排名第74位。同时, 中国土地生态生产力 (biocapacity) 的人均拥有量为0.9全球公顷, 约为世界人均水平 (2.1全球公顷) 的40%, 排名第116位。中国的人均生态赤字 (即人均土地生态生产力的拥有量与人均生态足迹的差) 约为1.2全球公顷, 高于世界人均生态赤字水平 (0.7全球公顷)。

中国自实行改革开放以来, 人口密集的东部沿海地区先富裕起来, 加剧了区域间社会经济差距。由于区域间贸易, 以及跨区域的污染传输, 区域生产和消费不仅对本地区的生态环境造成影响, 还对其他区域产生影响。从自然地理条件看, 中国横跨49个经度、纵贯62个纬度, 加之山地和丘陵地形, 不同地域的自然资源禀赋 (如土壤、日照、温度和降水等) 有很大差别。这些因素综合影响了各区域的土地利用状况和土地生态生产力。研究区域层次的生态足迹和生态消费的区域间依存关系, 将对制定合理的生态保护政策和区域生态补偿政策等具有一定的借鉴意义。

1.1 生态足迹的概念及核算方法

Rees 和 Wackernagel^[2] 于20世纪90年代初最早给出了生态足迹的定义, 即为了维持特定人口现有的消费水平, 需要具有一定生态生产力的土地和水域,

^① 1全球公顷定义为1公顷具有全球平均生态生产力的土地。

为其提供所需要的物质资源并消纳其产生的废物。这些土地和水域的占用面积被形象地称为人类的生态足迹。换言之,生态足迹是以土地为媒介来评价人类活动和消费对地球生物圈所造成的影响,其根本原理是人类造成的各种生态影响都可以直接或间接地归结为土地占用。例如,每个人一年要消费一定数量的米、牛肉、鱼和电力等,生产大米需要占用具有一定生产力的稻田,牧牛需要占用具有一定生产力的草地,养殖鱼类需要水域,发电厂发电需要占用一定的土地,所使用燃料的开采、加工和运输也要占用一定的土地,所产生的污染,如二氧化硫形成酸雨,会造成一定面积的农田减产,所产生的二氧化碳需要具有一定生态生产力的森林进行吸收以避免造成全球温暖化,发电厂产生的固体废物需要占用土地进行放置或处理,等等。对所有土地的占用情况进行加权求和,就构成了生态足迹这一指标。对特定人口所拥有的土地生态生产力进行评价,在国家层次上以主权领土为界限,将人均生态足迹和拥有的土地生态生产力进行比较,就可以知道人类活动和消费是否超出了地球所能提供的限度,是否造成生态赤字。

Wackernagel 和 Rees^[3]最早提出了生态足迹的核算方法,该方法被《地球生命力报告》所采用,后又经 Monfreda 等^[4]进行系统化。该方法具有两个特点:第一,用土地占用面积为计量单位来衡量人类活动和消费所造成的生态影响;第二,通过两个步骤对土地占用面积进行正规化。首先是将主要消费品按照占用不同类型的土地进行归类,如农产品归为农田占用,木材产品归为森林占用,畜牧业产品归为草地占用,渔业产品归为水域占用,工业品、住房和交通等归为建成地占用,等等;然后,根据产品消费量和生产该产品使用的土地类型的全球平均生产力,计算出各种消费所占用不同类型土地的面积。例如,2007 年全球稻田的平均生产力为 4.15 吨/公顷^[5],若某一地区人均年消费 1.25 吨稻米,则生态足迹为 0.3 公顷(稻田);然后求出全球土地(包括所有土地类型)的综合生态生产力;最后按照耕地、森林、草地、建成地和水域等不同土地类型的全球平均生产力同全球土地的综合生态生产力的比值,求出各类型土地的生产力等价因子。生产力等价因子的作用是将不同土地类型按照其生产力进行正规化。将前面计算出的各种消费所直接和间接(产品从生产到消费的整个生命周期)占用的各类型土地的面积分别乘以相应土地的生产力等价因子,然后求和,再除以相应的人口数,就得到特定人口一年人均消费所产生的生态足迹,用全球公顷表示。

与此对应的是对各国所拥有的人均土地生态生产力进行评价,其方法是按照当地各类型土地的生态生产力同全球土地的综合生态生产力的比值,计算出当地各类型土地的生产力等价因子。用当地各类型土地的既存面积乘以相应的

生产力等价因子,然后加和,再除以相应的人口数,得到人均拥有的土地生态生产力资源,也用全球公顷表示。一个国家所拥有的人均生态生产力同生态足迹的差值,可以表示是否存在生态赤字(为负时)或生态平衡(为正时),由此说明可持续发展的状况。

1.2 传统核算方法存在的问题

自“生态足迹”这一概念出现以来,关于它的计算方法和政策应用就有很多争论(见 Van den Bergh 和 Verbruggen^[6]、Ayres^[7]、Moffatt^[8]、Opschoor^[9]、Van Kooten 和 Bulte^[10]、Bicknell 等^[11]、Feng^[12]、Hubacek 和 Giljum^[13]及 Lenzen 和 Murray^[14])。生态足迹的传统核算方法用数学公式表示如下:

$$EF_i^r = [(P^r - I^r - E^r) / \bar{Y}_i] \times \bar{e}_i \quad (1)$$

$$EF^r = \sum_i EF_i^r \quad (2)$$

$$ef^r = EF^r / H^r \quad (3)$$

式中, EF_i^r 为国家 r 的消费所占用的土地类型 i 的面积; P^r 为 r 的国内生产量; I^r 为 r 的进口量; E^r 为 r 的出口量; \bar{Y}_i 为 i 类型土地的全球平均生产力; \bar{e}_i 为 i 类型土地的生产力等价因子; EF^r 为 r 消费所占用的土地总面积; ef^r 为 r 的人均生态足迹; H^r 为 r 的人口数量。

$$BC_i^r = L_i^r \times (Y_i^r / \bar{Y}_i) \times \bar{e}_i \quad (4)$$

$$BC^r = \sum_i BC_i^r \quad (5)$$

$$bc^r = BC^r / H^r \quad (6)$$

式中, BC_i^r 为国家 r 拥有的土地类型 i 的生态生产力; L_i^r 为 r 的土地类型 i 的实际拥有面积; Y_i^r 为 r 的土地类型 i 的实际生产力; BC^r 为 r 拥有的总生态生产力; bc^r 为 r 的人均生态生产力拥有量。

首先,利用全球平均生产力 \bar{Y}_i 对一个国家 r 的净消费 $(P^r + I^r - E^r)$ 所造成的土地占用面积进行正规化[式(1)],这意味着消费等量的同类产品,所造成的生态影响相同,均为全球平均生态影响。生态影响只同消费量和消费品种有关,同原产地无关,这显然缺乏科学依据。由于不同国家和地区采用的生产方法和技术水平存在很大差异,加之温度、降水、土壤条件、受异常气候影响、自然净化能力等空间要素不同,土地受自然和人为干扰的程度也会有很大差别,表现为 Y_i^r 随 r 不同而不同。以全球土地平均生产力为基础计算生态足迹,如果 r 消费所占用土地的实际生产力大于全球土地平均生产力 ($Y_i^r > \bar{Y}_i$),则 r 的生态足迹将被高估,反之则被低估。由于中国的土地生产力多高于全

球平均土地生产力,因此中国的实际生态足迹在《地球生命力报告》中被高估了。

其次,在考虑国际贸易影响时,由于没有考虑进口产品的原产地,传统的生态足迹核算不能追溯一个国家的消费到底对哪个国家产生生态影响,造成了什么样的后果,应如何补偿。此外,当一个国家“外购污染”代替在本国生产时(即将污染强度高的产业转移到别的国家再进口相应的产品), P^r 将变小,而 I^r 变大时,该国消费引起的本国生态影响变小,但是域外影响会加大。生态足迹的传统核算方法只注重数量和品种,而不注重产地,无法反映“外购污染”情况。总之,用式(1)对生态足迹进行核算难以反映消费所造成的特定空间范围内的影响,如果以此指标来辅助政策制定,将会产生误导。

再次,用生产力等价因子(\bar{e}_i)将各类型土地综合成一种具有全球平均生态生产力的土地也存在一定问题。各类型的土地资源除了拥有一定的生态生产力,还能同时提供多种生态功能,如森林能涵养水源,森林和草地能固着地表土,防止水土流失和沙漠化等。此外,不同土地资源还有不同的文化和精神价值等,仅以土地生产力为唯一标准来评价其生态功能过于简单,不能反映土地利用变化所造成的生态影响。

最后,用($bc^r - ef^r$)表示一个国家的消费是否造成生态赤字同样存在问题,该值只能表示一个国家的消费能否自给自足,并不等同于可持续发展。像新加坡、中国和日本等国家人口密集,人均生态生产力的拥有量会偏低,因此在《地球生命力报告》中的生态现状国家排名处于劣势。由于评价方法的偏差,中国的生态足迹被高估,加之不合理的生态状况评价基准,致使中国在《地球生命力报告》中的生态赤字水平非常高。

1.3 研究目的

本文的研究目的是对生态足迹的传统核算方法进行修改,提出区域生态足迹的核算方法,并以此对中国八个区域的生态足迹进行核算,重点放在区域差异和区域间的生态依存关系上。具体修改方案如下:①利用多区域投入产出模型(multi-region input-output model, MRIO),追溯区域间贸易的原产地,评价消费所造成的直接的和隐含的现地生态影响;②用各类型土地的实际生产力代替全球平均土地生产力;③对各种土地类型分别进行评价,不加权求和。

2 研究方法

Bicknell等^[11]最早提出应用国家投入产出模型,将消费同土地占用联系起来计算新西兰的生态足迹。本文提出的核算方法是基于Bicknell等的方法,利用MRIO模型计算区域生态足迹。MRIO模型详细记述了每一中间产品贸易和每一最终产品贸易的原产地,因此方便于分析最终消费所造成的直接的和隐含的现地生态影响。下面以中国多区域投入产出表(CMRIO, IDE^[15])为例加以说明。CMRIO根据社会、经济发展的相近性,将中国分成八个区域,每个区域包括30个行业(见附录1、2)。

2.1 国内生产和进口的区分

CMRIO是进口竞争型多区域投入产出模型(即进口产品同国内产品视为等同),区域间的供给和需求关系表示如下

$$X = AX + F + E - M \quad (7)$$

式中, X 为各地区各行业的总产出(240×1 的列向量); A 为各地区各行业之间的交易系数矩阵(240×240); F 为各地区各行业的最终消费(240×1 的列向量); E 为各地区各行业的出口(240×1 的列向量); M 为各地区各行业的进口(240×1 的列向量)。

由于是进口竞争型投入产出模型,矩阵 A 和列向量 F 中均包含进口。为了对国内各区域之间贸易中隐含的土地占用和进口所造成的域外土地占用分别进行核算,引入进口系数矩阵[式(8)、(9)],将 AX 和 F 中所包含的进口部分分离出去[式(10)、(11)]。 \hat{M} 是进口系数对角线矩阵,表示国内各地区各行业的总供给中进口所占的比例, R_1, \dots, R_8 分别表示八个区域

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} \hat{M}^{R1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \hat{M}^{R2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \hat{M}^{R8} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$M = \hat{M}(AX + F) = \hat{M}AX + \hat{M}F \quad (9)$$

式(9)将进口的使用分成了两部分:一部分是满足各区域中间投入需要($\hat{M}AX$);另一部分是满足各区域最终消费需求($\hat{M}F$)。

将式(9)代入式(7)替代 M ,得到式(10),经转化后进一步得到式(11)。

$$X=AX+F+E-\hat{M}(AX+F) \quad (10)$$

$$X=[I-(I-\hat{M})A]^{-1}[(I-\hat{M})F+E] \quad (11)$$

$[I-(I-\hat{M})A]^{-1}$ 是 Leontief 逆矩阵, 表示的是满足单位最终产品需求所需提供的国内生产; $(I-\hat{M})F$ 表示的是由国内生产提供的最终消费。

2.2 国内贸易中隐含的土地占用

将土地利用数据同多区域投入产出模型结合起来, 计算区域内和区域间贸易中隐含的土地占用。首先, 将 Leontief 逆矩阵左乘各行业直接土地占用强度矩阵 $D(k)$:

$$\bar{L}(k) = D(k)[I-(I-\hat{M})A]^{-1} \quad (12)$$

式中, $\bar{L}(k)$ 为对 k 类型土地直接和间接占用的乘数矩阵, 代表单位最终产品中隐含的土地占用。其中

$$D(k) = \begin{bmatrix} D^{R1}(k) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & D^{R2}(k) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & D^{R8}(k) \end{bmatrix} \quad (13)$$

每一个 $D^R(k)$ (R 为各区域, 即 $R1, \dots, R8$) 是一个 30×30 的对角矩阵, 对角线上的元素 $d_j^R(k)$ 表示 R 地区 j 行业单位生产直接占用 k 类型土地的面积。

用 $\bar{L}(k)$ 右乘区域最终消费向量, 再合并整理, 就得到各区域最终消费中隐含的土地占用。

$$L(k) = \bar{L}(k) [(I-\hat{M})F] \quad (14)$$

2.3 进口中隐含的土地占用

CMRIO 中没有关于进口原产国的信息, 从各个国家进口的同类产品被视为等同。因此本研究无法计算进口中隐含的对原产国土地占用的情况。基于进口产品可用国内同类产品进行替代的假设, 本研究用各区域土地占用乘数系数矩阵 $\bar{L}(k)$ 来代替单位进口中隐含的域外土地占用, 利用式 (9) 计算各区域进口中隐含的土地占用。计算包括两部分: 一部分是进口中直接满足区域最终消费所隐含的域外土地占用 (LMF); 另一部分是进口中满足各区域中间消费所隐含的域外土地占用 (LMAX)。

$$LMF = \bar{L}(k) (\hat{M}F) \quad (15)$$

$$LMAX = \bar{L}(k) (\hat{M}AX) \quad (16)$$

2.4 土地利用数据

CMRIO 中的数据基于 1997 年和 2000 年, 因此本研究选择 2000 年各区域各行业的土地利用数据来计算 $D(k)$ 。土地类型 k 的分类同 Wackernagel 和 Rees^[3] 采用的方法基本一致, 根据投入产出表的需要和数据可得性, 进行了部分调整。土地分为三大类: 农用地、建成地和作为碳汇的能源土地。其中农用地又细分为耕地、森林、草地和养殖用水域 (表 1)。

因为各类型土地的生产力和生态功能各不相同, 本研究对六类土地的占用情况分别进行计算。用 R 地区 j 行业直接占用 k 类型土地的面积除以该行业的总产值得到土地直接利用系数 $d_j^R(k)$, 根据式 (14)、(15) 和 (16) 计算出各区域的最终消费中隐含的国内土地占用和域外土地占用, 再除以地区人口数, 就得到人均消费引起的土地占用, 即生态足迹。

表 1 土地利用分类

Tab. 1 Classification of land use

土地利用类型	说明	数据来源
农用地	农业生产占用的土地	中国农业年鉴 2001 ^[16]
耕地	农作物耕作用地	中国农业年鉴 2001 ^[16]
森林	林业用地	第四次全国森林资源调查 ^[17,18]
草地	用于畜牧业的天然或人工草地	中国畜牧业年鉴 2001 ^[19]
水域	用于渔业的海域或淡水水域	中国农业年鉴 2001 ^[16]
建成地	人类居住、工业和交通等占用的土地	全国土地利用调查 ^[20]
能源土地	作为碳汇的森林	Fang ^[21] , 中国能源统计年鉴 2000~2002 ^[22]

能源土地占用定义为能吸收人类一年中排放的 CO_2 的森林面积^[3]。计算能源土地占用需要两个步骤: 第一步是根据 IPCC 推荐的方法^[23] 计算各地区各行业燃料燃烧直接排放的 CO_2 ; 第二步是计算各区域森林的碳吸收因子, 即单位森林面积一年的碳吸收量。森林对碳的吸收能力决定于森林生物量的密度和年生长率。Wackernagel 和 Rees^[3] 根据其他研究估算出全球森林平均 1 公顷能吸收 1×10^{11} 焦耳 (GJ) 热量的燃料燃烧所排放的 CO_2 。然而, 不同地区森林生物量的密度有很大不同, 其取决于单位面积的森林蓄积量、林种、林龄和气候等多种因素。例如, 中国各省的森林生物量从 43 毫克/公顷到 126 毫克/公顷不等^[21]。本研究采用中国各省的森林数据计算区域的碳吸收因子。

用各地区各行业直接排放的 CO_2 的量除以相应区域的森林碳吸收因子, 得到吸收该行业年排放 CO_2 所需要的森林面积, 再除以该产业的产值, 即得到该行业单位生产所占用的能源土地 [d_j^R (energy)]。

3 计算结果

3.1 区域农地生态足迹

各种类型农用地的区域分布很不均匀,表现为耕地主要分布于区域 R1、R2、R3、R4、R5、R6 和 R7 的东部;森林主要分布于区域 R1 的东北部、R5 的东部、R6 的西部、R7 的中南部和 R8 的东北部;而草地主要集中在区域 R7 和 R8。

表 2 至表 5 分别表示 2000 年中国各区域消费所引起的耕地、森林、草地和水域的生态足迹(表示为人均土地占用面积),每一列表示区域消费占用本区域和其他区域的农地面积,每一行表示某区域向本区域和其他区域提供的隐含在贸易中的农地面积,对角线上的数据表示各区域消费占用的本地农地面积。

表 2 耕地生态足迹及区域间生态依存关系(单位:公顷/人)

Tab. 2 Ecological footprints of arable land and regional interdependency (Unit: hm²/capita)

区域	d^R (arable) /(公顷/万元)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
R1	1.07	0.1799	0.0028	0.0008	0.0007	0.0005	0.0003	0.0006	0.0002
R2	0.35	0.0002	0.0413	0.0002	0.0001	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000
R3	0.49	0.0037	0.0078	0.0725	0.0030	0.0021	0.0015	0.0018	0.0007
R4	0.27	0.0009	0.0008	0.0008	0.0539	0.0016	0.0005	0.0004	0.0003
R5	0.26	0.0006	0.0006	0.0003	0.0010	0.0566	0.0003	0.0004	0.0005
R6	0.58	0.0030	0.0043	0.0023	0.0044	0.0068	0.0824	0.0027	0.0019
R7	1.49	0.0021	0.0062	0.0011	0.0011	0.0018	0.0009	0.1785	0.0014
R8	0.72	0.0006	0.0008	0.0004	0.0008	0.0026	0.0006	0.0009	0.1036
域外		0.0063	0.0145	0.0057	0.0050	0.0073	0.0006	0.0060	0.0010
人口/百万		106.55	23.83	158.23	137.89	129.00	351.47	115.48	237.21

由表 2 看出,区域 R1 和 R7 单位产值直接占用的耕地面积大于其他区域,特别是大于较发达地区(R2、R4 和 R5),说明这两个区域耕地的经济利用效率较发达地区低,从而影响了这两个区域消费占用本地耕地的面积较大。从区域间耕地占用的依存关系看,区域 R3(北部沿海地区)和 R6(中部地区)是区域间贸易中隐含耕地占用的主要来源地,而区域 R2(北京等北方城市)和 R5(南部沿海地区)的消费很大程度上占用其他区域和域外的耕地。

表 3 森林生态足迹及区域间生态依存关系(单位:公顷/人)

Tab. 3 Ecological Footprints of Forest and Regional Interdependency (Unit: hm²/capita)

区域	d^R (forest) /(公顷/万元)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
R1	1.15	0.1900	0.0030	0.0009	0.0008	0.0006	0.0003	0.0006	0.0002
R2	0.08	0.0001	0.0155	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
R3	0.10	0.0009	0.0020	0.0180	0.0008	0.0005	0.0004	0.0005	0.0002
R4	0.16	0.0005	0.0005	0.0005	0.0317	0.0009	0.0003	0.0003	0.0002
R5	0.43	0.0008	0.0008	0.0005	0.0014	0.0833	0.0005	0.0005	0.0006
R6	0.38	0.0020	0.0028	0.0015	0.0029	0.0044	0.0538	0.0017	0.0012
R7	1.04	0.0015	0.0043	0.0008	0.0008	0.0012	0.0006	0.1249	0.0010
R8	0.60	0.0005	0.0006	0.0003	0.0006	0.0021	0.0005	0.0008	0.0850
域外		0.0063	0.0055	0.0017	0.0031	0.0094	0.0004	0.0042	0.0008

表 3 表明,区域 R1 和 R7 的森林经济利用效率较低,而区域 R2、R3 和 R4 的较高,因此区域 R1 和 R7 的消费占用本地森林面积也较大。从区域间森林消费的依存关系看,区域 R6 和 R7(西北部地区)是贸易中隐含的森林占用的主要来源地,而区域 R2 和 R5 消费占用的森林依赖其他区域和域外提供。

表 4 草地生态足迹及区域间生态依存关系(单位:公顷/人)

Tab. 4 Ecological Footprints of Pasture and Regional Interdependency (Unit: hm²/capita)

区域	d^R (pasture) /(公顷/万元)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
R1	0.35	0.0720	0.0011	0.0003	0.0003	0.0002	0.0001	0.0003	0.0001
R2	0.03	0.0003	0.0367	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
R3	0.09	0.0012	0.0026	0.0236	0.0010	0.0006	0.0005	0.0007	0.0003
R4	0.01	0.0003	0.0003	0.0003	0.0149	0.0004	0.0002	0.0002	0.0001
R5	0.03	0.0003	0.0002	0.0001	0.0004	0.0178	0.0002	0.0002	0.0002
R6	0.36	0.0021	0.0030	0.0016	0.0031	0.0045	0.0555	0.0019	0.0013
R7	10.08	0.0138	0.0409	0.0072	0.0072	0.0119	0.0057	1.1804	0.0091
R8	0.55	0.0005	0.0006	0.0003	0.0007	0.0021	0.0005	0.0008	0.0839
域外		0.0034	0.0130	0.0024	0.0027	0.0038	0.0015	0.0366	0.0011

由于草地资源的区域分布特点,区域 R7 是区域间贸易中隐含的草地占用的最主要来源地,区域 R2 的消费很大程度上占用区域 R7 的草地。在水域生态足迹方面(表 5),区域 R6 和 R3 是贸易中隐含的水域占用的主要来源地,相对来说,区域 R2 和 R5 的消费引起的水域占用依赖于这两个区域。

表 5 水域生态足迹及区域间生态依存关系 (单位:公顷/人)

Tab. 5 Ecological Footprints of Water Surface and Regional Interdependency (Unit: hm²/capita)

区域	d^R (water) /(公顷/万元)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
R1	0.046	0.0079	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
R2	0.022	0.0000	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
R3	0.020	0.0002	0.0003	0.0031	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
R4	0.036	0.0001	0.0001	0.0001	0.0062	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
R5	0.028	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0055	0.0000	0.0000	0.0000
R6	0.037	0.0002	0.0003	0.0001	0.0003	0.0004	0.0052	0.0002	0.0001
R7	0.015	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000
R8	0.015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0023
域外		0.0003	0.0008	0.0003	0.0005	0.0006	0.0000	0.0001	0.0000

从区域农用地生态足迹各类型土地的组成情况看,区域 R2 和 R3 的消费占用较多耕地和草地,区域 R1 和 R5 的消费较大依赖耕地和林地,区域 R4、R6 和 R8 的消费较平均地依赖耕地、林地和草地,而区域 R7 的消费则集中地依赖草地。水域在各区域农用地生态足迹中的比例都很小。这些区域生态足迹的特点综合反映了各区域土地资源分布特性和生活消费方式的差异。

3.2 区域 CO₂ 排放及能源土地生态足迹

图 1 表示区域消费中隐含的 CO₂ 排放,其包括三部分:国内贸易中隐含的碳排放、进口中隐含的碳排放,以及最终消费中的直接碳排放。2000 年全国人均排放量为 2.19 吨 CO₂,各区域排放从 1.61 吨(区域 R8)至 6.74 吨(区域 R2)不等,相差约 3 倍。图 2 表示各区域消费中隐含的 CO₂ 排放同区域 GDP 呈线性增长关系,经济较发达地区消费中隐含的 CO₂ 排放也较大。

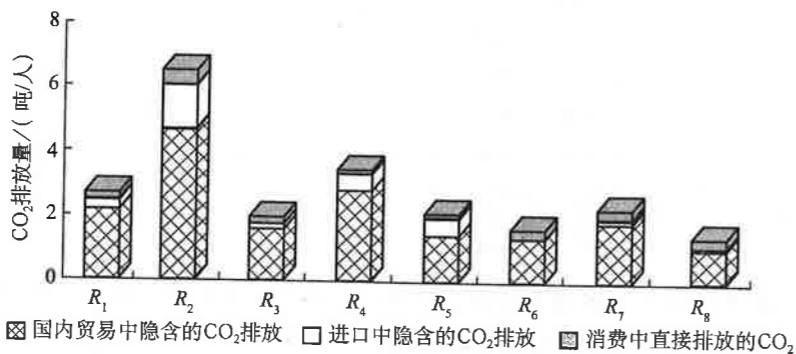


图 1 区域消费中隐含的 CO₂ 排放

Fig. 1 CO₂ Emissions Embodied in Regional Consumption

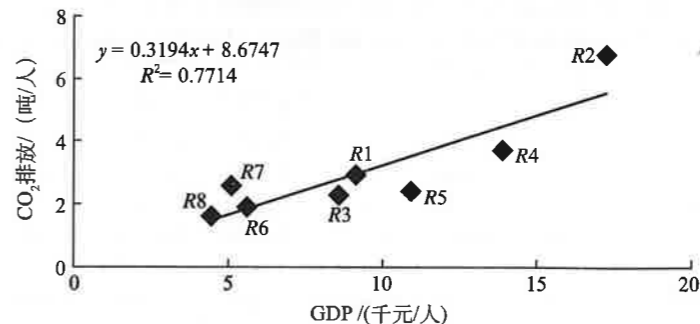


图 2 各区域消费中隐含的 CO₂ 排放同区域 GDP 的关系

Fig. 2 Embodied CO₂ Emissions and Regional GDP

表 6 表示各区域消费的能源土地生态足迹。从区域间的依存关系来看,一方面,区域 R3 和 R6 的森林作为碳汇对其他地区消费引起的隐含 CO₂ 排放起着重要的吸收作用。另一方面,区域 R2 总体上对其他区域和域外的能源土地依赖性最大,此外,区域 R2 和 R6 对域外能源土地的依赖大于其他区域。

表 6 能源土地生态足迹及区域间生态依存关系 (单位:公顷/人)

Tab. 6 Ecological Footprints of Energy Land and Regional Interdependency (Unit: hm²/capita)

区域	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
R1	0.5571	0.0053	0.0017	0.0016	0.0007	0.0008	0.0026	0.0005
R2	0.0010	0.5108	0.0012	0.0006	0.0005	0.0003	0.0010	0.0002
R3	0.0069	0.0347	0.2514	0.0068	0.0029	0.0039	0.0050	0.0018
R4	0.0047	0.0051	0.0071	0.4422	0.0078	0.0057	0.0046	0.0027
R5	0.0020	0.0023	0.0013	0.0044	0.2734	0.0020	0.0023	0.0027
R6	0.0059	0.0249	0.0063	0.0144	0.0115	0.2874	0.0104	0.0064
R7	0.0049	0.0096	0.0020	0.0024	0.0021	0.0028	0.7278	0.0032
R8	0.0011	0.0015	0.0008	0.0018	0.0042	0.0019	0.0040	0.2808
域外	0.0535	0.1493	0.0289	0.0764	0.0846	0.1099	0.0388	0.0098

3.3 建成地生态足迹

表 7 是关于各区域消费引起的建成地生态足迹。区域 R3 和 R6 是区域间贸易中隐含的建成地占用的主要来源地,而区域 R2 的消费引起的建成地占用相对来说最为依赖其他区域。

表7 建成地的生态足迹及区域间生态占用的依存关系(单位:公顷/人)

Tab. 7 Ecological Footprints of Built-up Land and Regional Interdependency (Unit: hm²/capita)

区域	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
R1	0.0362	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
R2	0.0000	0.0191	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
R3	0.0003	0.0009	0.0224	0.0004	0.0002	0.0002	0.0003	0.0001
R4	0.0001	0.0001	0.0002	0.0187	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001
R5	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0126	0.0001	0.0001	0.0001
R6	0.0003	0.0005	0.0003	0.0006	0.0005	0.0218	0.0005	0.0003
R7	0.0001	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0395	0.0001
R8	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0171
域外	0.0018	0.0061	0.0011	0.0021	0.0026	0.0026	0.0010	0.0003

从各区域三大类型土地生态足迹的组成情况看,区域 R2、R3、R4 和 R5 的消费主要依赖能源土地,其次是农用地;区域 R1、R6 和 R8 的消费均匀地依赖能源土地和农用地;而区域 R7 的消费则较为依赖农用地,特别是草地。建成地在区域生态足迹中比例都很小。

4 结论

本文对传统的生态足迹核算方法进行了剖析,指出了利用全球平均生态影响代替产地不同的同类产品所造成的特定空间生态影响,以及用土地生产力作为衡量标准将不同类型土地归并为一类土地等所存在的问题。针对这些问题提出了在区域层次对生态足迹进行核算的方法。其主要特点是利用多区域投入产出模型追溯供给区域消费的原产地,结合现地土地占用情况(实际生态影响),核算区域消费的生态足迹。本文提出的方法能为决策提供更准确的信息。

通过对中国八个区域生态足迹进行核算,初步得到以下三点结论。

第一,各区域消费所引起的生态足迹无论是数量上,还是区域间的依存关系上都存在很大差异,这些是消费水平、生活方式、土地利用强度和自然资源禀赋等因素综合影响的结果。国家层次的生态足迹核算和分析很难反映这些区域差异。为了使生态足迹指标能更好地辅助决策,应尽可能进行区域层次、省层次,甚至更微观层次的核算。另外,对造成区域生态足迹差异的要因做进一步分析将是今后的重要课题^[24]。

第二,从全国来看,各区域消费引起的生态占用存在不公平性。主要特点是经济较发达地区(北京等地和南部沿海地区)占用的生态资源多,且依赖其

他区域和域外提供。由于可再生资源的使用租金和生态价值没有内在化于产品的成本中,这种生态占用的不公平性将加剧中国既存的区域经济极差,造成恶性循环。因此,需要适当的政策进行有效干预,如引入区域间的生态补偿机制。本研究的结果对此有一定的借鉴意义。

第三,本文只对区域消费所引起的隐含土地占用(生态足迹)进行了核算,而没有对各区域各类型土地资源状况(如土壤退化、沙漠化等)进行详细评价。结合区域消费引起的隐含土地占用和各区域土地资源状况评价,可以为引入区域间的生态补偿机制等政策提供更有力的支持。

参考文献

- [1] WWF. Living Planet Report. <http://www.panda.org/livingplanet/>. 2008
- [2] Rees W E, Wackernagel M. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 1996, 16: 228
- [3] Wackernagel M, Rees W E. Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth. Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996
- [4] Monfreda C, Wackernagel M, Deumling D. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts. *Land Use Policy*, 2004, 21: 231~246
- [5] International Rice Research Institute. Paddy rice yield by country and geographical region, 1961~2007
http://beta.irri.org/solutions/index.php?option=com_content&task=view&id=250. 2010-08-06
- [6] Van den Bergh JCJM, Verbruggen H. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'. *Ecological Economics*, 1999, 29: 61~72
- [7] Ayres R U. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 2000, 32: 347~349
- [8] Moffatt I. Ecological footprints and sustainable development. *Ecological Economics*, 2000, 32: 359~362
- [9] Opschoor H. The ecological footprint: measuring rod or metaphor. *Ecological Economics*, 2000, 32: 363~365
- [10] Van Kooten G C, Bulte E H. The ecological footprint: useful science or politics. *Ecological Economics*, 2000, 32: 385~389
- [11] Bicknell K B, Ball R J, Cullen R, et al. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological Economics*, 1998, 27 (2): 149~160
- [12] Ferng J J. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated

- with production activity. Ecological Economics, 2001, 37: 159~172
- [13] Hubacek K, Giljum S. Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprint) of international trade activities. Ecological Economics, 2003, 44: 137~151
- [14] Lenzen M, Murray S A. A modified ecological footprint method and its application to Australia. Ecological Economics, 2001, 37: 229~255
- [15] IDE (Institute of Developing Economics). Multi-regional Input-Output Model for China 2000. I. D. E Statistical Data Series, No. 86. Tokyo, 2003
- [16] 《中国农业统计年鉴》编辑委员会. 中国农业年鉴 2001. 北京: 中国农业出版社, 2001
- [17] 中国森林编辑委员会. 中国森林. 北京: 中国林业出版社, 1997: 210
- [18] 中国自然资源丛书编辑委员会. 中国自然资源综述: 森林卷. 北京: 中国环境科学出版社, 1995: 75
- [19] 中国畜牧业年鉴编辑委员会. 中国畜牧业年鉴 2001. 北京: 中国农业出版社, 2001
- [20] 中国科学院中国自然资源数据库. <http://www.data.ac.cn/zrzy/kulnew.asp>. 2000
- [21] Fang J Y. Forest biomass of China: an estimate based on the biomass-volume relationship. Ecological Applications, 1998, 8 (4): 1084~1091
- [22] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展和改革委员会能源司. 中国能源统计年鉴2000~2002. 北京: 中国统计出版社, 2004
- [23] IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook. Vol. 2. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>. 1996
- [24] Zhou X, Imura H. China's regional ecological footprint and decomposition analysis. Proceedings of the Eighth International Summer Symposium, Japan Society of Civil Engineers (JSCE), Nagoya, Japan, 2006: 347~350

附录 1 中国多区域投入产出表 (CMRIO) 中八个区域的划分

Appendix 1 Region Classification in China Multi-region Input-Output Table (CMRIO)

代码	区域名称	包括的省(自治区、直辖市)
R1	东北地区	辽宁、吉林、黑龙江
R2	北方城市	北京、天津
R3	北部沿海地区	河北、山东
R4	中部沿海地区	上海、江苏、浙江
R5	南部沿海地区	福建、广东、海南
R6	中部地区	山西、河南、湖北、湖南、安徽、江西
R7	西北地区	内蒙古、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆
R8	西南地区	重庆、四川、贵州、云南、西藏

附录 2 中国多区域投入产出表 (CMRIO) 中的行业分类

Appendix 2 Sector Classification in China Multi-region Input-Output Table (CMRIO)

代码	行业	代码	行业
1	农业	16	机器和设备制造业
2	煤炭开采和加工业	17	运输设备制造业
3	石油和天然气产品生产	18	电子设备和机器制造业
4	金属矿开采业	19	电子和通讯设备制造业
5	非金属矿开采业	20	仪器、仪表、文化和办公设备制造业
6	食品生产和烟草加工	21	机器和设备的维修业
7	纺织工业	22	其他制造业
8	服装、毛皮、羽绒及其产品生产	23	再生和废品工业
9	锯木业和家具制造业	24	电力、蒸气和热水的生产和供应
10	纸和纸制品、印刷和记录媒介复制等	25	煤气的生产和供应
11	石油加工和焦炭业	26	自来水的生产和供应
12	化工	27	建筑业
13	非金属矿产品制造业	28	交通和仓储业
14	金属冶炼和加工业	29	批发和零售业
15	非金属矿产品制造业	30	服务业