

辽宁大学崇山校区生态足迹研究

毛伟伟, 田 珍

(辽宁大学 环境学院, 辽宁 沈阳 110036)

摘要: 随着国家对可持续发展理念的重视程度不断加深, 由于学生众多而变为资源能消大户的各大高校应为建设资源节约型环境和友好型的两型社会担起责任. 运用生态足迹成分法调查计算了辽宁大学(崇山校区) 2015年的生态足迹. 通过对高校进行生态足迹计算, 有助于定量分析高校的可持续发展程度, 并对日后生态校园的建设具有指导性意义。

关键词: 生态足迹; 辽宁大学; 成分法; 可持续发展;

中图分类号: X 828 文献标志码: A 文章编号: 1000-5846(2019)02-0167-08

DOI:10.16197/j.cnki.lnunse.2019.02.011

Research on the Ecological Footprint of Liaoning University(Chongshan Campus) by Ecological Footprint Component Analysis

MAO Wei-wei, TIAN Zhen

(College of Environment, Liaoning University, Shenyang 110036, China)

Abstract: With the concept of sustainable development continues to deepen in the national emphasis, the high school as a large resource eliminator should undertake the responsibility of building the resource-saving and environment-friendly ecological civilized society. This paper calculates the Ecological Footprint of Liaoning University (Chongshan Campus) in 2015 by ecological footprint component analysis. Calculation of ecological footprint Universities is contribute to Colleges' guide for energy conservation, and make important significance of ecological campus construction.

Key words: ecological footprint; Liaoning university; component method; sustainable development

近几年来, 对校园生态足迹的研究不断增多, 对大学校园的生态足迹进行研究能够更加直观地揭示校园生态需求与供给之间的关系及其主要矛盾所在, 为判断校园是否具有生态可持续性提供科

收稿日期: 2019-01-18

作者简介: 毛伟伟(1979-), 山东平度人, 副研究员, 硕士, 主要从事生态学、生态规划与生态修复等方面的研究。

学、直观的方法和指标,也为建设生态友好、资源节约的校园提供指导性依据,对于指导建设生态高校具有重要意义。

1 生态足迹概述

生态足迹的概念最早是由加拿大大不列颠哥伦比亚大学规划与资源生态学教授里斯(William E. Rees)于20世纪90年代初提出的。生态足迹(ecological footprint)也被称为“生态占用”,是指将某一特定数量的人口单位在按某种特定方式生活及生产活动中所消费的由自然生态系统所提供的资源,以及吸纳该过程中产生的大量废物所需的资源,并以生态生产性土地(或水域)面积来表示,从而来评估人类对自然生态系统和环境影响的一种可操作的定量分析方法。

2 校园生态足迹研究进展

顾晓薇等运用生态足迹成分法,对沈阳市高校和东北大学的生态效率进行了计算,并综合分析了影响大学校园生态效率的因素^[1-2];蒋莉等通过问卷调查的方式计算了小尺度校区的生态足迹^[3];姜倩倩等采用生态足迹成分法,计算了黑龙江科技学院的生态足迹^[4];王菲凤等利用生态足迹的方法对比评价了2006年福州大学城4所高校新校区的生态效率,并进一步分析归纳出影响生态足迹的主要因素^[5];姚争等人利用生态足迹模型,计算了北京大学能源、师生日常生活及交通方面生态足迹,并在此基础上分析了低碳校园的特点和问题^[6];鲁丰先等运用成分法,测算了2006年河南大学的生态足迹,得出了影响校园生态效率的因素,进一步探讨如何减少校园生态足迹以建设资源节约型高校^[7]。

对高校的生态足迹进行分析可以更加直观地展现校园生态需求与供给之间的关系及其主要问题所在,为评价资源节约型校园提供了有针对指导性的措施和指标,也给建设资源节约型高校提供了科学的理论依据。这方面研究更重要的意义体现在,其量化直观的指标在培养高校师生的节约意识中能展现极大作用。生态足迹具有指标少、简单易行、可比性强的特点,在指导高校节能减排和建立生态校园方面具有深远的意义。

3 研究方法和计算方法

3.1 研究方法

一个区域的生态足迹是指生产该区域人口所需要的所有资源和吸纳这些人口所产生的所有废弃物所必需的生物生产性土地面积^[8]。全球生物生产性土地分为化石能源用地(fossil energy)、可耕地(arable land)、林地(forest)、牧草地(pasture)、建成地(built area)和水域(sea)等6种类型。计算生态足迹的方法现分为成分法和综合法2种。综合法适合于全球、国家和区域等较大领域的生态足迹研究,于1995年被引入中国,自引入后即被广泛应用于我国地区、省市、城市各级地理范围和土地、旅游等各个具体领域的研究。

成分法是继综合法之后在1998年由Simmons与Chambers提出并由Lewis和Barett进行完善^[9],它由于以构成各消费类别中的单体测量为基准,所以更加合适对较小单元测算生态足迹,如村庄、城镇、公司、学校、个人或单项活动等。

成分法基本原理如下:1)根据其生产消耗所占用的土地类别,把各个组分的消耗量转换为提供(吸纳)该组分所需相应类别生态生产性土地面积;2)把所有土地占用按类别汇总为六类土地各自

的占用总量;3)将上述六类土地占用分别乘以各自的因子后相加,就可以得到一个土地占用总面积,它以全球公顷为单位,这个总占用就是生态足迹。对于较小的对象,通常可不用进行换算,直接相加即可。同时根据人口数可以得出人均生态足迹,并由此计算出生态效率^[10]。由于校园特性属于小研究对象,因此本文运用成分法对其进行生态足迹的计算分析。主要研究能源、食物、水、垃圾、纸张和交通工具等领域。

3.2 计算方法

生态足迹的计算必须建立在以下两个事实之上:一是我们可以保留多数消费的资源以及多数产生的废弃物;二是这些资源和废弃物大都可以被转化为能实现同样功能的生物生产性土地。

根据成分法的原理,计算步骤如下:1)据其生产消耗所占用的土地类别,把各个组分的消耗量转换为提供或吸收该组分所需类别的生物生产性土地面积;2)将各个组分占用的土地依据公式(1)按照分类统计得到相应的各类土地总计被占用量;3)将公式(2)所得的六类土地面积分别乘以对应因子后相加,就可以得到一个土地占用总面积,它以全球公顷为单位,这个总占用就是生态足迹。

生态足迹的计算公式:

$$EF = N \cdot ef = N \sum a_i = N \sum r_i (c_i / p_i) \quad (1)$$

生态承载力的计算公式:

$$EC = N \sum (A_j \cdot y_j \cdot r_j) \quad (2)$$

生态盈余(或赤字)计算公式:

$$ES(或ED) = EC - EF \quad (3)$$

上式中 N 为人口数; ef 为人均生态足迹; a_i 为平均每个人 i 种消费品所需占用的土地面积; r_i 为第 i 种消费品所占土地类型的等价因子; C_i 为 i 种商品的人均消费量; p_i 为 i 种消费商品的平均生产能力 (kg/hm^2); A_j 为第 j 类占用土地类型的实际面积; y_j 为第 j 类占用土地类型的产量因子; r_j 为第 j 类占用土地类型的等价因子; i 为消费品的类型; j 为土地类型。

3.2.1 能源

能源包含煤、油、电、气四个方面。由于 CO_2 的过量排放,致使温室效应不断加剧,进而目前生态环境恶化的原因之一就是消耗能源的加剧,只有增加具有转化 CO_2 功能的比如植物,才能减轻或消除 CO_2 过量对生态环境造成的影响,因而此类土地的功能为转化 CO_2 而不是经济效益,所以可列为化石能源地。计算公式如下:

$$A_c = Q_c \eta C_c \beta / P_a \quad (4)$$

$$A_o = Q_o O_c \beta / P_a \quad (5)$$

$$A_e = \frac{Q_e E_{\text{CO}_2}}{P_a} \quad (6)$$

$$A_g = \frac{Q_g \rho G_c \beta}{P_a} \quad (7)$$

式中 A_c 、 A_o 、 A_e 、 A_g 分别为煤炭、石油、电力和天然气消费所占有的化石能源地面积; Q_c 、 Q_o 、 Q_e 、 Q_g 分别为煤炭、石油、电力和天然气的消费量; μ 为锅炉燃煤的平均燃烧率; C_c 、 O_c 、 G_c 分别为煤炭、石油、天然气的 C 排放因子; E_{CO_2} 为一般火力发电厂提供单位电量所排放的 CO_2 量; β 为 C 和 CO_2 的转化因子; ρ 为天然气的密度; P_a 为 1a 内平均每一万平方米林地可转化的 CO_2 量(即化石能源地的

转化常量)。

3.2.2 食物

常见的食物分类中,鱼类占用为水域;牛羊肉及相关奶制品占用的为草地;碳水化合物类、禽蛋类、猪肉、蔬菜类等占用的则为耕地。某种食物消费所占用生态足迹的计算公式如下:

$$A_f = Q_f / P_f \quad (8)$$

式中 A_f 为消费某种食物的土地占用面积; Q_f 为该类食物的消费量; P_f 为生产该种食物所需土地的生产力平均值。

3.2.3 水

生态足迹中有关水的能量消耗主要体现在:水的运输和污水的处理过程中所需能量,而这类能源消耗主要是电力能源,故而主要是计算用于此类消耗电力能源,然后再根据公式(6)得出其土地占用面积,所占用的土地类别为化石能源地。

3.2.4 垃圾

通常来说,垃圾消耗的土地包括直接堆放占用和吸收降解垃圾时的 CO_2 的化石能源地。由于垃圾在被细菌分解后产生的垃圾瓦斯中不仅有 CO_2 还会产生同样可造成全球变暖的 CH_4 ,而 CH_4 又可折算成产生同等温室效应的 CO_2 量(全球暖化潜热 GWP),因此进行转化以便于计算。同时,由于不同垃圾降解时产生的 CO_2 量不同,土地占用面积相应有所区别,因此,计算是需按垃圾构成物分别计算后求和。计算公式如下:

$$A_w = \frac{1}{P_a} \sum_{i=1}^{N_w} Q_i (q_i^{\text{CO}_2} + q_i^{\text{CH}_4} X) \quad (9)$$

式中 A_w 为年垃圾排放所需消耗的化石能源地面积; Q_i 为第 i 种垃圾成分的排放量; $q_i^{\text{CO}_2}$ 为第 i 种垃圾成分 CO_2 的产生率; $q_i^{\text{CH}_4}$ 为第 i 种垃圾成分 CH_4 的产生率; X 为 CH_4 的 GWP 当量系数; P_a 为化石能源地的平均生产力。

3.2.5 纸张

由于纸张主要是由木纤维制造的,它的消耗就视为与林地使用有关,计算公式如下:

$$A_p = Q_p q_w / P_w \quad (10)$$

式中 A_p 为消耗的纸张所需占用的土地面积; Q_p 为纸张消费量; q_w 为单位纸张产量的木材消耗; P_w 为林地平均木材生产力。

3.2.6 交通

交通消耗的生态足迹包括直接占用和间接占用两种,其中,直接占用的土地因为交通设施的共用性和交通工具的活动性计算相对比较复杂,需要将占用土地以研究对象进行划分。间接占用是指用于转化各类交通工具使用时排放的温室气体的化石能源地,交通工具排放的有 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等温室气体,同样将 CH_4 和 N_2O 转化为相当量的 CO_2 进行简便计算,计算公式如下:

$$A_t = \frac{D_t}{P_a} \sum_{i=1}^n q_i x_i \quad (11)$$

式中 A_t 为某一时间段内该种交通工具间接占用土地的面积; D_t 为某一时间段内此种交通工具运行公里的数据; q_i 为单位里程产生的第 i 种温室气体量; x_i 为第 i 种温室气体的 GWP 当量系数; P_a 为化石能源地的平均生产力。

4 辽宁大学(崇山校区)生态足迹

4.1 辽宁大学(崇山校区)简介

辽宁大学初创于1948年,现包括三个校区,即位于沈阳的崇山校区和蒲河校区以及位于辽阳的武圣校区。教学区占地2 016亩,建筑面积61.8万平方米,有全日制在校学生近2.8万人。其中崇山校区占地约70 hm²,2015年底在校师生共13 300人。本文主要针对2015年辽宁大学崇山校区进行计算分析。

4.2 辽宁大学(崇山校区)生态足迹计算

4.2.1 数据来源

本文对辽宁大学崇山校区生态足迹的计算主要考虑能源(煤炭、电力)、食物、水、垃圾、纸张和交通工具六个方面,其中煤炭、电力和水的消耗量数据来自辽宁大学节能绿色校园管理中心办公室;食物相关数据来自学校食堂采办处和问卷调查;交通、垃圾和纸张的数据来自问卷统计估算。计算中各相关参数、因子等取自中国新能源网(<http://www.newenergy.org.cn>)、北京可持续发展中心网(<http://www.bsdc.net.cn>)和世界自然保护基金相关报告;各类土地的世界平均生产力取自世界粮农组织(<http://www.fao.org>)的统计数据。

4.2.2 辽宁大学(崇山校区)能源的生态足迹

在学校后勤处节能绿色校园管理中心办公室的协助下,取得了2015年辽宁大学崇山校区煤炭和电力的消耗量,辽宁大学(崇山校区)能源足迹计算的相关数据和结果见表1。

表1 辽宁大学(崇山校区)能源的生态足迹

成分	消费量	C 排放因子	C - CO ₂ 转化因子 β	单位 CO ₂ 排放量/t	Pa/t · hm ⁻²	总足迹/hm ²	土地类型
煤炭/t	18753	0.725	3.67	2.13	5.2	7 676.5	化石能源地
电力/GW · h	10.28			964	5.2	1 905.8	化石能源地
合计						9 582.3	

4.2.3 辽宁大学(崇山校区)食物的生态足迹

通过对学校食堂采办处的咨询以及向辽宁大学(崇山校区)的师生发放调查问卷的方式估算出整体数据,总共发放500份调查问卷,共收回有效问卷496份。辽宁大学(崇山校区)食物生态足迹计算的相关数据和结果见表2。

表2 辽宁大学(崇山校区)食物的生态足迹

成分	世界平均生产力/kg · hm ⁻²	消费量/kg	足迹/hm ²	土地类型
粮食	3077	734071	238.6	耕地
水果	9 562	157 755	16.5	耕地
糖类	18 000	21 388	1.2	耕地
蔬菜	16 846	963 127	57.2	耕地
蛋类	400	117 940	294.9	耕地
牛羊肉	33	31 854	965.3	牧草地
猪肉	74	63 584	859.2	耕地
鱼	44	25 912	588.9	水域
牛奶	502	4 031	8.0	牧草地
合计			3029.8	

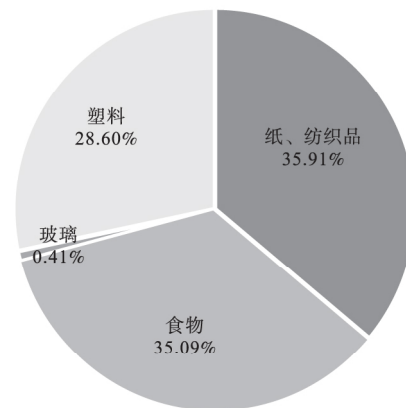


图1 垃圾类别

4.2.4 辽宁大学(崇山校区)水的生态足迹

在学校后勤处节能绿色校园管理中心办公室的协助下,取得了2015年辽宁大学崇山校区消耗的自来水量为 $1\ 890\ 000\ \text{m}^3$,2015年沈阳自来水价为 $2.4\ \text{元}/\text{m}^3$,电价为 $0.5\ \text{元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,自来水中电力成本占 $1/4$,折算成电耗约为 $1.2\ \text{kw}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,因此辽宁大学2015年供水总计消耗电量为 $2.268\ \text{GW}\cdot\text{h}$, CO_2 排放量为 $2\ 186.4\ \text{t}$,Pa为 $5.2\ \text{t}/\text{hm}^2$,从而计算出供水的生态足迹为 $420.5\ \text{hm}^2$.

4.2.5 辽宁大学(崇山校区)垃圾的生态足迹

通过向辽宁大学(崇山校区)的师生发放调查问卷的方式估算出整体数据,总共发放500份调查问卷,共收回有效问卷489份.经统计,辽宁大学(崇山校区)平均每天产生垃圾约 $12\ \text{t}$,一年(除假期80天)总计产生垃圾约 $3\ 420\ \text{t}$,垃圾的大致成分分类如图1,垃圾间接用地生态足迹计算的相关数据和结果见表3.(由于垃圾堆放直接占地较小且缺乏详细数据,本文计算暂忽略不计.)

表3 辽宁大学(崇山校区)垃圾间接用地的生态足迹

成分	排放量/t	单位垃圾 CO_2 排放量/t	单位垃圾 CH_4 排放量/t	CH_4 的 GWP 系数	CH_4 的 GWP 当量/t	单位垃圾 CO_2 总量/t	Pa/t· hm^{-2}	足迹/ hm^2	土地类型
纸、纺织品	1 228	0.152 4	0.055 4	23	1.274 2	1.4 266	5.2	336.9	化石能源地
食物	1 200	0.057 2	0.020 8	23	0.478 4	0.535 6	5.2	123.6	化石能源地
玻璃	14					9.88	5.2	26.6	化石能源地
塑料	978					6.47	5.2	1 216.9	化石能源地
合计								1 704.0	

4.2.6 辽宁大学(崇山校区)纸张的生态足迹

通过向辽宁大学(崇山校区)的师生发放调查问卷的方式估算出整体数据,总共发放500份调查问卷,共收回有效问卷492份.经统计,2015年辽宁大学(崇山校区)用纸量约为 $196\ \text{t}$,平均每 t 纸需要木材 $4\ \text{m}^3$ (<http://www.papercn.net/>),共计 $784\ \text{m}^3$ 木材,经查,林地的木材世界平均生产力为 $1.99\ \text{m}^3$,计算得出辽宁大学(崇山校区)2015年纸张的生态足迹为 $394\ \text{hm}^2$.

4.2.7 辽宁大学(崇山校区)交通的生态足迹

辽宁大学(崇山校区)与交通有关数据和结果见表4.

表4 辽宁大学(崇山校区)交通工具的生态足迹

种类	全年里程/km	CO_2 排放量/ $\text{kg}\cdot\text{km}$	Pa/t· hm^{-2}	生态足迹/ hm^2	土地类型
汽油车	198 943	0.205	5.2	7.8	化石能源地
柴油车	22 867	0.720	5.2	3.2	化石能源地
合计				11	

4.3 辽宁大学(崇山校区)生态足迹分析

对2015年辽宁大学(崇山校区)各类生态足迹的计算结果及各类别所占比例汇总于表5.

表5 2015年辽宁大学(崇山校区)各类生态足迹汇总

类别	足迹/ hm^2	所占比例/%
能源	9 582.3	63.29
煤炭	7 676.5	50.70
电力	1 905.8	12.59
食物	3 029.8	20.01
水	420.5	2.78
垃圾	1 704	11.25
纸张	394	2.60
交通	11	0.07
合计	15 141.6	100

经计算,辽宁大学(崇山校区)2015年的总足迹约为 $15\,141.6\text{ hm}^2$,人均生态足迹约为 $1.14\text{ hm}^2/\text{人}$,生态效率约为 $0.88\text{ 人}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。其中,煤炭、食物、电力和垃圾所占比例较大,分别占比 50.7% 、 20.01% 、 12.59% 和 11.25% 。

虽然人均生态足迹没有超过全球人均生物承载力(1.8 全球公顷),证明在一定程度上来说仍处于可持续发展状态,但是作为高校来说,其主要目的是通过高等教育来培养人才和促进知识的传播,而不是经济产出,其“产出”应该被理解为具有知识的人,所以大学的生态效率应定义为单位生态足迹可以培养供应的在校人数。而由所计算的人均生态足迹 $1.14\text{ hm}^2/\text{人}$ 可知,一个人所占生态生产性土地面积超过 1 hm^2 ,也就是说, 1 hm^2 的生态生产性土地不足以支持校园中一名学生日常生活所需的消费和吸纳其产生的废弃物,因此,在高校层面上来说距离建设生态校园还有有待完善改进之处。

本次计算,存在一定的局限性,食物方面由于部分饮食发生在校园外,所以计算结果相对实际值偏低;垃圾方面由于没有考虑直接占用面积,计算结果相对实际值偏低,而且由于时间原因,没有综合考虑全部校区的生态足迹,只计算分析了崇山校区的相关数据,总体来看,本文计算的生态足迹只是比较保守的估计。

5 结论及建议

根据本次调查计算分析结果来看,辽宁大学(崇山校区)虽然从全球角度来看尚处于可持续发展状态,但从高校角度来看,生态效率仍旧处于较低水平,在建设生态校园方面仍有有待优化完善之处。因此,缩减生态足迹、改善生态环境是目前建设生态校园的当务之急。其中,由于所算校园生态足迹中煤炭、食物、电力和垃圾所占比例较大,所以在考虑缩减生态足迹的时候可优先考虑这四个方面的消耗缩减。

此外,由于目前我国利用生态足迹进行研究尚没有统一的标准,统计的数据也不甚规范,造成目前生态足迹成分法推广分析的障碍。但是相信随着国家对可持续发展理念重视程度的加深,生态足迹的研究势必会不断深入,利用生态足迹的方式,分析占比较大成分,从而更加量化、有针对性的减少资源的浪费,合理配置和使用自然资源,缩减生态足迹的占用,为我国建设“资源节约型、环境友好型”社会提供理论依据和强大助力。

参 考 文 献:

- [1] 顾晓薇,李广军,王青,等. 高等教育的生态效率——大学校园生态足迹[J]. 冰川冻土, 2005, 27(3): 418 - 425.
- [2] 李广军,顾晓薇,王青,等. 沈阳市高校生态足迹和生态效率研究[J]. 资源科学, 2005, 27(6): 140 - 145.
- [3] 蒋莉,陈治谏,沈兴菊. 兰州大学(盘旋路校区)2003年生态足迹调查分析[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(2): 82 - 85.
- [4] 姜倩倩,迟美玲,周燕,等. 大学校园的生态足迹探究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(8): 138 - 141.
- [5] 王菲凤,陈妃. 福州大学城校园生态足迹和生态效率实证研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2008, 24(5): 84 - 89.
- [6] 姚争,冯长春,阚俊杰. 基于生态足迹理论的低碳校园研究——以北京大学生态足迹为例[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1163 - 1170.
- [7] 鲁丰先,秦耀辰,刘姗姗. 校园生态足迹与节能减排学校行动——以河南大学为例[J]. 安徽农业科学, 2008, 36

- (15): 6503 – 6505.
- [8] 程国栋. 虚拟水——中国水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊 2003, 18(4): 260 – 265.
- [9] Simmons C, Simmons C. Two feet – two approaches: a component based model of ecological footprinting [J]. Ecological Economics 2000, 32(3): 375 – 380.
- [10] 顾晓薇, 李广军, 王青, 等. 绿色大学建设中的生态足迹[J]. 环境科学 2005, 26(4): 200 – 204.
- [11] 万江文. 江西农业大学校园生态足迹研究[D]. 南昌: 江西农业大学 2013.
- [12] Wada Y. The Appropriated Carrying Capacity of Tomato Production: The Ecological Footprint of Hydroponic Greenhouse versus. Mechanized Open Field Operations. MA. Thesis [D]. School of Community and Regional Planning, University of British Columbia, Vancouver, 1993.
- [13] Kautsky N, Berg H, Folke C, et al. Ecological footprint for assessment of resource use and development limitations in shrimp and tilapia aquaculture [J]. Aquaculture Research 2008, 28(10): 753 – 766.
- [14] 牛文元. 持续发展导论[M]. 北京: 科学出版社, 1994. [NIU Wen – yuan. The Conspectus of Sustainable Development. Beijing: Science Press, 1994.]
- [15] 张志强, 孙成权. 可持续发展研究: 进展与趋向[J]. 地球科学进展, 1999, 14(6): 589 – 595.
- [16] 徐中民, 程国栋. 可持续发展定量研究的几种新方法评介[J]. 中国人口: 资源与环境 2000, (2): 60 – 64.
- [17] Hard P, Barg S, Hodge T, et al. Measuring sustainable development: Review of current practices [R]. Occasional paper number 17, 1997, 11(HSD): 1 ~ 2, 49 ~ 51.
- [18] Ree W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 100 – 105.
- [19] 毛汉英. 人地系统与区域可持续发展[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [20] Cataned B E. An index of sustainable economic welfare(ISEW) for Chile [J]. Ecological Economics, 1999, 28: 231 ~ 244.
- [21] 徐中民, 张志强. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报 2000, (5): 607 – 616.
- [22] dicheng. 中国生态足迹报告(上) [J]. 世界环境 2008, (5): 52 – 57.
- [23] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁, 等. 中国的生态空间占用研究[J]. 资源科学 2001, 23(6): 20 – 23.
- [24] 徐中民, 张志强, 程国栋等. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析[J]. 应用生态学报 2003, 14(2): 280 – 285.
- [25] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D. Ecological Economics, Theory, Methods and Application [M]. Zhengzhou: Yellow River Irrigation Works Press 2003(in Chinese).
- [26] 徐中民, 龙爱华, 张志强. 虚拟水的理论方法及在甘肃省的应用[J]. 地理学报 2003, 58(6): 861 – 869.
- [27] 龙爱华, 徐中民, 张志强. 西北四省(区) 2000 年的水资源足迹[J]. 冰川冻土 2003, 25(06): 692 – 700.
- [28] 龙爱华, 张志强, 苏志勇. 生态足迹评介及国际研究前沿[J]. 地球科学进展 2004(6): 971 – 981.
- [29] 陶在朴. 生态包袱与生态足迹[M]. 北京: 经济科学出版社 2003.
- [30] Bicknell B, Ball R J. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy [J]. Ecological Economics, 1998, 2: 149 – 160.
- [31] Jiun – Jiun Ferng. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity [J]. Ecological Economics 2001, 2: 159 – 172.
- [32] Huback K, Giljum S. Applying physical input – output analysis to estimate land appropriation(ecological footprint) of international trade activities [J]. Ecological Economics 2003, 1: 137 – 151.
- [33] Wackernagel M, Rees W. Our Ecological Footprint: Reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [34] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecol. Econ. 1999, 29(3): 375 – 390.

(责任编辑 李超)