

# 黄土丘陵区土地利用/覆盖变化对生态承载力的影响

## ——以固原上黄试验区为例

郝仕龙, 李春静

(华北水利水电学院 资源环境学院, 郑州 450011)

**摘要:**提高土地生态效益是黄土丘陵区土地资源利用的关键。基于生态足迹理论,利用生态承载力分析方法,以黄土丘陵区土地利用/覆盖变化为切入点,对上黄试验区1982年、2000年和2010年3个时间序列的生态承载力进行了计算和分析。结果表明:上黄试验区1982年、2000年和2010年的总生态承载力和人均生态承载力分别为242.47, 750.53, 929.68  $\text{hm}^2$  和0.67, 1.47, 1.86  $\text{hm}^2$ , 呈现出增长趋势,表明上黄试验区土地的生态承载能力进一步增强,其中,生态生产性土地面积的扩大以及单位土地生态生产能力的提高是生态承载力提高的原因,尤其后者是生态承载力提高的关键。本研究为区域土地资源利用对生态环境影响的定量研究提供了一种可行的方法。

**关键词:**土地利用/覆盖变化;生态足迹;生态承载力;黄土丘陵区

中图分类号:X144

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)02-0135-04

## Impact of Land Use/Cover Change on the Ecological Carrying Capacity in Loess Hilly Region

### —A Case Study in Shanghuang Test Area in Guyuan

HAO Shi-Long, LI Chun-Jing

(School of Resources and Environment, North China University  
of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

**Abstract:** Land eco-efficiency is the key of land resources in loess hilly region. Based on the theory of ecological footprint, and as land use/cover change the breakthrough point in loess hilly area, the ecological carrying capacity analysis method was used to calculate the ecological carrying capacity of Shanghuang experimental area. The results showed that the total ecological carrying capacity in 1982, 2000 and 2010 were 242.47, 750.53, 929.68  $\text{hm}^2$ , respectively. Meanwhile, the ecological carrying capacity per capita in 1982, 2000 and 2010 were 0.67, 1.47, 1.86  $\text{hm}^2$ , respectively, the ecological carrying capacity was growing up year by year, which showed that the ecological carrying capacity of the study area steadily increased. The expansion of productive land area and the improvement of the production of ecological land were the causes, in particular, the latter was the key. This study provides a feasible method of quantitative evaluation of land use impact on the ecological environment.

**Key words:** land use/cover change; ecological footprint; ecological carrying capacity; Loess hilly region

土地利用变化主要是通过改变土地覆被状况对环境产生影响,因此,人们常把土地利用变化与土地覆盖变化联系在一起。土地利用/覆盖变化是一种局部性和累积性的过程,人们通过累积性的地方环境变化去感知和反映任何一种全球变化。土地利用/覆盖变化(LUCC)既是全球环境变化的原因,也是全球环

境变化的结果,随着人口的增长、经济的发展和资源的消耗,土地利用/覆盖变化研究成为全球变化研究的前沿和热点。生态环境变化是全球变化的重要组成部分,土地利用/覆盖变化对生态环境产生直接影响,定量描述土地利用/覆盖变化对区域生态环境的影响一直是许多学者研究的热点<sup>[1-2]</sup>。生态足迹法是

收稿日期:2012-09-18

修回日期:2012-10-22

资助项目:水利部黄土高原水土流失过程与控制重点实验室开放课题基本资助项目(201305);“十一五”国家科技支撑计划重大项目课题“半干旱黄土丘陵区退化生态系统综合管理技术和模式”(2006BAC01A07)

作者简介:郝仕龙(1972—),男,江西永修人,博士,副教授,主要研究方向:土地利用/土地覆盖变化及生态经济等。E-mail:haoshilong@ncwu.edu.cn

一种定量度量生态环境发展协调状况及发展能力的有效方法。

黄土高原作为中国土地利用/覆盖变化剧烈的地区之一,是生态环境的脆弱区。宁夏南部山区“上黄”试区是黄土高原具有代表性的小流域之一,通过研究该地区 LUCC 对生态承载力变化的影响,将有助于揭示黄土高原脆弱区的形成和演变机制,有利于提高人们对脆弱性的认识,以及揭示各种自然和人文因素对土地利用可持续性的影响。

## 1 研究区域、数据来源及方法

(1) 研究区范围。宁夏固原市上黄生态试验区位于宁夏南部黄土丘陵沟壑区的河川乡上黄村,地处黄土高原西部宽谷丘陵沟壑区,地理位置为东经  $106^{\circ}26' - 106^{\circ}30'$ , 北纬  $35^{\circ}59' - 36^{\circ}02'$ , 土地总面积  $7.61 \text{ km}^2$ , 属暖温带半干旱区。年平均降水量为  $415.1 \text{ mm}$ , 海拔  $1\,534.3 \sim 1\,822 \text{ m}$ 。

(2) 数据来源。实验试区在 1982 年编制了土地利用图,从“六五”至“十一五”,开展了 6 期土地利用及农业经济社会的实地调查,形成了较为详实的社会经济调查报告和土地利用图件,特别是在“九五”末期,试区还进行了土地资源的遥感调查,编制了  $1:5\,000$  的正摄影像图,可以较为精确地反映这一区域的土地利用情况。在经济社会资料方面,主要是通过走访农户的形式,深入调查当地民户的社会经济情况,如:土地面积、粮食产量、草地载畜量、投入产出情况、各种收入来源及消费情况等。因此,试区社会经济的变化情况在不同时期都有记录。

(3) 研究方法。生态足迹是由加拿大生态经济学家 Rees 教授于 1992 年首先提出并由 Wakernagel 于 1996 年完善,从生物物理学角度定量测度可持续发展的一种方法,它以维持人类生存和发展的资源消费量和同化人类产生的废弃物所需要的生态生产性面积大小来评价人类对生态系统的影响<sup>[3-6]</sup>。生态足迹模型和方法具有概念科学明晰、指标全面、易操作且便于不同地区间比较等优点,自引入中国以来,得到了国内学者的广泛关注和应用<sup>[7-18]</sup>。生态足迹的供给(生态承载力)是生态足迹理论的核心内容之一,指一定条件下生态系统为人类活动和生物生存所能持续提供的最大生态服务能力,特别是资源与环境的最大供容能力。它表示一个地区所能提供给人类的生态生产性土地的面积总和,表征该地区的生态容量。生态承载力的计算公式为:

$$EC = \sum a_j \times r_j \times y_j \quad (1)$$

式中:EC——总生态承载力; $a_j$ —— $j$  类生态生产性

土地的面积,包括耕地、林地、草地、水域、建筑用地、 $\text{CO}_2$  吸收用地; $r_j$ ——均衡因子; $y_j$ ——第  $j$  类生物生产土地的产量因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用变化分析

(1) 治理期。上黄试区土地利用变化主要可划分为两个不同的时期,即治理期和退耕期,治理期是从 1982 年建立实验站点开始至 2000 年,这一时期的主要任务是进行生态经济的综合治理,改变这一区域经济贫困和生态环境恶化的面貌,因此,这一时期主要通过土地利用方式的改变或土地利用结构的变化来实现生态经济目标(表 1)。在生态环境方面,主要措施是通过陡坡地退耕,加强林草地的建设来提高林草覆盖度和减少水土流失,治理期间共有  $39 \text{ hm}^2$  的坡耕地进行了梯田的改造,因退耕种草新增了  $41.3 \text{ hm}^2$  的人工草地,在对荒山的改造过程中有  $148.9 \text{ hm}^2$  的荒山转变为林地。至治理期末,水土流失得到有效控制,土壤侵蚀模数从治理前的  $6\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  降至 2000 年的  $2\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,林草覆盖度从治理前的  $1.87\%$  上升到 2000 年的  $56.9\%$ ,生态环境得到了有效的改善(表 2)。

在经济治理方面,主要为加强基本农田的建设、提高粮食产量、加强人工草地的建设、发展畜牧业,整个治理期间共有  $41.3 \text{ hm}^2$  的天然草地转变为人工草地,另外有  $4.4 \text{ hm}^2$  的耕地转变为园地,发展庭园经济,进行集约化经营,提高农业收入。

(2) 退耕期。上黄试区这一时期土地利用变化的特征主要是响应国家退耕还林还草政策,在这一时期内,土地利用变化较为显著(表 1),特别是坡耕地的大量减少,整修期间共有  $142.3 \text{ hm}^2$  的坡耕地在利用方式上发生了改变, $140.8 \text{ hm}^2$  的坡耕地进行了退耕还林还草,其中有  $60.8 \text{ hm}^2$  的坡耕地转变为牧草地,成为人工草地,有  $80 \text{ hm}^2$  的坡耕地转变为林地,成为未成林造林地,集约用地发展迅速,主要表现为园地面积成倍增长,退耕后有  $6.3 \text{ hm}^2$  的川台地转变为园地,试区现有园地面积  $11.1 \text{ hm}^2$ ,是退耕前的 2.3 倍。有  $0.4 \text{ hm}^2$  的川台地转变为居民点用地,随之道路交通用地也增加了  $11.2 \text{ hm}^2$ ,大大改善了试区的道路交通情况。从土地利用结构上看,耕地面积所占比重从  $30\%$  下降为  $10.4\%$ ,林草覆盖率从退耕前的  $57\%$  上升为  $75.5\%$ ,林地和草地所占比重分别提高了  $10.5\%$  和  $8.0\%$ ,生态环境得到了改善,人工草地增加明显,退耕后有  $60.8 \text{ hm}^2$  的坡耕地转变为人工草地,其增加量是退耕前的 1.3 倍。

表 1 2000—2008 年上黄试区土地利用变化 hm<sup>2</sup>

| 土地利用类型 |        | 1982 年 | 2000 年 | 2010 年 | 1982—2000 年 | 2000—2010 年 | 总变化率/% |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|-------------|--------|
| 耕地     | 小计     | 279.7  | 228.4  | 79.4   | −51.3       | −149        | −71.6  |
|        | 坡耕地    | 239.0  | 155.6  | 13.3   | −83.4       | −142.3      | −94.4  |
|        | 梯田     | 0.0    | 39.0   | 39.0   | 39.0        | 0           |        |
|        | 河台地    | 9.6    | 8.8    | 8.8    | −0.8        | 0           | −8.3   |
|        | 川台地    | 31.1   | 25.0   | 18.3   | −6.1        | −6.7        | −41.2  |
| 林地     | 小计     | 9.4    | 158.3  | 238.3  | 148.9       | 80          | 2435.1 |
|        | 灌木林地   | 4.0    | 103.0  | 103.0  | 99          | 0           | 2475.0 |
|        | 未成林造林地 | 0.0    | 48.1   | 128.1  | 48.1        | 80          |        |
|        | 疏林地    | 5.4    | 7.2    | 7.2    | 1.8         | 0           | 33.3   |
| 牧草地    | 小计     | 374.6  | 275.3  | 326.4  | −99.3       | 51.1        | −12.9  |
|        | 天然草地   | 369.6  | 229.0  | 219.3  | −140.6      | −9.7        | −40.7  |
|        | 人工草地   | 5.0    | 46.3   | 107.1  | 41.3        | 60.8        | 2042.0 |
| 居民点用地  |        | 3.9    | 9.2    | 9.6    | 5.3         | 0.4         | 146.2  |
| 交通过地   |        | 10.1   | 20.3   | 31.5   | 10.2        | 11.2        | 211.9  |
| 水域     |        | 5.6    | 12.6   | 12.6   | 7           | 0           | 125.0  |
| 园地     |        | 0.4    | 4.8    | 11.1   | 4.4         | 6.3         | 2675.0 |
| 未利用地   |        | 77.3   | 52.1   | 10.2   | −25.2       | −41.9       | −86.8  |

表 2 不同阶段生态、经济及社会效益变化

| 指标体系    |   | 治理前     | 2000 年   | 2010 年   |
|---------|---|---------|----------|----------|
| 生态效益    | 侵蚀模数/(t·km <sup>−2</sup> ·a <sup>−1</sup> ) | 6000    | 2000     | 1000     |
|         | 林草覆盖度/%                                     | 1.87    | 56.9     | 74.2     |
|         | 坡耕地利用率/%                                    | 83.1    | 68.1     | 16.8     |
| 经济效益    | 治理度/%                                       | 2       | 86       | 99       |
|         | 人均粮占有量/kg                                   | 230     | 550      | 684.6    |
|         | 粮食单产/(kg·hm <sup>−2</sup> )                 | 645     | 2250     | 4500     |
|         | 资金投产比/%                                     | 1 : 3.6 | 1 : 10.5 | 1 : 15.6 |
| 人均纯收入/元 |   | 47.2    | 1846     | 2093.2   |

2.2 生态承载力分析

(1) 均衡因子及产量因子分析。均衡因子采用国际统一标准,为了便于比较,产量因子根据不同时期各地类的实际产量与 1993 年全球相应的不同地类的平均产量的比值进行计算<sup>[7]</sup>,在计算过程中,园地面积纳入耕地的计算范畴,建筑用地包括居住用地和交通过地,其它地类以实际面积进行计算,能源用地是用来吸收化石燃烧所排放的 CO<sub>2</sub>,以及通过木质生物量积累可利用能源的土地,但目前还没有土地被仅仅用来吸收 CO<sub>2</sub> 或者补充化石燃烧所丧失的生物化学能源。研究期初,耕地粮食的平均产量仅为 645 kg/hm<sup>2</sup>,而全球平均产量为 2 744 kg/hm<sup>2</sup>,至 2000 年,经过多年的治理,耕地粮食的平均产量达到 2 250 kg/hm<sup>2</sup>,至 2000 年,这一地区在国家退耕还林还草政策的号召下,大部分坡耕地已退耕还林还草,余下的耕地基本是川台地,土地生产力相对较高,加之退耕后耕地面积大量减少,农户加大了对耕地的投入,粮食产量得到了进一步的提高,2010 年粮食平均产

量达到 4 500 kg/hm<sup>2</sup>;研究期初,草地主要为天然草地,人工草地较少,天然草地的平均产草量为 2 100 kg/hm<sup>2</sup>,平均 1.23 hm<sup>2</sup> 的草地才能养一个羊单位;人工灌丛草地平均 0.6 hm<sup>2</sup> 养一个羊单位,比天然草地提高了 1 倍多,但总体上草地的生产力很低,以每个羊产肉 15 kg 计算,1993 年草地按全球平均产量 33 kg 羊肉来计算,其产量因子仅为 0.37,治理期及退耕期,天然草地进行了较大幅度的改良,加之部分坡耕地实施了退耕还草措施,草地的生产力得到了较大的提高,2000 年及 2010 年草地的产量因子分别提高到 0.9 和 1.2;林地的生物产量以野山杏树为代表进行计算,研究期初,山杏的产量仅为 1 650 kg/hm<sup>2</sup>,治理期间对林地进行了一定的改良,以改良杏树品种为主,在提高果实品质的基础上,产量也有了较大的提高,达到 2 100 kg/hm<sup>2</sup>,退耕期有部分坡耕地进行了退耕还林,使林地的生产力整体有了一定的提高,其产量达到 2 800 kg/hm<sup>2</sup>,而 1993 年全球杏树的果实平均产量为 3 500 kg/hm<sup>2</sup>,因此,研究期初、治理末期及退耕期林地的产量因子分别为 0.47、0.6、0.8 (表 3),总体上林地的生产力低于全球林地的生产力;水域生产力按全球平均产量来计算;建筑用地的生产力按照耕地来计算。

(2) 总生态承载力分析。根据公式(1)来计算上黄试区不同时期的生态承载力,因没有专门用于生物多样性保护的面积,根据相关标准从总的生态承载力中扣除 12% 的面积,剩下则为总的生态承载力面积,计算结果如表 3 所示,1982 年、2000 年及 2010 年上黄试区总的生态承载力分别为 242.47、852.87、

1 056.45 hm<sup>2</sup>,呈现不断增长的态势,从人均生态承载力来看,1982 年上黄试区共有人口 363 人,人均生态承载力为 0.67 hm<sup>2</sup>,2000 年及 2010 年该试区人口分别为 512 人及 501 人,人均生态承载力分别为 1.47 hm<sup>2</sup> 和 1.86 hm<sup>2</sup>。在人口呈现增长的情况下,2010

年上黄试区总的生态承载力较研究期初增加了 2.8 倍,人均生态承载力增长了 1.8 倍。相对于中国 1993 年人均生态承载力 0.8 hm<sup>2</sup> 而言,上黄试区生态承载力要高于全国平均水平,而相对于全球其它国家,如加拿大人均 9.6 hm<sup>2</sup> 而言,该试区高远低于这一水平。

表 3 上黄试区不同时期自然生态承载力

| 土地类型               | 1982 年              |        |      | 2000 年              |        |      | 2010 年              |         |      |
|--------------------|---------------------|--------|------|---------------------|--------|------|---------------------|---------|------|
|                    | 总面积/hm <sup>2</sup> | 均衡因子   | 产量因子 | 总面积/hm <sup>2</sup> | 均衡因子   | 产量因子 | 总面积/hm <sup>2</sup> | 均衡因子    | 产量因子 |
| 耕地                 | 284                 | 2.8    | 0.24 | 241.4               | 2.8    | 0.82 | 100.1               | 2.8     | 1.64 |
| 草地                 | 374.6               | 0.5    | 0.37 | 275.3               | 0.5    | 0.9  | 326.4               | 0.5     | 1.2  |
| 林地                 | 9.4                 | 1.1    | 0.47 | 158.3               | 1.1    | 0.6  | 238.3               | 1.1     | 0.8  |
| 水域                 | 5.6                 | 0.2    | 1    | 12.6                | 0.2    | 1    | 12.6                | 0.2     | 1    |
| 建筑用地               | 14.0                | 2.8    | 0.24 | 29.5                | 2.8    | 0.82 | 41.1                | 2.8     | 1.64 |
| CO <sub>2</sub> 吸收 | 0                   | 0      | 0    | 0                   | 0      | 0    | 0                   | 0       | 0    |
| 总供给面积              |                     | 275.54 |      |                     | 852.87 |      |                     | 1056.45 |      |
| 生物多样性保护(12%)       |                     | 33.07  |      |                     | 102.34 |      |                     | 126.77  |      |
| 总的生态承载力            |                     | 242.47 |      |                     | 750.53 |      |                     | 929.68  |      |
| 人均生态承载力            |                     | 0.67   |      |                     | 1.47   |      |                     | 1.86    |      |

整个研究期间,在人口总体增加的情况下,上黄试区生态承载力及人均生态承载力不断增长,这主要得益于具有生态生产地类总面积的不断增长,1982—2000 年,未利用地减少了 25.2 hm<sup>2</sup>,而 2000—2010 年具有生态生产能力的土地面积又增加了 41.9 hm<sup>2</sup>。耕地生态生产面积虽然不断减少,2010 年耕地的面积只有 1982 年耕地面积的 35.3%,但耕地生态承载力大大提高,2010 年耕地的生态承载力为 459.66 hm<sup>2</sup>,而 1982 年耕地的生态承载力仅为 190.85 hm<sup>2</sup>,增长了 1.4 倍,林地的生态生产面积呈现出不断增长的态势,1982 年林地面积仅为 9.4 hm<sup>2</sup>,而 2010 年林地的生态生产面积达到 238.3 hm<sup>2</sup>,增长了 24.4 倍,草地面积虽然有一定的减少,但人工草地面积却不断增长,使得草地的生产能力不断提高,研究期初,试区人工草地面积仅为 5.0 hm<sup>2</sup>,2010 年人工草地面积达到 101.7 hm<sup>2</sup>,草地的生态承载力也由 1982 年的 69.3 hm<sup>2</sup> 增长到 2010 年的 195.8 hm<sup>2</sup>,增加了 1.8 倍。因此,区域生态承载力提高的因素主要有两大类,一是扩大具有生态生产能力的各地类的面积,由于未利用地类面积有限,所以这种办法的潜力不大;二是提高不同地类的生态生产能力,通过加强投入,提高土壤肥力,使不同地类的产量因子得到提高。

### 3 结 论

(1) 应用基于生态足迹理论的生态承载力分析方法,对上黄试区不同时期的生态承载力进行了计算分析,结果表明上黄试区的生态承载力(扣除生物多

样性保护面积)在稳步增长,总的生态承载力及人均生态承载力从研究期初的 242.47,0.67 hm<sup>2</sup> 增加到 2010 年的 929.68,1.86 hm<sup>2</sup>。

(2) 从土地利用/覆盖变化来看,通过对未利用地的开发,使具有生态生产潜力的地类面积不断增加,未利用地面积从研究期初的 77.3 hm<sup>2</sup> 减少到 2010 年的 10.2 hm<sup>2</sup>,与此同时,通过对土地结构的调整以及退耕还林还草政策的实施,使试区土地利用的适宜性得到较大的提高,各地类的生态生产能力也相应有较大的提高。

(3) 从不同地类的产量因子来看,由于土地利用的合理性不断增强,加之投入的增加,各类土地类型的产量因子都有较大的提高,特别是耕地的产量因子变化尤为明显,其产量因子在研究期初仅为 0.24,表明该时期的耕地生态生产能力相对于 1993 年全球平均生态生产能力而言,不到其 1/4,而 2010 年,耕地的产量因子达到 1.64,说明这一时期耕地的生态生产能力是 1993 年全球平均生态生产能力的 1.2 倍,比研究期初提高 4 倍。整个研究期间,虽然耕地的数量有所减少,但耕地的总的生态承载力不断提高,因此,各生态生产地类产量因子都有较大的提高,这是促进研究区域生态承载力提高的关键。

#### 参考文献:

- [1] 郭碧云,张广军.基于 GIS 和 Markov 模型的内蒙古农牧交错带土地利用变化[J].农业工程学报,2009,25(12):291-298.
- [2] 谢花林.典型农牧交错区土地利用变化驱动力分析[J].农业工程学报,2008,24(10):56-62.

- [3] 袁玉江,何清,喻树龙. 天山山区近40年年降水特征及与南、北疆的比较[J]. 气象科学, 2004, 24(2): 220-226.
- [4] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219-226.
- [5] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
- [6] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊,等. 新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J]. 干旱区地理, 2002, 25(3): 194-200.
- [7] 刘德林. 郑州市近60年来降水变化特征及突变分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 236-238.
- [8] 蔡道明,鄢铁平,廖炜,等. 湖北省1957—2009年降水时空变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 237-241.
- [9] 刘新平,何玉惠,赵学勇,等. 科尔沁沙地奈曼地区降水变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 156-158.
- [10] 熊亚兰,王昌全,张科利,等. 北盘江流域降雨量和径流量年际变化研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 30-34.
- [11] 姜创业,魏娜,程肖侠,等. 1961—2008年陕西省年际气温和降水区域性变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 197-200.
- [12] 袁玉江,李江风,胡汝骥,等. 用树木年轮重建天山中部近350年来的降水量[J]. 冰川冻土, 2001, 23(1): 34-40.
- [13] 袁玉江,叶玮,董光荣. 天山西部伊犁地区314年降水的重建与分析[J]. 冰川冻土, 2000, 22(2): 121-127.
- [14] 吴纯渊,袁玉江. 天山山区近40年冬季降水变化特征与南、北疆的比较[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(2): 87-90.
- [15] 袁晴雪,魏文寿. 中国天山山区近40年的年气候变化[J]. 干旱区地理, 2006, 23(1): 115-118.
- [16] 蓝永超,吴素芬,韩萍,等. 全球变暖情境下天山山区水循环要素变化的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(6): 99-104.
- [17] 普宗朝,张山清,李景林,等. 近36年新疆天山山区气候暖湿化变化及其特征分析[J]. 干旱区地理, 2008, 31(3): 409-415.
- [18] 王劲松,李金豹,陈发虎,等. 树轮宽度记录的天山东段近200a干湿变化[J]. 冰川冻土, 2007, 29(2): 209-216.
- [19] 魏文寿,袁玉江,喻树龙. 中国天山山区235年气候变化及降水趋势预测[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 804-808.
- [20] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京:气象出版社, 2007.
- [21] 魏文寿,何青,刘明哲,等. 准噶尔盆地的气候变化与荒漠环境研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 101-104.
- [22] 南庆红,杨舵,杨青. 应用EOF方法分析新疆降水变化特征[J]. 中国沙漠, 2003, 25(2): 554-559.
- [23] Allan R, Lindesay J, Parker D. El Nino Southern Oscillation and Climatic Variability[M]. Victoria: CSIRO Publishing, 1996.

(上接第138页)

- [3] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leave out[J]. Environ. Urban, 1992, 4(2): 120-130.
- [4] Wackernagel M. Ecological Footprints of Nations[EB/OL] <http://www.encouncil.ac.cr/rio/focus/report/English/footprint/>, 1997.
- [5] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capacity accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375-390.
- [6] Bicknell K B, Ball R J, Ross C, et al. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy[J]. Ecological Economics, 1998, 27(2): 149-160.
- [7] 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): 607-615.
- [8] 徐中民,程国栋,张志强. 生态足迹方法的理论解析[J]. 中国人口资源与环境, 2006, 16(6): 69-78.
- [9] 白钰,曾辉,魏建兵. 关于生态足迹分析若干理论与方法问题的思考[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2008, 44(3): 493-500.
- [10] 王鹏,庄大昌. 衡阳市生态足迹分析与生态环境保护对策[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 246-248.
- [11] 翁伯琦,王义祥,黄毅斌,等. 福建省生态足迹和生态承载力的动态变化[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2153-2157.
- [12] 陈成忠,林振山. 中国人均生态足迹与生物承载力变化的EMD分析及情景预测[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5291-5299.
- [13] 彭建,吴健生,蒋依依,等. 生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的缺陷[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2716-2722.
- [14] 熊德国,鲜学福,姜永东. 生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进[J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 618-626.
- [15] 费良军,黄宝友,孙胜. 陕西省土地整理工程生态承载力模型[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 80-83.
- [16] 崔登攀,宁戈. 黑龙江省煤炭城市土地生态效益评价研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 114-117.
- [17] 谭波,傅瓦利. 基于生态足迹的巫山土地承载力研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 105-109.
- [18] 邢华超,陈知送,王秀茹,等. 延安市2001—2006年生态足迹分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(6): 143-146.