

基于宏观贸易调整方法的国家生态足迹模型

白 钰^{1,2}, 曾 辉^{1,3,*}, 李贵才¹, 高启辉³, 魏建兵¹

(1. 北京大学深圳研究生院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055; 2. 天津市国土资源和房屋管理研究中心, 天津 300041;
3. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要: 针对生态足迹分析模型传统贸易调整方法中仅仅考虑生物产品和能源直接贸易而没有涵盖各类产品间接贸易所产生的贸易足迹的缺陷, 分别提出了包含两类贸易足迹核算在内的生物产品贸易调整系数和能源贸易调整系数, 并在此基础上构建了基于宏观贸易调整方法的国家生态足迹分析模型。将该模型用于中国 1986 ~ 2005 年的实证研究表明, 模型结果虽然没有对中国生态超载形势逐渐恶化的结论形成颠覆性影响, 但却揭示了人均生态足迹具有间隔为 5a 左右的周期性下降现象。生物产品的贸易足迹变化趋势与我国目前面临的农业乃至粮食生产形式较为一致; 能源贸易足迹变化趋势则真实地反映了我国现行经济发展模式、产业结构乃至国际贸易发展的特点。实证研究成果还充分证明, 加工产品的贸易对国家生态足迹的影响不容忽视, 特别是能源贸易足迹的合理估算, 可以作为国家层面全球环境责任分工的依据之一。

关键词: 生态足迹; 贸易调整; 贸易足迹; 尺度; 中国

文章编号: 1000-0933(2009)09-4827-09 中图分类号: Q14; X24 文献标识码: A

National ecological footprint model based on macroscopical trade-correct method

BAI Yu^{1,2}, ZENG Hui^{1,3,*}, LI Gui-Cai¹, GAO Qi-Hui³, WEI Jian-Bing¹

1 The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen, Guangdong 518055, China

2 Tianjin Land & Resources & Housing Management Research Centre, Tianjin 300041, China

3 College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4827 ~ 4835.

Abstract: Ecological footprint (EF) is one of the most successfully and widely used method of sustainable development assessment. However, due to its inherent weakness, many scholars modified ecological footprint model according to its shortcomings. This paper pointed that trade-correct method is based on the biologic and energy accounts categories data, without considering the trade of artifactual products. By analyzing the actual range of trade, we tried constructing two “trade-correct coefficients” to advance a national EF model based on macroscopical trade-correct method. In “trade-correct coefficient” of biologic account, the product of household consumption expenditure and Engle Coefficient represented national consumption of biologic products, while the sum of primary industry GDP and food productions GDP represented national biologic products output. In energy account, we used the energy consumption density of three industries to compute energy content in trade, then the ‘trade-correct coefficient’ was given to evaluate energy consumption which was serve to national people.

This EF model is applied to the ecological assessment of China between 1986 and 2005. The results indicate the following: (1) Chinese EF is 0.9802 $\text{hm}^2 \text{cap}^{-1}$ in 1986 and 1.8769 $\text{hm}^2 \text{cap}^{-1}$ in 2005. The result showed that the ecological overloading of China worsening as a whole, but it opened out a phenomenon that the periodical decrease of EF per capita. (2) The biologic products trade footprint decreased from 0.0285 $\text{hm}^2 \text{cap}^{-1}$ in 1986 to -0.0154 $\text{hm}^2 \text{cap}^{-1}$ in 2005, but the change trend was fluctuant. The highest value was 0.0314 $\text{hm}^2 \text{cap}^{-1}$ in 1990 and the lowest one was

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40830747); 深圳市“百人计划”及深圳市科技局科技计划资助项目(SZKJ-200706)

收稿日期: 2008-02-25; 修订日期: 2009-07-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zengh@szpku.edu.cn

$-0.1505 \text{ hm}^2 \text{ cap}^{-1}$ in 1999. These results coincided with the agriculture and grains productions. The energy trade footprint was steadier than the former, and the trend reflected the economic development pattern, industry structure and the international trade development features. (3) The artifactual product trade had an unneglectable impact on the result of EF model. Energy Trade footprint could provide references of the international environmental obligation distribution. (4) Taking money as goods weight substitute and the international trade complexity would bring on some computational errors, but these errors were acceptable by the macroscopical trade-correct method.

Key Words: ecological footprint; trade-correct; trade footprint; scale; China

生态足迹理论通过比较研究区域内人类活动所需要的生态足迹和自然生态系统所能提供的生态承载力来表征区域内可持续发展的状态^[1]。生态足迹模型具有表达直观、方法综合、操作性强等优点,因而在生态承载力研究领域迅速传播和广泛应用^[2~5]。国内外学者应用生态足迹分析的理论和方法进行了大量的实证研究,特别是一些国家和地区层面的大尺度比较研究,因其成果能够有效地反映不同比较单元之间可持续性的程度差异,进而为相关发展提供有说服力的决策依据,生态足迹方法逐渐成为可持续发展研究的典范性工具^[6~12]。

然而,由于贸易全球化的影响,一个国家或地区的生产和生活行为所产生的生态足迹可以通过贸易途径实现跨越地区界限的输送。为合理评估贸易输出国(或地区)实际的生态压力,需要在生物资源和能源的消费额中考虑贸易调整,以合理计算该地区生物资源和能源净消费额^[9]。生态足迹模型最初提出时就倡导利用贸易调整方法来消除贸易活动对生态足迹评估结果的影响,只是现有调整方法在内容和调整途径方面存在着明显的缺陷,因而影响了生态足迹评估结果的精度和可辩护性^[5,13,14]。本文尝试在已有研究基础上,从宏观角度对生态足迹模型的贸易调整方法加以改进,并对中国自 1986 年以来 20a 生态足迹的时序变化和贸易影响进行核算与分析。

1 关于现行贸易调整方法缺陷的思考

1.1 生物资源账户贸易调整方法的缺陷

生态足迹方法主要用于计算在一定的人口与经济规模条件下,维持资源消费和废弃物消纳所必需的生物生产面积。因此生物资源账户在账户内容选择时选取的消费项目均为生物产品,或者说是初级生物产品,其对应的土地类型为耕地、牧草地、林地和水域。每种生物产品通用的贸易调整方法为^[1,13]:

$$\text{贸易调整后的消费量}(\text{trade-corrected consumption}) = \text{生产量}(\text{production}) + \text{进口量}(\text{imports}) - \text{出口量}(\text{exports})$$

其中生产量和进出口量通常来自于统计数据,因此根据这样的算法,贸易调整的结果只是将初级生物产品的净贸易量的影响剔除,其本质是关注了初级生物产品在地区之间直接贸易,却忽略了初级生物产品在本区域内进行加工后的贸易过程(图 1)。

忽略加工产品贸易过程等于将产品加工初级生物产品消耗所产生的生态足迹归属于加工过程所在地,而事实上这部分产生的生态足迹会通过贸易过程传递到其它国家,因此原贸易调整方法计算的结果存在一定误差,即会高估加工产品出口地区所占有的生态足迹而同时低估加工产品进口地区所占有的生态足迹。

1.2 能源账户贸易调整方法的缺陷

由于能源的消耗无论在消费形式和最终的价值形态上均与初级生物产品有本质的差别,因此将能源消耗独立为一个账户进行生态足迹的计算,其对应的土地类型为化石能源用地和建设用地。目前常用的能源账户的贸易调整方法有两种。

一种方法与生物资源账户的调整方法类似,计算能源初级产品的净贸易量以核算能源的国内消耗量^[1]。这种方法的潜台词是凡是研究区域内消耗的能源,无论其生产的产品的最终流向如何,消耗能源所产生的温室气体均要由本地区来负责消纳。这样实质上忽略了温室气体排放特征的不同,本国的能源消耗的最终生产

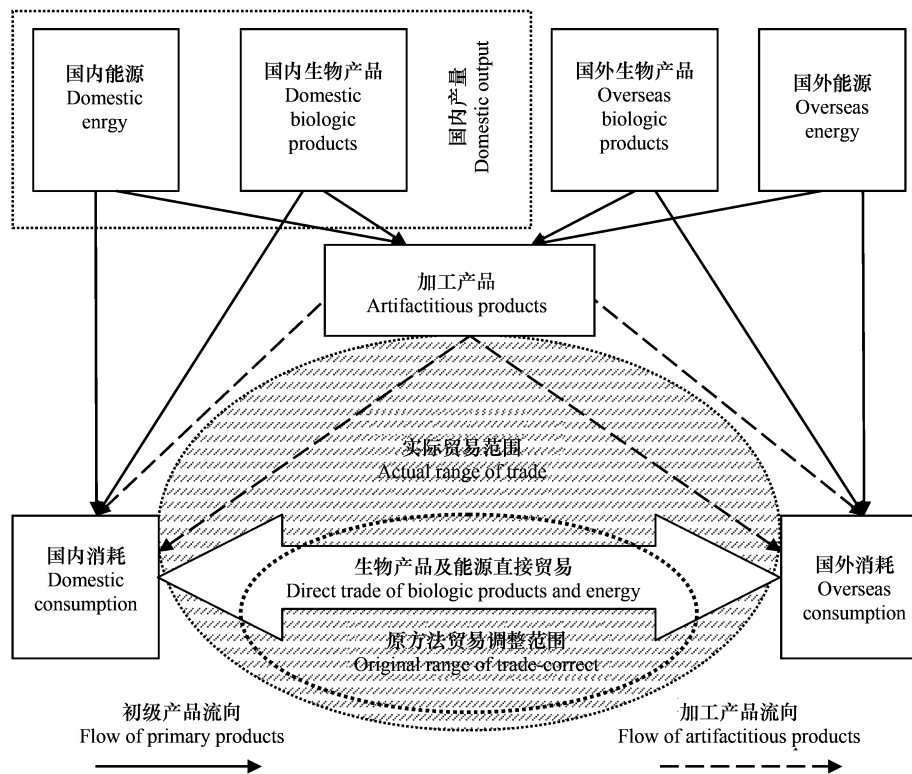


图1 资源消耗流向及贸易调整范围

Fig. 1 Flow of resource and range of trade-correct

产品并不全部是为了满足自身特定人口的需要,部分通过贸易的形式输送到国外,也就是说贸易部分所产生的生态足迹并不是用来维持本国区域特定的人口的发展所必需的。从生态环境责任上来说,国外人群获得了能源消耗所带来的产品和服务,也同样应承担这部分所带来的生态足迹。所以这类贸易调整的出发点显然违背了生态足迹理论的初衷,进而也忽略了加工产品的贸易过程对生态足迹的影响(图1)。

另一种方法是将各种贸易商品根据其能源密度计算能源携带量,再加和以计算净能源贸易量^[9]。这种方法考虑加工产品的贸易过程,但仍存在3个方面的缺陷:(1)计算过程中应用的各类商品能源密度通常是固定数值,这样则忽视了同类商品生产的不同区域生产特征,由于科技条件的差别,同种产品在不同国家甚至同一国家的不同时期的能源密度都是存在差异的;(2)能源密度数据的商品类型和贸易商品统计的类型不完全对应^[15];(3)贸易统计数据中的商品类型不全面,会使贸易调整过程中出现漏算现象,以致产生较大的误差。因此,这种算法对于计算开放经济体间足迹的贸易流动显得力不从心^[16,17]。

2 一种新的宏观贸易调整法

生态足迹的贸易调整方法往往受限于相关数据统计的不足,以往的方法通常基于微观层面的产品分类贸易数据来计算,这样就难以将加工产品的贸易情况与生物资源和能源的消耗建立合理的换算关系。基于此,本文尝试从宏观的角度分别确定生物资源账户和能源账户的“贸易调整系数”,并据此分别计算两个账户的最终生态足迹占用结果,以期更准确地评估某一特定研究地域单元内居民的真实消费情况,并合理反映其生态足迹占用对区域可持续发展的影响。

2.1 生物资源账户的贸易调整方法

生物资源账户的“贸易调整系数”公式为:

$$c_b = \frac{H \times EC}{G_p + G_f}$$

式中, c_b 为生物资源账户的贸易调整系数; H 为居民消费总额; EC 为恩格尔系数; G_p 为第一产业国民生

产总值; G_F 为食品类加工业国民生产总值。

此系数的含义:居民消费水平与恩格尔系数的乘积代表居民消费中食物部分消费的份额,用以表征区域内生物产品的真实消费量^[18];将第一产业 GDP 和食品类加工业 GDP(包括农副产品加工业、食品制造业和饮料制造业)求和用以表征本区域内初级生物产品和加工产品的总生产量。

2.2 能源账户的贸易调整方法

能源账户部分的“贸易调整系数”公式为:

$$c_e = \frac{E - E_T}{E}$$

式中, c_e 为能源账户的贸易调整系数; E 为能源消费总量; E_T 为净贸易能源携带量, $E_T = \sum_{i=1}^3 e_i T_i$; e_i 为第一、二、三产业的能源消耗强度,是根据统计年鉴中国家 3 个产业的能源消耗与 3 个产业的 GDP 相比获得的; T_i 为第一、二、三产业产品的净贸易额。

此系数的含义:和生物产品的消费不同,能源的消耗不仅仅体现在居民消费中,也不能找到类似恩格尔系数的指标将其从整体消费中分割出来。能源往往最终不是以独立产品的形式参与贸易,而是作为产品的部分成本将价值蕴含在产品之中。利用三产的能源消耗强度结合贸易额去估算净贸易能源携带量,将其从能源消费总量中扣除就可达到贸易调整的目的。

2.3 生态足迹的贸易调整方法

在综合考虑上述两类账户调整的基础上,生态足迹的贸易调整公式为:

$$EF = c_b \times EF_b + c_e \times EF_e$$

式中, EF 为总生态足迹; EF_b 为基于初级生物产品生产量计算的生物资源账户的总生态足迹; EF_e 是基于能源消耗量计算的能源账户的总生态足迹。

3 中国 1986 ~ 2005 年生态足迹计算与分析

3.1 中国历年生态足迹计算结果分析

数据主要来源为中国统计年鉴(1987 ~ 2006 年)和中国经济年鉴(1987 ~ 2006 年)。基于生态足迹模型^[1,4],依据上述宏观贸易调整方法对中国历年生态足迹和生态承载力进行计算。在生态足迹和生态承载力的计算中,均衡因子和产量因子是影响计算结果的两个关键因素。其中均衡因子表示不同类型土地潜在生产力之比;而产量因子表示不同区域土地生产力比较^[19]。本文采用 Wackernagel 关于均衡因子计算的研究成果;而产量因子则用历年中国与世界不同土地单产比值进行估算,最终计算结果如表 1 所示。

表 1 1986 ~ 2005 年中国人均生态足迹及人均生态承载力 (hm²)

Table 1 Ecological footprint and biological capacity (per capita) of China between 1986 – 2005

年份 Year	生态足迹 Ecological footprint	生态承载力 Biological capacity	生态赤字 Ecological deficit	年份 Year	生态足迹 Ecological footprint	生态承载力 Biological capacity	生态赤字 Ecological deficit
1986	0.9802	0.8504	0.1298	1996	1.5543	0.9784	0.5759
1987	0.9941	0.8650	0.1291	1997	1.5679	0.9649	0.6030
1988	1.0552	0.8543	0.2009	1998	1.6027	0.9841	0.6186
1989	1.0820	0.8554	0.2266	1999	1.6814	0.9652	0.7162
1990	1.0758	0.8935	0.1823	2000	1.6696	0.9346	0.7350
1991	1.1254	0.8897	0.2357	2001	1.6829	0.9370	0.7459
1992	1.2533	0.9066	0.3467	2002	1.7250	0.9636	0.7614
1993	1.3661	0.9199	0.4462	2003	1.8268	0.9454	0.8814
1994	1.3932	0.9031	0.4901	2004	1.8961	0.9548	0.9413
1995	1.5838	0.9365	0.6473	2005	1.8769	0.9431	0.9338

中国历年生态足迹计算结果显示,1986~2005 年的 20a 中,从人均水平来看,与以往研究计算结果显著不同^[19~21],人均生态足迹没有呈现逐年单调上升的现象,而是在大约每 5 年 1 个周期会出现 1 次回落,分别出现在 1989~1990、1995~1996、1999~2000 年与 2004~2005 年(如图 2),巧合的是这些出现回落的时间点均在国家五年计划的交接时期。生态足迹的增加意味着对自然资源的利用程度加大,人口膨胀和消费水平的上升是主要原因;人均生态足迹的周期性降低则意味着自然资源和能源利用效率的提高,科技进步和政府政策导向是主要原因。人均生态足迹的降低反映出我国国民经济和社会发展五年计划的交替阶段往往是国家政策性调控力度最强的时期,这充分显示了国家层面以 5a 为周期的政策选择转变对实现可持续发展的重要性。

中国总生态足迹和总生态承载力均有所上升,但总生态足迹上升速度明显快于总生态承载力。生态赤字也呈现历年上升的趋势,20a 间人均生态赤字增加了 0.804 hm^2 ,其中 1991~1995 年期间人均生态赤字增加 0.465 hm^2 ,占到总增加赤字的 57.8%,表明 1990~1995 年间是中国生态超载程度恶化的关键时期(图 2)。

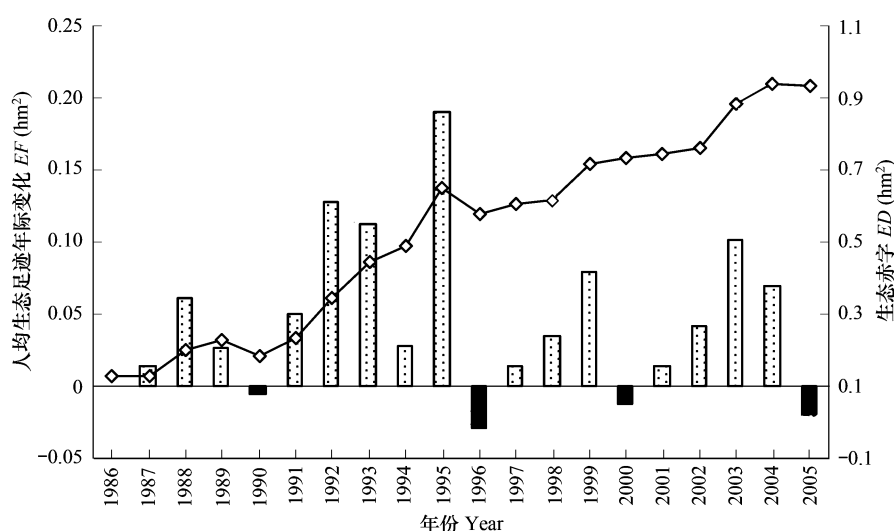


图2 中国历年人均生态足迹和生态赤字的年际变化情况

Fig.2 Variety of ecological footprint (per capita) and ecological deficit of China by years

3.2 贸易生态足迹分析

宏观贸易调整法是修正的生态足迹贸易调整方法,可以更全面便捷的反映贸易生态足迹在国家生态足迹占用中的比例以揭示贸易过程在国家可持续发展中的影响程度。需要说明的是,生物资源账户的贸易调整前后生态足迹计算的差额即为生物产品的净出口贸易足迹;而能源账户中,贸易调整前计算使用的是能源消耗量,因此贸易调整前后生态足迹计算的差额仅是能源在加工产品贸易过程中的生态足迹,需要将能源直接贸易过程产生的生态足迹转移合并进来才是能源的净出口贸易足迹。中国人均贸易足迹的分类计算结果汇总见表 2。

1986~2005 年间净出口总贸易足迹的变化没有明显的规律性,处于不稳定的波动状态,生物产品贸易足迹大多数年份保持逆差状态;能源贸易足迹中,总能源贸易足迹在 1995 年之后就保持着顺差的状态,但初级产品直接贸易与加工产品间接贸易之间的规律性不同,直接能源贸易足迹逆差逐年扩大,而加工产品输出所产生的间接能源贸易足迹则是顺差逐年增加,且在 1995 年以后始终高于直接能源贸易足迹逆差(图 3)。

上述结果表明,中国在 20 世纪 80 年代属于生物产品足迹的出口国和能源足迹的进口国,在 90 年代之后成为了生物产品足迹的进口国和能源足迹的出口国,而在进入本世纪之后,在能源足迹的稳定出口基础上,逐渐扭转生物产品足迹大量进口的局面,并在 2005 年达到生物产品足迹的贸易顺差。生物产品足迹长期进口的现实从根本上反映出国家综合农业发展的压力,这些压力主要来自于人口的增长和生活水平的提高所带来

的更大生物资源消耗需求^[22]。能源足迹的直接贸易逆差和间接贸易顺差则反映出中国产业发展的特点,在加入 WTO 之后,中国成为“世界加工厂”趋势愈加明显,因此造成了能源直接进口量和耗能商品出口量的同时上升。

表 2 中国人均贸易足迹计算汇总(hm²) *

Table 2 Trade footprint (per capita) calculation summary of Chinese trade

年份 Year	生物产品 贸易足迹 Trade footprint of biologic products	能源间接 贸易足迹 Indirect trade footprint of Energy	能源直接 贸易足迹 Direct trade footprint of Energy	年份 Year	生物产品 贸易足迹 Trade footprint of biologic products	能源间接 贸易足迹 Indirect trade footprint of Energy	能源直接 贸易足迹 Direct trade footprint of Energy
1986	0.0285	-0.0343	0.0258	1996	-0.0844	0.0173	-0.0197
1987	0.0346	-0.0178	0.0161	1997	-0.0856	0.0421	-0.0166
1988	-0.0021	-0.0191	0.0096	1998	-0.0940	0.0386	-0.0243
1989	-0.0070	-0.0153	0.0159	1999	-0.1505	0.0273	-0.0239
1990	0.0314	0.0074	0.0174	2000	-0.1489	0.0310	-0.0288
1991	-0.0004	0.0077	0.0035	2001	-0.1273	0.0273	-0.0172
1992	-0.0659	0.0019	-0.0062	2002	-0.1206	0.0325	-0.0237
1993	-0.0911	-0.0182	-0.0159	2003	-0.1311	0.0388	-0.0328
1994	-0.0718	0.0045	-0.0127	2004	-0.0549	0.0644	-0.0465
1995	-0.0111	0.0224	-0.0067	2005	-0.0154	0.1052	-0.0502

* 负值代表贸易进口足迹大于贸易出口足迹,即贸易足迹逆差;反之为贸易足迹顺差

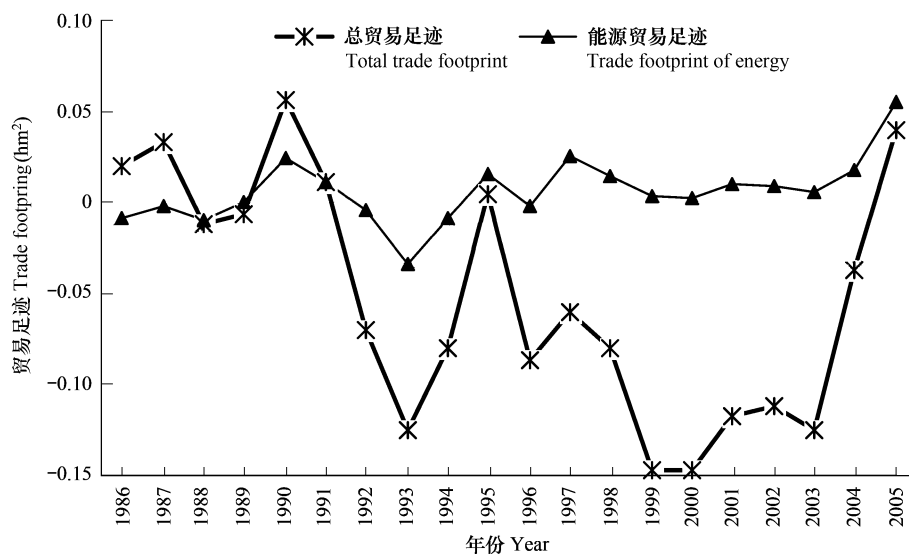


图 3 中国人均贸易足迹的变化情况

Fig. 3 Variety of trade footprint (per capita) of China

4 讨论

4.1 宏观贸易调整系数计算基础可能产生的误差分析

本文提出的宏观调整系数是基于货币量统计信息的计算结果,而货币量比值不会完全和实物量的比例相等。此外,在加工产品的价值评估中,劳动力价值和技术因素可能会令同样功能的产品价值发生变化,这些因素均会导致依据宏观贸易调整系数计算的生态足迹结果出现误差。对此,本文认为以下几个方面的因素可以显著消除上述因素的不利影响,进而保障宏观贸易调整方法的合理性和可行性。

(1)在生态足迹模型的计算过程中,首先将每种生物产品或能源消耗折合为相应的生物生产面积,然后

用均衡因子进行土地生产能力的标准化,即在进行宏观贸易调整之前,各生物产品已经被统一为标准的生物量单位。因此,本文提出的贸易调整系数可以看成是利用能够基本反映实物贸易量比例结构的价值比例关系进行的另一次标准化过程^[13]。

(2)调整系数是一个货币量的比值,本身没有量纲。宏观贸易调整分为生物资源账户和能源账户,在生物资源账户的核算中,考虑到生物原材料及产品贸易中绝大多数采用重量定价原则,同时在计算中,产品的“重量”经过“世界平均产量”和“均衡因子”的标准化后就成为了在产品间拥有可比性的相对意义上的“重量”,这与“价格”的自身特性有异曲同工之妙,因此在宏观层面上,比例不等产生的误差会得以控制;在能源账户的核算中,调整系数的实际含义是参与贸易的能源总量与能源消耗总量的直接比较,因此误差的产生并不涉及价格和能值之间的对等问题。因此本研究提出的宏观贸易调整系数能够基本反映其实物量的比例结构。

(3)至于劳动价值和科技因素的影响,本地消费品与进口产品在科技方面的显著差异会影响贸易调整的精度,使用价格的比值只能在一定程度上抵消其产生的影响;但是从整个生态足迹核算来说,其影响是相对较小的。原有的贸易调整由于只关注初级产品,因此在这方面是没有考虑的,宏观贸易调整法可以说是一个相对优化而又并不完美的方法。

4.2 国际贸易类别的复杂性可能带来的误差分析

国际间涉及生物产品和能源消耗的贸易类别极其复杂,本文提出的宏观贸易调整方法将其简化为直接贸易和间接贸易两个类型,这种简化基础上的贸易调整系数能否涵盖全部贸易行为显然是一个需要关注的问题。因为一旦出现大量贸易形式被遗漏在系数估算范围之外,将可能给基于贸易调整系数估算的贸易足迹带来重大偏差。

生态足迹理论关注的是生物产品和能源的消耗问题,从现有国际贸易中涉及两类产品的贸易形式看,一类是不经过任何加工而直接作为原料的直接贸易过程,这类贸易的数值大多可以从统计数字中获得,且已经涵盖在调整系数的估算过程中;另一类是为加工的生物产品和能源没有直接参与贸易,但以其为原材料的各类加工品却参与了贸易。正是由于这部分贸易所形成的贸易足迹没有参与以往国家生态足迹核算过程中的贸易调整,本文才提出了包括直接贸易和间接贸易在内的宏观贸易调整思路。

在生物资源账户的贸易调整系数中,本文使用了居民消费中的食物消费部分与第一产业和食品类加工业 GDP 的和的比值作为调整系数,来表征一个国家生物资源的实际消费足迹和贸易足迹。这种做法虽然忽略了生物资源中的非食品类(如木材、橡胶、皮毛等类别的消费和贸易),但考虑到这部分资源消费在中国整体生物资源消费中的比例很小(例如 2005 年中国非食品类生态足迹只占生物产品生态足迹的 4.1%),基于上述调整系数核算的国家层面实际生物资源消耗是可以接受的^[13]。

能源账户的贸易调整系数采用国内净能源消费量与能源消费总量的比值,这实际上已经涵盖了能源的直接贸易过程在内。鉴于包含能源消耗过程各类加工品贸易类型更加复杂,分别计算每类贸易产品的能源密度,不但有赖于统计数字是否完整、全面,而且容易造成事倍功半的结果。本文建议基于 3 个产业的能源消耗强度计算,再将其赋值于贸易额之上,将附着在各类加工品贸易中的能源生态足迹从国内消费中剔除。

4.3 中国实证研究结果的启示

将基于宏观贸易调整方法的国家生态足迹分析模型用于中国 1986 ~ 2005 年的实证研究显示,虽然没有对以往研究工作揭示的中国生态超载趋势逐步恶化的结论产生颠覆性影响,但研究结果仍显示出一些值得深思的信息:

(1)将国际贸易所产生的“间接”生物产品和能源贸易足迹纳入贸易调整范围,显然能够使得国家尺度生态足迹估计与实际情况更加贴近,同时也进一步保障了分析结果与生态足迹概念内涵的吻合。

(2)在综合考虑贸易生态足迹影响后,中国的人居生态足迹分析结果出现了以 5a 为周期的下降趋势,这种情形出现的真实原因虽然现在还不得而知,但其与我国国民经济与社会发展计划实施周期之间的高度巧

合,显然可以为国家策略选择与生态足迹变化之间的响应关系分析提供新的线索。

(3)生物产品的贸易足迹变化趋势显然与我国目前面临的农业乃至粮食生产形式较为一致,而能源贸易足迹变化趋势则真实地反映了我国现行经济发展模式、产业结构乃至国际贸易发展的特点,这些效果依托传统贸易调整的国家生态足迹估算方法显然难以达到。

(4)中国的实证研究从另外一个侧面充分证明,加工产品的贸易对国家生态足迹的影响是不能忽略的。特别是在全球普遍关注气候变暖和环境公平等热点问题的背景下^[23],中国能源贸易足迹分析结果足以说明,大量使用中国产品的西方发达国家也许应该承担更多的全球环境责任。

(5)生态足迹分析模型还存在这样或那样的缺陷是一个不争的事实,基于宏观贸易调整方法的国家生态足迹模型也没有将贸易调整问题解决得尽善尽美。今后通过有效的研究积累,使生态足迹分析基本原理和模型方法逐步完善,应当成为相关研究长时间内关注的重要问题之一。

References:

- [1] 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: 224—248.
- [2] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leave out. *Environ. Urban*, 1992, 4(2): 120—130.
- [3] Wackernagel M. Ecological Footprints of Nations. <http://www.encouncil.ac.cr/rio/focus/report/English/footprint/>, 1997.
- [4] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, *et al.* National natural capacity accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375—390.
- [5] Vanden Bergh J, Verbruggen H. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics*, 1999, 29: 61—72.
- [6] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, *et al.* Ecological footprints of nations: how much nature do they use? how much nature do they have? Costa Rica: The Earth Council, 1997.
- [7] Yang Z, Niu S W, Chang H L, *et al.* Evaluation of sustainability of the regional ecological economics development based on the ecological footprint model. *Economic Geography*, 2005, 25(4): 542—546.
- [8] Yue D X, Xu X F. Spatiotemporal analysis of ecological footprint and biological capacity of Gansu, China 1991—2015: Down from the environmental cliff. *Ecological Economic*, 2006, 58: 393—406.
- [9] Xu Z M, Zhang Z Q, Chen G D. Calculation and analysis of ecological footprints of Gansu Provinces. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 607—616.
- [10] Li J P, Wang Z S. The analysis of ecological footprints of Macao in 2001. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 197—203.
- [11] Long A H, Zhang Z Q, Su Z Y. Review of progress in research on ecological footprint. *Advances in Earth Science*, 2004, 19(6): 971—981.
- [12] Bai Y, Zeng H, Wei J B. The consideration on several defects of ecological footprint theory and methodology. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2008, 44(3): 493—500.
- [13] Bai Y, Zeng H, Ma Q, *et al.* Urban scale ecological footprint model based on macroscopical trade-correct method: a case study in Pearl River Delta urban agglomeration. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(2): 241—250.
- [14] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. A resolution to the conception of ecological footprint. *China Population, Resources and Environment*, 2006, 16(6): 69—78.
- [15] Costanza R, Neil C. Energy intensities, interdependence, and value in ecological systems: a linear programming approach. *Journal of Theory Biology*, 1984, 106: 41—43.
- [16] Lai L, Huang X J, Liu W L, *et al.* Adjustment for regional ecological footprint based on input-output technique: a case study of Jiangsu Province in 2002. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1285—1292.
- [17] 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.
- [18] Manfred L, Shauna A, Murray. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economic*, 2001, 37: 229—255.
- [19] Liu Y H, Peng X Z. Time series of ecological footprint in China between 1962—2001: calculation and assessment of development sustainability. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2257—2262.
- [20] Zhao X G, Gao L F, Ma C H, *et al.* Dynamics of ecological footprint in China. *Chinese Journal of Eco Agriculture*, 2007, 15(1): 149—152.

- [21] Gu X W, Wang Q, Wang J. Formulation of domestic ecological footprint indicator and its application. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2006, 27(10): 1150—1153.
- [22] Andersson J O, Lindroth M. Ecologically unsustainable trade. *Ecological Economics*, 2001, 37(1): 113—122.
- [23] Bai Y, Zeng H, Liang Y Q, *et al.* Regional distribution approach for measurement on greenhouse gases environmental liability in urban ecological footprint. *China Environmental Science*, 2009, 29(5): 555—560.

参考文献:

- [9] 徐中民, 张志强, 程国栋. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 280~285.
- [10] 李金平, 王志石. 澳门 2001 年生态足迹分析. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 197~203.
- [12] 白钰, 曾辉, 魏建兵. 关于生态足迹分析若干理论与方法论问题的思考. *北京大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(3): 493~500.
- [13] 白钰, 曾辉, 马强, 等. 基于宏观贸易调整法的城市尺度生态足迹模型——以珠江三角洲城市群为例. *自然资源学报*, 2009, 24(2): 241~250.
- [14] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法的理论解析. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(6): 69~78.
- [16] 赖力, 黄贤金, 刘伟良, 等. 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. *生态学报*, 2006, 26(4): 1285~1292.
- [17] 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.
- [19] 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. *生态学报*, 2004, 24(10): 2257~2262.
- [20] 赵先贵, 高利峰, 马彩虹, 等. 中国生态足迹的动态研究. *中国生态农业学报*, 2007, 15(1): 149~152.
- [21] 顾晓薇, 王青, 王军. 本国生态足迹指标的构建及其实证研究. *东北大学学报(自然科学版)*, 2006, 27(10): 1150~1153.
- [23] 白钰, 曾辉, 梁尧钦, 等. 城市生态足迹计算中温室气体环境责任的区域分配法. *中国环境科学*, 2009, 29(5): 555~560.