

# 基于生产力可持续指数的耕地利用动态分析\*

——以新疆生产建设兵团农三师45团绿洲灌区为例

郑 重<sup>1,2</sup> 张凤荣<sup>1</sup> 朱战强<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学资源与环境学院 北京 100193; 2. 石河子大学农学院 石河子 832003)

**摘 要** 由于生态足迹、生态承载力和生态赤字都是绝对数字,不能真正反映一个地区耕地利用的程度,且不能进行不同地区的比较。本文在总结以往生态足迹分析方法的基础上,提出“生产力可持续指数(*PSI*)”以定量评价耕地的可持续利用程度。*PSI*指一定区域的耕地生态承载力占生态足迹与生态承载力总额的比值,它描述了该区域的耕地生产能力(生态承载力)满足人类对耕地供需矛盾总体(生态足迹+生态承载力)的可持续程度。*PSI*介于0~1之间,当*PSI*趋近于1时,耕地利用可持续程度很高;当*PSI*趋近于0时,属于极度不可持续状态;当*PSI*为0.5时,是可持续发展与不可可持续发展的临界点。根据*PSI*远离0.5的程度,可划分可持续程度的不同等级。采用此指数对新疆生产建设兵团农三师45团绿洲灌区1995~2005年时间序列上的耕地*PSI*计算结果表明:1998~2003年间该区耕地利用为弱可持续状态,其他时段为弱不可持续,灌区可持续发展状况不容乐观。可见,与传统的“生态赤字”绝对数值相比*PSI*指标表示可持续发展程度更具合理性。

**关键词** 耕地利用 生产力可持续指数 生态足迹 动态分析

中图分类号: S273, X24 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2010)01-0175-05

## Dynamic analysis of arable land use via productivity sustainable index — A case study of Farm 45 Irrigation Area of the Xinjiang Production and Construction Corps

ZHENG Zhong<sup>1,2</sup>, ZHANG Feng-Rong<sup>1</sup>, ZHU Zhan-Qiang<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

**Abstract** Due to the nature of absolute data, ecological footprint, capacity and deficit cannot be used to reflect and compare regional sustainable use level of arable lands. Based on the theory and method of ecological footprint (*EF*), productivity sustainability index (*PSI*) is developed as a new indicator for quantitative evaluation of sustainable use of arable lands. The index is the ratio of ecological capacity to the total of ecological capacity and footprint of arable lands in a region. This describes the level of regional land productivity supply meeting ecological contradictions between arable land supply and human demand. *PSI* is in the range of 0 to 1. A high index indicates high sustainable development of land use in a region and vice versa. A *PSI* of 0.5 implies marginal sustainable development. Hence the level of sustainability of a region can be evaluated based on the distance of *PSI* to 0.5. In this paper therefore, the results of a case study of Farm 45 Irrigation Area of the Xinjiang Production and Construction Corps for 1995~2005 show a weak sustainable level of arable land use for 1998~2003. The other years are simply not sustainable. This growth direction is not what we expect for ecological equilibrium. This shows that *PSI* is a more reasonable indicator than the absolute indicator of traditional sustainable level via ecological deficit.

**Key words** Arable land use, Productivity sustainability index, Ecological footprint, Dynamic analysis

(Received Dec 27, 2008; accepted April 8, 2009)

\* 国家自然科学基金项目(70673104)和新疆生产建设兵团科技计划项目(2008YD22)资助

郑重(1973~),男,博士,副教授,主要从事水土资源开发与管理的教学与科研工作。E-mail: zhenglxx@gmail.com

收稿日期: 2008-12-27 接受日期: 2009-04-08

为合理、准确地评价人类社会可持续发展程度,国内外学者提出了诸多可持续发展指标体系及定量评价的计算方法,如“可持续经济福利指数”(ISEW)<sup>[1]</sup>、“真实发展指标”(GPI)以及“可持续性晴雨表”(Barometer of sustainability)模型<sup>[2]</sup>等。在众多可持续发展评价指标体系中,由加拿大生态经济学家 William 于 1992 年提出,并由 Wackernagel 于 1996 年加以完善的生态足迹分析方法(Ecological footprint analysis approach, 简称 EFAA)<sup>[3-5]</sup>,以其模型直观、综合、操作简单等优点,很快成为当前广为流行的方法,生态足迹理论也不断改进和完善<sup>[6-8]</sup>。

由于土地资源自身数量有限性、质量可变性和空间不可移动性,决定了对土地的开发利用应严格遵守可持续发展原则。在传统生态足迹研究中,通常是把生态足迹的 6 个组分(耕地、林地、草地、建筑用地、水产用地、能源用地)放在一起进行研究,通过比较加总的生态足迹(Ecological footprint, EF)和生态承载力(Ecological capacity, EC),得出是否有生态盈余或生态赤字(Ecological deficit, ED)。由于生态足迹和生态承载力中各组分不是成比例的分配和变化,故总加和的结果显示不出哪个组分的盈余或赤字状况。况且,生态赤字/盈余是绝对数字,不能真正反映一个地区土地利用的程度和进行比较<sup>[7]</sup>。本研究把生态足迹的组分——耕地作为单独研究对象,计算了新疆生产建设兵团农三师 45 团绿洲灌区(以下简称 45 团灌区)1995~2005 年耕地生态足迹,同时引入了生产力可持续指数(Productivity sustainability index, PSI)的概念模型,以期对灌区耕地利用可持续性评价提供依据。

## 1 生产力可持续指数分析方法简介

### 1.1 问题的提出

传统的生态足迹分析是用生态承载力与生态足迹的差额——生态赤字(或盈余)来评估某区域的可持续发展程度,当差额小于 0 时称为生态赤字,处于不可持续发展状态;当差额大于 0 时称为生态盈余,处于可持续发展状态。生态赤字与盈余用来判断一个国家或地区的可持续发展状态合适与否,有一个尺度问题。在全球尺度上,自给自足和可持续是同义语,在其他尺度上生态赤字/盈余是人口密度的函数。国家或地区尺度的生态足迹信息对我们来说利用的程度有限,因为不能确定一个面积辽阔、人口稀少、能自给自足、并有很大人均足迹的国家或地区是否比一个面积小、人口密度大、但人均生态足迹小的国家或地区更可持续<sup>[6]</sup>。

由于生态赤字/盈余是绝对数字,不能真正反映

一个地区土地利用的程度和进行比较,因此,需要寻找一种能科学反映、可进行区域比较的可持续性定量评估方法。此前也有人针对生态赤字这个绝对指标表示不可持续发展状况的局限性,提出用相对指标来表示生态足迹和生态承载力的关系。如吴隆杰<sup>[9]</sup>提出用生态足迹指数(Ecological footprint index, EFI)表示可持续发展程度。EFI 是区域生态承载力与生态足迹的差额占生态承载力的百分比,EFI 越大,则可持续发展能力越强。该方法虽然根据 EFI 值可定量评估可持续发展程度,并用 20% 作为强可持续与弱可持续的分界,但对于强可持续性和弱可持续性的边沿划分原则还未加解决,尤其对  $EFI < 0$  的不可持续程度由于没有下限而无法划分等级。与生态足迹指数相反,任志远等<sup>[10]</sup>提出用生态足迹压力指数(Ecological footprint pressure index, EFPI)表示生态压力程度。EFPI 的大小表示生态足迹为生态承载力的倍数,生态足迹越大则 EFPI 值越大,其生态压力亦越大,并根据 EFPI 值的大小划分出生态安全等级。由于 EFPI 为正数,此方法仅对生态足迹压力指数小于 1 的情况作了等级划分,而对大于 1 的情况由于没有上限而无能为力。孟晓军等<sup>[11]</sup>也提出用生态安全度(Ecological security, ES)表征生态可持续程度,生态安全度是生态足迹供给、生态足迹消费以及人文响应指数耦合而成的非线性系统。虽然该方法用人均人文响应指数调整了人均生态承载力与人均生态足迹的比值,一定程度上化解了生态足迹压力指数大于 1 或生态足迹指数小于 0 的缺陷,但遗憾的是作者没有给出该指标的分级标准,且在理论解释上存在一定纰漏。

在对国内外生态足迹分析方法研究的基础上,结合耕地利用实际情况,本文引入了生产力可持续指数(Productivity sustainability index, PSI)方法来定量评价某区域的耕地利用可持续性,以弥补上述方法的不足之处。该方法首先计算耕地生态足迹和生态承载力,再计算生产力可持续指数(PSI)。

### 1.2 生态足迹与生态承载力的计算

#### 1.2.1 生态足迹的计算

生态足迹的计算方法为:

$$EF = N \times ef = N \times \sum r_i \times a_i = N \times \sum r_i \times (C_i / P_i) \quad (1)$$

式中,EF、ef 分别为总生态足迹和人均生态足迹,其单位为全球公顷(Global hectare, ghm<sup>2</sup>)或人均全球公顷(Global hectare/population, ghm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>),有的研究仅用 hm<sup>2</sup> 或 hm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup> 表示;N 为人口数;i 为消费项目的类型;a<sub>i</sub> 为第 i 种产品折算的人均生物生产性土地面积(hm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>);C<sub>i</sub> 为第 i 种产品的人均消费量(kg·人<sup>-1</sup>);P<sub>i</sub> 为第 i 种产品的全球单位面积平均生产能力(kg·hm<sup>-2</sup>);

$r_i$  为均衡因子, 其取值采用国际标准。

由于均衡因子(Equivalence factor)在长时间序列中只发生轻微调整<sup>[12]</sup>, 因此, 结合有关资料, 本研究计算中耕地的均衡因子取值为 2.8<sup>[13-14]</sup>。

### 1.2.2 生态承载力的计算

生态承载力的计算方法为:

$$EC = 0.88N \times ec = 0.88N \times \sum (A_j \times y_j \times r_j) \quad (2)$$

式中,  $EC$ 、 $ec$  分别为区域总生态承载力( $\text{ghm}^2$ )和人均生态承载力( $\text{ghm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ );  $N$  为人口数;  $A_j$  为第  $j$  种土地类型的人均生物生产性土地面积( $\text{ghm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ );  $r_j$  为均衡因子;  $y_j$  为产量因子。根据世界环境与发展委员会(WCED)的建议报告, 人类将 12% 的生物生产性土地面积用于生物多样性保护, 因此在计算生态承载力时, 应从总数中扣除这一部分, 公式中的 0.88 就表示扣除 12% 生物多样性保护面积后的生态承载力。

产量因子(Yield factor)表示给定国家或地区某一类土地面积的生产力与世界平均水平的差异, 它捕获了当地与全球平均生产能力之间的差异, 主要反映土地管理和技术方面的差异。每年的产量因子都要重新计算, 采用这一公共标准主要是使计算结果可以进行国与国、地区与地区之间的比较<sup>[15]</sup>。

### 1.2.3 生产力可持续指数的定义与分级

为定量评价区域耕地可持续利用的程度, 本研究引入“生产力可持续指数(Productivity sustainability index,  $PSI$ )”的概念, 其定义为: 一定区域的土地生态承载力占生态足迹与生态承载力总额的比值, 它描述了该区域的土地生产能力(生态承载力)满足人类生态供需矛盾总体(生态足迹+生态承载力)的可持续程度。因此, 耕地生产力可持续指数( $PSI$ )与生态足迹( $EF$ )、生态承载力( $EC$ )的关系可用下式表示:

$$PSI = \frac{EC}{EC + EF} \quad (3)$$

式中,  $PSI$  介于 0~1 之间, 当  $PSI$  趋近于 1 时, 生态承载力远远超过生态足迹, 即土地生产力大大超过人类从土地获取的资源消耗量, 土地利用可持续发展程度很高; 当  $PSI$  趋近于 0 时, 生态赤字大大超过生态承载力, 土地利用属于极度不可持续状态; 当  $PSI = 0.5$  时, 则  $EF$  和  $EC$  二者相等, 说明土地生产力与人类从土地中实际获取的资源消耗量相等, 二者处于平衡状态, 是可持续发展与不可持续发展的临界点。根据生产力可持续指数  $PSI$  远离 0.5 的程度, 可把土地利用可持续程度从强可持续到强不可持续分为 6 个不同的等级类型(表 1)。当然也可根据需要或实际情况, 对可持续发展或不可持续程度按照偏

表 1 耕地生产力可持续指数分级  
Tab. 1 Classification of  $PSI$  for arable land

等级 Grade	生产力可持续指数 $PSI$	可持续程度划分 Sustainable level
1	0.80	强可持续 Strong sustainable
2	0.65~0.80	中等可持续 Medium sustainable
3	0.50~0.65	弱可持续 Weak sustainable
4	0.35~0.50	弱不可持续 Weak unsustainable
5	0.20~0.35	中等不可持续 Medium unsustainable
6	< 0.20	强不可持续 Strong unsustainable

离 0.5 的程度进行等级细分, 这一定程度上克服了上述几个指标的局限性<sup>[7]</sup>。因此, 生产力可持续指数可作为耕地可持续利用程度的定量测评标准。

## 2 数据来源

本文以新疆叶尔羌河流域新疆生产建设兵团农三师 45 团绿洲灌区为例, 对该灌区 1995~2005 年的人均耕地生态足迹( $ef$ )、生态承载力( $ec$ )、生态赤字( $ed$ )及生产力可持续指数( $PSI$ )进行计算。文中涉及该灌区耕地的生物生产性产品主要包括纤维作物(棉花, 占耕地总面积的 83.73%)和粮食作物(主要为小麦和玉米, 占 8.59%), 其他作物种植面积仅占 7.68%。因此, 耕地足迹中的组成部分主要考虑了棉花和粮食作物, 其他作物如蔬菜、油料等由于种植面积太小, 且资料收集困难, 故本研究中忽略不计。

数据主要来源于《新疆兵团农三师 45 团统计年鉴》、《中国农业统计年鉴》和《全国农产品成本收益资料汇编(1980~2006)》。本研究中产量因子是根据 45 团灌区棉花平均产量与全国棉花平均产量比值得出。经无量纲化后的产量因子见表 2。

表 2 1995~2005 年新疆生产建设兵团农三师 45 团绿洲灌区耕地产量因子

Tab. 2 Yield factors of cultivated land in Farm 45 Irrigation Area of the Xinjiang Production and Construction Corps during 1995~2005

年份 Year	产量因子 Yield factor	年份 Year	产量因子 Yield factor	年份 Year	产量因子 Yield factor
1995	1.424	1999	1.541	2003	1.580
1996	1.434	2000	1.449	2004	1.262
1997	1.409	2001	1.267	2005	1.528
1998	1.829	2002	1.396		

## 3 耕地可持续利用动态分析

### 3.1 耕地生态足迹的变化趋势分析

45 团灌区 1995~2005 年人均生态足迹、人均生态承载力、人均生态赤字和生产力持续指数的时间

序列计算结果见表 3。其中, 人均耕地生态足迹是人均粮、棉生态足迹之和, 由历年人均粮、棉产量分别除以中国粮、棉平均产量, 再乘以均衡因子得到。人均生态承载力是各年人均耕地面积乘以均衡因子和各年产量因子所得。

由表 3 可知, 1995~2005 年灌区人均耕地生态足迹经历了“增加-降低-波动”3 个阶段, 即 1995~1998 年缓慢增加, 1999~2002 年缓慢降低, 2003~2005 年增减波动较大。但灌区人均耕地生态足迹总体上呈现增加趋势, 即由 1995 年的  $1.184 \text{ ghm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$  增加到 2005 年的  $1.802 \text{ ghm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ , 年均提高 5.22%, 这

主要是因为灌区农业物化投入及科技投入以及土地开发整理工程使得主要农产品产量增长幅度较大, 说明灌区对耕地资源集约化利用强度加大。在研究时段内人均耕地生态承载力也呈现逐年增加趋势。灌区耕地生态赤字/盈余出现一定程度的波动, 1998~2003 年间耕地生态承载力大于耕地生态足迹, 出现了生态盈余, 这主要是土地开发速度加快使耕地面积增加; 1995~1997 年间及 2004 年以后, 耕地生态承载力小于耕地生态足迹, 出现了生态赤字, 可能是因为水资源不足、撂荒, 或者是经济上不划算、投入下降等问题所致。

表 3 1995~2005 年新疆生产建设兵团农三师 45 团绿洲灌区人均耕地足迹、生态承载力、生态赤字和生产力可持续指数  
Tab. 3 Ecological footprint, ecological capacity, ecological deficit per cap. for arable land and *PSI* in Farm 45 Irrigation Area of the Xinjiang Production and Construction Corps during 1995~2005

年份 Year	人均耕地足迹 Ecological footprint for arable land per cap. ( $\text{ghm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ )	人均生态承载力 Ecological capacity per cap. ( $\text{ghm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ )	人均生态赤字 Ecological deficit per cap. ( $\text{ghm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ )	生产力可持续指数 <i>PSI</i>
1995	1.184	1.033	-0.151	0.466
1996	1.212	1.055	-0.157	0.465
1997	1.179	1.141	-0.038	0.492
1998	1.362	1.728	+0.365	0.559
1999	1.270	1.628	+0.358	0.562
2000	1.217	1.518	+0.301	0.555
2001	1.199	1.365	+0.165	0.532
2002	1.211	1.587	+0.376	0.567
2003	1.663	1.712	+0.048	0.507
2004	1.425	1.405	-0.019	0.497
2005	1.802	1.762	-0.040	0.494

“-”表示生态赤字, “+”表示生态盈余。 “-” and “+” refer to ecological deficit and ecological remainder, respectively.

### 3.2 耕地生产力可持续指数的变化趋势分析

由表 3 可知, 1998~2003 年灌区耕地 *PSI* 大于 0.5, 但未超过 0.65, 说明耕地利用为弱可持续阶段, 耕地利用较为科学合理, 这主要得益于科技投入和集约化管理技术水平提高使作物产量增加的结果; 其他阶段 *PSI* 均小于 0.5, 但大于 0.35, 为弱不可持续阶段, 表明灌区耕地利用虽未到达严重不可持续程度, 但必须加强耕地的合理利用与保护, 防止耕地退化。必须引起注意的是, 2004 年后 *PSI* 出现下降趋势, 虽然灌区多年来不断提高耕地生产力和管理技术水平, 但由于灌区在耕地利用过程中大量使用化肥和地膜覆盖造成土壤污染, 以及棉花多年连作和种植模式单一, 造成病虫害加剧而使耕地生产力有所降低, 也出现了土地“三化”现象, 因此, 耕地利用长时段有可能处于不可持续状态。

### 3.3 不同尺度耕地可持续利用程度对比分析

为比较 45 团灌区与全国其他省市的耕地可持

续利用程度, 按照本文公式(3)所给出的生产力可持续指数 *PSI* 的计算方法, 并参照徐中民等研究成果<sup>[6]</sup>, 计算了部分省(区市)1999 年的 *PSI*, 计算结果见表 4。

由表 4 可知, 45 团灌区人均生态足迹除比云南、江西、陕西高外, 比其他省区均低, 其中比人均生态足迹最高的北京市低  $1.412 \text{ ghm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ , 人均生态承载力在所有参比省区中为最高, 生态赤字最少。如以 1997 年全球人均  $2 \text{ ghm}^2$  的生态承载力为生态阈值<sup>[14]</sup>, 则所有参比对象的资源消费状况均已超过全球尺度承载力的范围, 因此, 45 团灌区属于全球尺度不可持续而地方尺度可持续发展的地区。

根据表 1 对生产力可持续指数 *PSI* 等级的划分, 对比 45 团灌区与中国及其他省区的 *PSI*, 发现 45 团灌区与江西、云南的 *PSI* 处于 0.5 和 0.65 之间, 属于弱可持续发展地区。而同期新疆处于中等不可持续阶段, 陕西处于弱不可持续阶段。

表 4 1999 年新疆生产建设兵团农三师 45 团绿洲灌区人均生态足迹及生产力持续指数与全国其他省市比较

Tab. 4 The contrast of ecological footprint per cap. and *PSI* in Farm 45 Irrigation Area of the Xinjiang Production and Construction Corps and other areas in 1999

国家或地区 Country or province	人均生态足迹 Ecological footprint per cap. (ghm <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	人均生态承载力 Ecological capacity per cap. (ghm <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	人均生态赤字 Ecological deficit per cap. (ghm <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	生产力持续指数 <i>PSI</i>
全国 China	1.325	0.681	-0.644	0.339
北京 Beijing	2.682	0.943	-1.739	0.260
河南 Henan	1.478	0.481	-0.997	0.246
广东 Guangdong	1.332	0.462	-0.870	0.258
上海 Shanghai	2.242	0.256	-1.986	0.102
江西 Jiangxi	1.058	1.288	0.230	0.549
陕西 Shaanxi	1.086	0.752	-0.334	0.409
山西 Shanxi	2.555	0.741	-1.814	0.225
云南 Yunnan	0.477	0.755	0.278	0.613
湖北 Hubei	1.595	0.395	-1.200	0.198
新疆 Xinjiang	2.413	1.152	-1.261	0.323
45 团 Farm 45	1.270	1.628	0.358	0.562

#### 4 结论与讨论

1995~2005 年 45 团灌区人均耕地生态足迹经历了“增加-降低-急变”3 个阶段, 与生态承载力均呈现出不断增加的趋势, 两者发展基本协调, 人均耕地生态赤字呈现波动状态。

本文提出的“生产力可持续指数(Productivity sustainability index, *PSI*)”的概念和计算模型, 比传统生态足迹研究中用“生态赤字”绝对数值指标表示可持续发展程度更具合理性。这些指标和方法的提出及运用, 对生态足迹理论研究及耕地利用可持续性评价有着重要的理论价值和现实指导意义。

本文对 *PSI* 的计算基于生态足迹和生态承载力的计算基础之上, 但由于后两者在计算过程中只是对耕地作为单独研究对象, 且在耕地生态足迹计算中忽略了灌区其他作物种植面积, 这对 *PSI* 的结果对比分析可能产生一定影响。

#### 参考文献

- [1] Cataned B E. An index of sustainable economic welfare (ISEW) for Chile[J]. *Ecological Economics*, 1999, 28(3): 231-244
- [2] Hard P, Barg S, Hodge T. Measuring sustainable development: Review of current practices[R]. Occasional Paper Number 17, 11(HSD). 1997: 1-2, 49-51
- [3] Wackernagel M, William R. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective[J]. *Ecological Economics*, 1997, 20(1): 3-4
- [4] Wackernagel M, William R. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth[M]. Canada, Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996
- [5] William R. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121-130
- [6] 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
- [7] 刘钦普, 林振山, 冯年华. 生态足迹改进模型及在江苏省耕地利用评价中的应用[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(10): 1685-1689
- [8] 刘建兴, 王青, 孙鹏, 等. 中国 1990~2004 年生态足迹动态变化效应的分解分析[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(1): 61-68
- [9] 吴隆杰. 基于生态足迹指数的中国可持续发展动态评估[J]. *中国农业大学学报*, 2005, 10(6): 94-99
- [10] 任志远, 黄青, 李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析[J]. *地理学报*, 2005, 60(4): 597-606
- [11] 孟晓军, 刘志辉, 秦春艳. 基于生态足迹分析方法的区域生态安全测度研究——以新疆为例[J]. *新疆农业科学*, 2007, 44(4): 516-519
- [12] Wackernagel M, Monfreda C, Erb K H, et al. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961-1999: Comparing the conventional approach to an actual land area' approach[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21(3): 261-269
- [13] 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
- [14] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. Ecological footprints of nations[C]//Commissioned by the Earth Council for the Rio + 5 Forum. Toronto: International Council for Local Environmental Initiatives, 1997: 4-12
- [15] Wackemagel M, Onisto L, Bello P. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390