

# 基于改进生态足迹因子的区域可持续性动态评估 ——以陕西省为例

郭晓娜<sup>1</sup>, 李泽红<sup>2</sup>, 董锁成<sup>2</sup>, 薛东前<sup>1</sup>, 陈艳晓<sup>1</sup>

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 生态足迹是评估区域可持续性的重要方法之一, 已有研究多采用全国统一的均衡因子和产量因子进行测算。以陕西省为研究区, 通过独立测算研究区各年份均衡因子和产量因子, 对传统评估方法进行了改进。研究结果表明, 陕西省均衡因子、产量因子与全国统一因子存在较大差异。尽管评价结果显示 1995—2011 年陕西省总体处于不可持续性状态, 但所反映的生态赤字和生态压力指数均比较稳定, 分别在 0.138 9~0.497 8 hm<sup>2</sup>/人和 1.170 3~2.613 7 之间, 该结果较传统研究结果数值偏小, 但更贴近区域现实。从全球生态问题谈判的有利角度出发, 我国有必要建立一套符合国情和区域特色的生态足迹测算因子和方法。

**关键词:** 生态足迹; 生态承载力; 区域可持续性; 动态评估

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)02-0142-05

中图分类号: F205

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.031

## Dynamic Evaluation of Regional Sustainability Based on Improved Ecological Footprint Factors

— A Case Study in Shaanxi Province

GUO Xiao-na<sup>1</sup>, LI Ze-hong<sup>2</sup>, DONG Suo-cheng<sup>2</sup>, XUE Dong-qian<sup>1</sup>, CHEN Yan-xiao<sup>1</sup>

(1. Institute of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Ecological footprint is one of the important methods to assess regional sustainability, and current researches usually adopt nationwide equivalence factor and yield factor. This paper, taking Shaanxi Province as a case study, estimated independently the equilibrium factor and yield factor for each year, and improved the traditional evaluation methods. The results indicated that there were big difference between factors of Shaanxi Province and nationwide unified factor. From 1995 to 2011, Shaanxi Province was general unsustainable, and the ecological deficit and ecological pressure index changed between 0.138 9~0.497 8 hm<sup>2</sup>/cap and 1.170 3~2.613 7 respectively, and kept relatively stable. compared to the result calculated by the global unity factor, the data form the present study were smaller than normal study and more closely to regional reality. Being good for the negotiations on global ecological problems, it is necessary to establish a set of ecological footprint calculation factor and method conform to national condition and regional characteristics.

**Keywords:** ecological footprint; ecological carrying capacity; regional sustainability; dynamic evaluation

可持续发展作为一种发展理念和战略,对区域可持续性进行测量,不仅是区域间合作的基础,又是评价健康运行的标准<sup>[1-2]</sup>。一些国际组织早在 20 世纪 80 年代开始寻找衡量可持续发展的指标体系<sup>[3]</sup>, 1992 年里约热内卢联合国环境大会后,各国就开始致力于可持续发展的量化研究,而生态足迹是其中一种简单而综合的研究方法<sup>[4-5]</sup>,逐渐受到关注。20 世

纪 90 年代初,加拿大生态经济学家 Rees<sup>[6-7]</sup> 最早提出生态足迹概念,随后由 Wackernagel 等人<sup>[7-8]</sup> 对该理论和方法逐步完善,生态足迹逐渐成为衡量人类对自然资源利用程度以及持续发展状态的方法。2001 年谢高地等<sup>[9]</sup> 学者将生态足迹的方法引入中国,并对中国的生态足迹占用进行了较为全面地评估,该方法在后续的区域可持续性评估研究中得到广泛应

收稿日期:2013-07-05

修回日期:2013-09-25

资助项目:国家自然科学基金项目“资源型城市发展的碳排放效应及其影响机制研究”(41101117);中国地质大学资源环境经济研究中心开放基金项目(H2012001B)

作者简介:郭晓娜(1988—),女(汉族),陕西省渭南市人,硕士研究生,研究方向为生态经济。E-mail:guoxiaona2h@qq.com。

通信作者:李泽红(1980—),男(汉族),湖北省天门市人,博士,副研究员,研究方向为生态经济。E-mail:lizehong@igsrnr.ac.cn。

用<sup>[10-12]</sup>。然而,已有研究多采用全国统一的均衡因子和产量因子,在区域尺度的评价中存在较大误差,且以静态评价居多,长时间序列尺度的动态研究较少。本研究以陕西省为案例区,通过测算典型区域的均衡因子和产量因子,基于生态足迹方法的改进,对 1995—2011 年陕西省生态足迹与生态承载力进行动态评估,以期对区域的可持续发展提供科学参考。

## 1 研究区概况

陕西省位于中国内陆腹地,地处东经 105°29′—111°15′和北纬 31°42′—39°35′之间,处于黄河中游,是长江最大支流汉水的发源地。北部黄土高原是我国典型的风沙区和丘陵沟壑区,是全球气候变化响应的敏感区域;中部关中平原地势平坦,交通便利,气候温和,物产丰富,是该省工农业最发达的地区,号称“八百里秦川”;南部秦巴山地林业资源、生物资源丰富,秦岭是我国南北气候分界线,是我国自然地理、生态和气候研究的典型区域。陕西省土地面积  $2.06 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,2011 年末总人口达 3 743 万。陕西省总体处于我国第一阶地和第三阶地的过渡地带,区域差异明显,生态环境总体比较脆弱,作为我国西部大开发的重点区域,脆弱的生态环境和剧烈的人类活动同时制约着区域社会经济的可持续发展。

## 2 研究方法 with 数据来源

研究方法主要是通过“单位热值”重新计算区域的均衡因子和产量因子,产量因子是区域单位面积热值与全球单位面积热值之比,均衡因子为某一类土地生产力与总土地平均生产力之比。通过区域的均衡因子和产量因子,计算区域的生态足迹和生态承载力,评估区域的可持续发展状态。

### 2.1 生态足迹与生态承载力

生态足迹(EF)指的是特定区域人口在某一时段所消费的资源和吸纳废弃物所需要的生物生产面积,它反映的是人类活动对生态系统的影响。在生态足迹指标的测算过程中,将生物生产土地类型分为耕地、草地、林地、水域、化石燃料用地及建设用地等 6 大类。人类活动对 6 大类生物生产土地的占用之和即为总的生态足迹,计算公式为<sup>[3]</sup>:

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

式中:EF——总生态足迹;N——区域人口数;ef——人均生态足迹;*i*——消费项目类型;*r<sub>i</sub>*——第 *i* 种消费项目的均衡因子;*A<sub>i</sub>*——第 *i* 种消费项目折算的人均占有生物生产面积;*c<sub>i</sub>*——第 *i* 种消费项目

的年均消费量;*p<sub>i</sub>*——第 *i* 种消费项目的全国单位面积的年平均产量。

生态承载力是与生态足迹相对应的概念,是特定区域能够提供给人类生态生产面积的总和。提供生态承载力的主要有耕地、草地、林地、水域和建筑用地 5 大地类。生态承载力的计算公式为:

$$EC = N \cdot ec = N \sum (a_i \cdot y_i \cdot r_i) \quad (2)$$

式中:EC——总生态承载力;ec——人均生态承载力;*a<sub>i</sub>*——第 *i* 种人均生态生产性面积;*y<sub>i</sub>*——第 *i* 种类型的土地的产量因子。

考虑世界环境与发展委员会的建议,保留 12% 的土地面积为保护生物多样性<sup>[13]</sup>,剩余的即为实际可以利用的生态承载力。

### 2.2 生态赤字(生态盈余)与生态压力

特定区域的可持续性状态可以依据生态赤字(生态盈余)和生态压力指数等指标进行判别。其中,生态赤字是生态足迹与生态承载力之差。当生态足迹大于生态承载力时,表示这个地区(或国家)的人口消费需求大于生态供给,区域发展处于不可持续状态;当生态承载力大于或等于生态足迹时,区域发展处于可持续状态。

生态压力指数是某一区域人均生态足迹与生态承载力的比率<sup>[11]</sup>,比率的大小反映地区或国家生态环境的承压程度。当生态压力指数大于 1 时,表示该区域的发展处于不可持续状态;当生态压力指数小于 1 时,表示该区域的发展处于可持续状态;当生态压力指数小于 0.5 时,表明区域具有很强的可持续性;当生态压力指数介于 0.5~0.8 之间时,表明区域具有较强的可持续性;当生态压力指数介于 0.8~1 之间时,表明区域具有较弱的可持续性;当生态压力指数介于 1~1.5 之间时,表明区域具有较弱的不可持续性;当生态压力指数介于 1.5~2 之间时,表明区域具有较强的不可持续性;当生态压力指数大于 2 时,表明区域具有很强的不可持续性<sup>[12]</sup>。

### 2.3 均衡因子与产量因子的改进

本研究采用的均衡因子基于“区域公顷”模型之上,计算区域每年动态变化的均衡因子,根据每年单位面积对应的生物生产量进行测算,引入单位热值使生物资源的面积具有可加性<sup>[14-16]</sup>,其值来自于《农业技术经济手册(修订版)》<sup>[17]</sup>。均衡因子的计算公式为:

$$r_i = \bar{P}_i / P = \left( \frac{Q_i}{S_i} \right) / \left( \frac{\sum Q_l}{\sum S_l} \right) \\ = \left( \frac{\sum_k p_k^i \times v_k^i}{S_i} \right) / \left( \frac{\sum_k \sum_l p_k^l \times v_k^l}{\sum S_l} \right) \quad (3)$$

式中: $\bar{P}_i$ ——区域第 *i* 类土地的平均生产能力;

$P$ ——区域全部土地的平均生产力； $Q_i$ ——第  $i$  类土地的总生产热值； $S_i$ ——第  $i$  类土地的生产面积； $p_k^i$ ——第  $i$  类土地  $k$  种生物的产品产量； $v_k^i$ ——第  $i$  类土地第  $k$  种生物的单位热量产值。其中耕地与建筑用地的均衡因子相同，林地和化石燃料用地的均衡因子相同<sup>[16]</sup>。

在不同区域同种类型的土地的生产力也会存在很大差异，不同类型的生物生产面积也不能直接比较，需要用产量因子对其进行调整。产量因子是特定时期特定区域某一地类的生产力与该类地的世界平均生产力的差异程度，用比值来表示。已有生态承载力的测算多使用全国和全国统一的产量因子，其不能准确反映区域实际的生态承载力。本研究使用国家产量因子乘以“国公顷”基础上相对区域因子，计算出研究区的产量因子<sup>[15-16]</sup>。区域产量因子的计算公式为：

$$y_i = \frac{\bar{P}_i}{GP_i} \times Y_i = \left( \frac{Q_i}{S_i} \right) / \left( \frac{GQ}{GS_i} \right) \times Y_i$$

$$= Y_i \times \left( \frac{\sum_k p_k^i \cdot v_k^i}{S_i} \right) / \left[ \frac{\sum_k (gp_k^i) \cdot v_k^i}{GS_i} \right] \quad (4)$$

式中： $GP_i$ ——全国第  $i$  类土地的平均生产能力；

$Y_i$ ——我国第  $i$  类土地的产量因子； $GQ_i$ ——我国第  $i$  类土地的总产出热值； $GS_i$ ——我国第  $i$  类土地的总面积； $gp_k^i$ ——我国第  $i$  类土地的第  $k$  种产品的年产量。其中  $1 \text{ m}^3$  的木材相当于  $0.175 \text{ t}$  木材，一般建筑用地为农田用地，所以建筑用地和耕地的产量因子相同。

## 2.4 数据来源

研究所需数据主要来源于《陕西省统计年鉴（1995—2011年）》和《中国统计年鉴（1995—2011年）》。水产品产量数据来源于《中国渔业年鉴》，部分木材产量数据来源于《中国林业统计年鉴》，部分水域面积采用已有学者测算的陕西省人均生态足迹推算出实际的水域面积<sup>[18-19]</sup>，2000年及以前的建筑面积来源于《中国国土年鉴》。

## 3 结果分析

### 3.1 陕西省均衡因子与产量因子

陕西省各年份不同地类的均衡因子和产量因子计算结果见表1。从表1可以看出，陕西省产量因子和均衡因子与全国统一因子值相差较大，主要表现在水域和草地方面。

表1 陕西省1995—2011年各地类的均衡因子和产量因子

| 年份   | 均衡因子    |         |         |         | 产量因子    |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|      | 耕地      | 草地      | 林地      | 水域      | 耕地      | 草地      | 林地      | 水域      |
| 1995 | 3.832 9 | 0.545 2 | 0.090 8 | 0.019 9 | 0.732 6 | 0.390 1 | 2.081 7 | 0.049 1 |
| 2000 | 3.089 8 | 0.617 5 | 0.123 9 | 0.051 8 | 0.967 0 | 0.407 3 | 1.458 6 | 0.058 4 |
| 2005 | 3.332 4 | 0.840 3 | 0.156 6 | 0.085 8 | 1.090 8 | 0.563 3 | 1.625 7 | 0.085 2 |
| 2010 | 3.361 1 | 0.644 7 | 0.217 8 | 0.060 2 | 1.049 6 | 0.386 6 | 1.960 0 | 0.056 3 |
| 2011 | 3.229 3 | 0.954 4 | 0.249 6 | 0.060 6 | 0.783 2 | 0.593 2 | 2.082 4 | 0.055 1 |
| 全国   | 2.8     | 0.5     | 1.1     | 0.2     | 1.66    | 0.19    | 0.91    | 1       |

注：表中仅列出典型年份数据，下同。

陕西省的水域的产量因子较低，这与陕西省位于我国内陆省份，水域面积小，水质较差，水产业不发达有密切关系；而草地生产力高主要得益于陕南地区天然草地生产力高。由于各年份气候、水文等自然条件的差异，各地类的生产能力在年度间有所变化，故均衡因子与产量因子随着时间序列呈动态变化，这比使用统一的固定因子值计算更为精确。

### 3.2 陕西省生态足迹与生态承载力动态变化

利用表1中的均衡因子和产量因子对陕西省生态足迹和生态承载力进行测算。其中，1995—2011年生物资源消费项目根据陕西省的实际消费情况选取粮食、油料、糖类、肉类、禽蛋等27个项目，能源消费主要包括煤炭、石油、天然气及其电力，根据数据计算出能源的人均生态足迹。计算生物资源消费中的食、

油料、糖类、肉类、禽蛋的人均生态足迹分量时，采用FAO发布的各种农作物的全国平均产量数据。通过数据计算和整理，陕西省1995—2011年各种生物生产土地的生态足迹结果详见表2。根据陕西省历年来的耕地、草地、林地、水域及其建筑用地面积计算出陕西省1995—2011年生物资源生态承载力，计算结果详见表3。从表2中可以看出，1995—2011年的人均生态足迹逐渐变大，2011年化石燃料用地面积减少，说明陕西省对能源的使用量大幅度降低或向清洁能源转变。从表3可以看出，1995—2010年人均生态承载力变大，其中林地的生态承载力稳定上升，说明林地面积变大或科技能力的提升使得木材、水果产量增加；1995—2007年建筑用地的生态承载力增加，说明城市化进程加快，建筑用地面积增加。

表 2 陕西省 1995—2011 年人均生态足迹

| 年份   | 耕地      | 草地      | 林地      | 水域      | 化石燃料用地  | 建筑用地    | 生态足迹总量  |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1995 | 0.368 2 | 0.211 7 | 0.000 5 | 0.000 4 | 0.033 0 | 0.000 5 | 0.614 2 |
| 2000 | 0.370 8 | 0.253 8 | 0.001 1 | 0.002 7 | 0.041 1 | 0.000 6 | 0.670 2 |
| 2005 | 0.415 3 | 0.557 4 | 0.002 1 | 0.006 1 | 0.104 9 | 0.000 6 | 1.086 4 |
| 2010 | 0.468 7 | 0.344 0 | 0.004 6 | 0.003 3 | 0.239 6 | 0.001 1 | 1.061 2 |
| 2011 | 0.443 4 | 0.516 8 | 0.005 9 | 0.004 6 | 0.004 6 | 0.001 1 | 1.270 1 |

表 3 陕西省 1995—2011 年人均生态承载力

| 年份   | 耕地      | 草地      | 林地      | 水域       | 建筑用地    | 承载力总量   |
|------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 1995 | 0.271 2 | 0.016 5 | 0.045 1 | 0.000 01 | 0.061 9 | 0.394 6 |
| 2000 | 0.393 6 | 0.021 9 | 0.047 7 | 0.000 03 | 0.068 0 | 0.531 3 |
| 2005 | 0.402 8 | 0.840 3 | 0.071 0 | 0.000 08 | 0.074 8 | 0.588 6 |
| 2010 | 0.382 5 | 0.020 4 | 0.118 4 | 0.000 04 | 0.073 3 | 0.594 7 |
| 2011 | 0.270 3 | 0.033 5 | 0.156 2 | 0.000 04 | 0.055 3 | 0.515 1 |

3.3 陕西省生态赤字与生态压力指数动态变化

根据表 2—3,将陕西省各年份的人均生态足迹和人均生态承载力的计算结果进行比较,得出陕西省各年份的生态承载力明显小于生态足迹,生态赤字总体呈扩大趋势。生态压力指数总体呈上升趋势,1995—2006 年缓慢上升,从 2007—2011 年出现波动性上升(图 1)。根据生态压力指数等级判断标准,从 1995—2008 年陕西省有较强的不可持续性,2009—2011 出现了很强的不可持续性。

3.4 结果讨论

徐坡、王伟等<sup>[19-20]</sup>学者利用全国统一的均衡因子和产量因子对陕西省的生态足迹、生态承载力等进行较为详细的测算,结果详见表 4。对比分析可知,测

算出的 4 项指标值均小于同行学者的研究结果,陕西省的可持续状态没有以往学者评估的那么严峻。

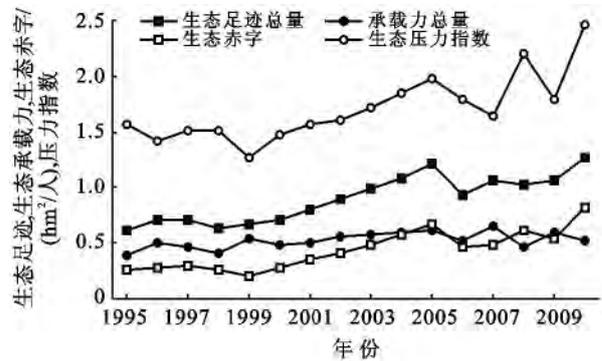


图 1 陕西省 1995—2011 年生态足迹变化趋势

表 4 本研究与传统方法对陕西省生态足迹研究结果对比

| 年份   | 人均生态足迹 (hm <sup>2</sup> /人) |         |         | 人均生态承载力 (hm <sup>2</sup> /人) |         |         | 人均承载赤字 (hm <sup>2</sup> /人) |         |         | 生态压力指数  |         |         |
|------|-----------------------------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|      | 本研究                         | 徐坡      | 王伟      | 本研究                          | 徐坡      | 王伟      | 本研究                         | 徐坡      | 王伟      | 本研究     | 徐坡      | 王伟      |
| 1995 | 0.614 2                     | 1.111 2 |         | 0.394 6                      | 0.752 7 |         | 0.219 6                     | 0.358 5 |         | 1.556 5 | 1.476 3 |         |
| 2000 | 0.670 2                     | 1.084 2 | 0.941 8 | 0.531 3                      | 0.926 4 | 0.761 4 | 0.138 9                     | 0.157 8 | 0.180 4 | 1.261 4 | 1.170 3 | 1.236 9 |
| 2005 | 1.086 4                     | 1.710 8 | 1.563 1 | 0.588 6                      | 0.853 4 | 0.711 7 | 0.497 8                     | 0.857 4 | 0.851 4 | 1.8457  | 2.004 7 | 2.196 3 |
| 2008 | 1.044 2                     | 2.204 4 |         | 0.750 1                      | 0.843 4 |         | 0.294 1                     | 1.361 0 |         | 1.392 1 | 2.613 7 |         |

本研究计算的人均生态足迹和生态承载力与以往学者的结果存在较大差别,主要因为本研究对生态足迹方法进行改进,独立测算陕西省自身每年的产量因子和均衡因子,而非使用全国统一的产量因子和均衡因子。全球各地的土地生产力差距较大,使用陕西省自己的均衡因子和产量因子更为可靠。

4 结论

在对典型案例区的可持续性评估中,尝试性地对

生态足迹方法中的均衡因子和产量因子进行了改进。从理论上讲,利用案例区自身的均衡因子和产量因子测算出的指标值比全国因子测算出的结果应该更为精确,更能反映研究区的实际状态。从研究结果对比看,利用案例区自身因子测算,生态赤字和生态压力指数都比较稳定,分别在 0.138 9~0.497 8 hm<sup>2</sup>/人和 1.170 3~2.613 7 之间,并没有如以往学者分析那么严重,这一结论有利于更准确地认识一个地区的可持续发展能力。因此,在对我国典型区域生态占用状

态和可持续性状态进行评估时,有必要建立一套符合国情和典型区域实际的生态足迹测算因子,更为准确地判断典型区域的可持续发展状态。当然,改进生态足迹因子的方法一定程度上增加了对原始数据统计和收集的难度。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王书华,毛汉英,王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展[J]. 自然资源学报,2002,17(6):776-782.
- [2] 牛文元. 持续发展导论[M]. 北京:科学出版社,1994.
- [3] Hardi P, Barg S, Hodge T, et al. Measuring sustainable development: Review of current practice[R]. Occasional Paper, 1997;1-2,49-51.
- [4] 杨开忠,杨咏,陈洁. 生态足迹分析理论与方法[J]. 地球科学进展,2000,15(6):630-636.
- [5] 徐中民,张志强,程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报,2000,55(5):607-616.
- [6] Rees W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2):121-130.
- [7] Rees W E. Revisiting carrying capacity: Area-based indicators of sustainability[EB/OL] // Wackernagel M. Ecological Footprint Nation. <http://www.ecouncil.ac.cr/rio/focus/report/english/footprint>, 1997.
- [8] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29(3):375-390.
- [9] 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.
- [10] 赵先贵,王书转,马彩虹,等. 西安市 2002 年生态足迹分析[J]. 干旱区资源与环境,2005,19(6):33-37.
- [11] 赵先贵,马彩虹,高立峰,等. 基于生态压力指数不同尺度区域生态安全评价[J]. 中国农业生态学报,2007,15(6):135-138.
- [12] 李泽红,董锁成,汤尚颖,等. 基于生态足迹模型的石嘴山市生态经济可持续性评价[J]. 中国地质大学学报:社会科学版,2008,8(3):41-45.
- [13] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报,1999,19(5):19-25.
- [14] 张恒义,刘卫东,万世忠,等. “省公顷”生态足迹模型中的均衡因子及产量因子的计算:以浙江省为例[J]. 自然资源学报,2009,24(1):82-93.
- [15] Wackernagel M, Monfreda C, Schulz N B, et al. Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges[J]. Land Use Policy, 2004, 21(3):271-278.
- [16] Monfreda C, Wackernagel M, Deumling D. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments[J]. Land Use Policy, 2004, 21(3):231-246.
- [17] 牛若峰,刘天福. 农业技术经济手册[M]. 修订版. 北京:农业出版社,1983.
- [18] 吴介军,蔡琳,张秋花,等. 1993—2004 年陕西省生态足迹分析与评价[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2006,34(4):104-108.
- [19] 徐坡,张阳生. 陕西省生态足迹动态变化分析[J]. 安徽农业科学,2011,39(8):4862-4866.
- [20] 王伟,韦苇. 动态生态足迹测度与分析:陕西省可持续发展研究[J]. 重庆工商大学学报:西部论坛,2007,17(4):52-56.

(上接第 141 页)

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 孙希华. 基于 GIS 的济南市土壤侵蚀潜在危险度评价研究[J]. 水土保持学报,2003,17(6):47-50.
- [2] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全(南方红壤卷)[M]. 北京:科学出版社,2010:194-196.
- [3] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤侵蚀的地形因子[J]. 山地学报,1999,17(S):16-18.
- [4] 韩佳. 基于 RS 与 GIS 的东川地区水土流失研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2010.
- [5] 卜兆宏,唐万龙,潘贤章. 土壤流失量遥感监测中象元地形因子算法的研究[J]. 土壤学报,1994,31(3):322-323.
- [6] 满建利,姜成,彭红霞,等. 降雨因素和不同土地利用方式对水土流失的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(1):31-34.
- [7] 陈军,黄光庆,周阳品. 基于 GIS 的区域水土流失评价研究[J]. 贵州大学学报,2008,25(2):201-205.
- [8] 张晓远,张亦汉. 基于 3S 技术的流溪河流域水土流失分析研究[J]. 广东水利水电,2011,25(6):26-29.
- [9] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses[R]. USDA: Agriculture Handbook US Department of Agriculture, 1978;21-22.
- [10] 高华端. 贵州岩溶地区地质条件对水土流失的影响[J]. 山地农业生物学报,2003,22(1):20-22.
- [11] 姜德文. 解读新《中华人民共和国水土保持法》的法规体系[J]. 中国水土保持科学,2011,9(5):26-30.
- [12] 孙希华,闫福江. 基于遥感与 GIS 的土壤侵蚀潜在危险度评价研究:以青岛市为例[J]. 土壤,2004,36(5):516-521.