

# 基于生态足迹分析法的宁夏可持续发展研究

杜灵通<sup>1,2,3</sup>, 高桂英<sup>1,2,3</sup>, 张前进<sup>2,3</sup>

(1. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建省部共建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021;  
2. 西部发展研究中心, 宁夏 银川 750021; 3. 宁夏大学·岛根大学国际联合研究所, 宁夏 银川 750021)

**摘要:** 利用生态足迹分析方法的模型, 对宁夏 1980、1985、1990、1995、1998~2005 年的生态足迹和生态承载力进行计算。结果表明在 1980~2005 年间, 除 1990~1995 年宁夏人均生态足迹有所降低以外, 其余期间均处于增长趋势; 宁夏人均生态足迹由 1980 年的 0.61 hm<sup>2</sup> 增加到了 2005 年的 2.39 hm<sup>2</sup>, 草地、化石能源和耕地是生态足迹的主要供给部分。人均生态承载力由 1980 年的 1.22 hm<sup>2</sup> 降低到 2005 年的 0.76 hm<sup>2</sup>, 生态承载力一直处于降低趋势, 耕地和草地是生态承载力的主要供给部分。1995 年是宁夏生态经济系统可持续发展状态的转折点, 此前宁夏的生态承载力大于生态足迹, 此后生态承载力开始小于生态足迹并出现生态赤字, 即现在的经济发展处于不可持续发展状态。

**关键词:** 生态足迹; 生态承载力; 可持续发展; 生态赤字; 宁夏  
**中图分类号:** S-0      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-7601(2008)02-0194-06

生态足迹分析法是由加拿大生态经济学家 William 和其博士生 Wackernagel 在 20 世纪 90 年代提出的一种度量可持续发展程度的方法, 它是一组基于土地面积的量化指标, 其中最具代表性的是生态足迹: “一只负载着人类与人类所创造的城市、工厂……的巨脚踏在地球上留下的脚印”。生态足迹这一形象化概念既反映了人类对地球环境的影响, 也包含了可持续性机制。这就是, 当地球所能提供的土地面积容不下这只巨脚时, 其上的城市、工厂就会失去平衡; 如果巨脚始终得不到一块允许其发展的立足之地, 那么它所承载的人类文明将最终坠落、崩毁。生态足迹分析法从需求方面计算生态足迹的大小, 从供给方面计算生态承载力的大小, 通过对这二者的比较, 评价研究对象的可持续发展状况<sup>[1~3]</sup>。

## 1 生态足迹分析法理论和模型

### 1.1 生态足迹(Ecological Footprint)模型

生态足迹就是通过测定现今人类为了维持自身生存而利用自然的量来评估人类对生态系统的影响。因此, 任何已知人口(某一个人、一个城市或一个国家)的生态足迹就是其占用的生产这些人口所消费的资源 and 容纳这些人口所产生的废弃物所需要的生物生产土地面积(biologically productive area), 其公式如下<sup>[4]</sup>:

$$EF = N \times ef = N \sum_{i=1}^n a_i = N \sum_{i=1}^n (c_i / p_i) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中,  $EF$  为总的生态足迹,  $N$  为人口数,  $ef$  为人均生态足迹,  $a_i$  为  $i$  种资源人均占用的生物生产土地面积,  $c_i$  为  $i$  种资源的人均消费量,  $p_i$  为  $i$  种资源的世界平均生产力(即全球平均产量),  $n$  为资源的数量。由上式可知, 生态足迹是人口数和人均资源消费的一个函数, 生态足迹是每种消费商品的生物生产面积的总和。生态足迹测量了人类的生存所需的真实生物生产面积。将其同国家和区域范围实际所能提供的生物生产面积进行比较, 就能为判断一个国家或区域的生产消费活动是否处于当地生态系统承载力范围内提供定量的依据。

在生态足迹指标计算中, 各种资源消费项目被折算为耕地、草地、林地、化石燃料用地和水域等类型, 由于这各类生物生产土地的生态生产力能力差异很大, 计算出的各类生物生产土地面积不能直接相加, 因此必须对每种生物生产土地面积乘以均衡因子, 以转化为统一的、可比较的生物生产土地面积, 其计算公式如下<sup>[5]</sup>:

$$ef = \sum_{j=1}^n r_j \times a_j \quad (2)$$

式中,  $ef$  为均衡后的人均生态足迹,  $r_j$  为均衡因子,  $a_j$  为人均各类生物生产土地面积。 $j$  表示不同的生物生产土地类型。

1.2 生态承载力(Ecological Capacity)模型

在生态足迹方法中,生态承载力是指一个区域实际提供给人类的所有生物生产土地面积(包括水域)的总和<sup>[6]</sup>。该定义实现了用同一指标——生物生产土地面积来表示和评价生态足迹和生态承载力,使生态承载力与生态足迹具有可比性。由于同类生物生产土地面积的生产力在不同国家或地区之间是存在差异的,因而不同国家或地区的同类生物生产土地面积是不能直接进行对比的,需要进行调整后才能对比。为解决这一问题,1997 年 Wacker-nagel 引入了产量因子(yield factor)的概念<sup>[4]</sup>。产量因子表示某个国家或地区的某种生物生产土地的平均生态生产力与同类土地的世界平均生态生产力之间的比率。由于产量因子的数值与不同地区或国家的土地的生态生产力有关,所以,在计算特定区域的生态承载力时,为了数据的准确性,需要计算该区域自己的产量因子。将区域现有的耕地、草地、林地、建筑用地等物理空间的面积乘以相应的均衡因子和产量因子,就可以得到该地区基于世界平均生态生产力的均衡生物生产土地面积,即生态承载力。可见,一旦某区域的均衡因子和产量因子被确定,则该区域的生态足迹和生态承载力就能够被转换成相同的度量单位而进行比较。生态承载力计算公式如下<sup>[5]</sup>:

$$ec = \sum_{j=1}^n b_j \times r_j \times y_j \tag{3}$$

式中,  $ec$  为人均生态承载力  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,  $b_j$  为实际人均占有的第  $j$  类生物生产土地面积,  $r_j$  为均衡因子,  $y_j$  为产量因子。

此外按 WCED 的报告《我们共同的未来》所建议的,应该留出 12% 的生物生产面积以保护生物多样性,因此,在生态承载力计算时应扣除 12% 的生物多样性保护面积。

生态足迹理论与生态承载力理论结合,便可产生明晰的关于人类生态经济系统可持续发展状态的判断。可用下述公式表示<sup>[7]</sup>:

$$esd = ec - ef \tag{4}$$

式中,  $esd$ (ecological sustainable development) 为生态经济系统可持续发展状态,  $ec$  为区域生态承载力,  $ef$  为区域生态足迹。当  $esd > 0$  时为生态盈余;当  $esd = 0$  时为生态均衡;当  $esd < 0$  时为生态赤字。

2 宁夏生态足迹和生态承载力计算

本研究以宁夏 1998~2005 年为研究的主时间段,为了更能反映宁夏生态足迹的变化态势,还将

1980、1985、1990、1995 年的生态足迹进行了计算,依此来探讨宁夏整个生态足迹变化的趋势。宁夏生态足迹的计算由两部分组成:其一是生物资源的消费,其二是能源的消费。生物资源的消费分为以耕地为主要产出的农产品、以草地为主要产出的动物产品、水域产出的水产品及以林地为主要产出的木材和水果等四大类。生物资源生物生产面积的折算,直接采用联合国粮农组织 1993 年计算的有关生物资源的世界平均产量资料<sup>[8]</sup>(采用这一公共标准主要是为了使计算结果可以进行国与国、地区和地区之间的比较),用宁夏不同物品的消费量除以该消费品生物生产土地的全球平均产量,再除以宁夏当年的人口,就得到了相应年份的人均生物资源消费土地生产面积,然后乘以每类对应的均衡因子得到宁夏不同消费品的人均生态足迹(表 1)。

能源消费主要包含煤炭、石油、天然气和电力四类。计算足迹时将能源的消费转化为化石燃料生产土地面积,即吸纳化石燃料燃烧所产生的  $\text{CO}_2$  所需要的生物生产性土地面积。将能源消费量乘以全球平均能源折算系数,再将其除以全球平均能源足迹,就得到了宁夏的化石燃料生态足迹(表 1)。

根据宁夏人均实际占有的耕地、草地、林地、建筑用地和水域运用模型(3)计算出宁夏不同年份的生态承载力,在计算生态承载力的时候,还必须扣除 12% 的生物多样性保护面积(表 2)。由于现实中绝大多数区域并没有设置用于吸收化石能源类  $\text{CO}_2$  排放的功能性土地,故计算中未考虑。

本文研究所用数据均来自各年份的《宁夏统计年鉴》、《中国统计年鉴》,并根据需求进行过计算。

3 结果与分析

3.1 生态足迹/承载力变化分析

宁夏的生态足迹计算结果显示,从 1980~2005 年,宁夏的人均生态足迹由  $0.61 \text{ hm}^2$  增加到了  $2.39 \text{ hm}^2$ ,增加了 3.93 倍,除了从 1990~1995 年期间,生态足迹有所降低以外,其余期间均处于增长趋势(图 1)。在 1980~2005 年中,草地、化石能源和耕地的足迹始终占总生态足迹的主要部分,一直处于 95% 以上,其中 1980 年达到了 99.1%(图 2)。这说明草地、化石能源和耕地的足迹为宁夏这些年来人类消费的主要生物生产土地类型。从 1980~2005 年,各类型生态足迹都有不同程度的增加,增长幅度依次为水域(2005 是 1980 的 118.3 倍)、草地(8.24 倍)、林地(7.42 倍)、化石燃料用地(6.61 倍)和耕地(1.34 倍),人均总生态足迹增加 5.52 倍。可以看

出,在这 25 年中,水产品、水果、牧草地产出的动物产品(肉、奶、蛋、蜜等)和能源产品消费增量很大,而耕地产出的粮食产品消费增量不大。这说明,这些年来,人们生物消费结构发生了很大的变化,人们的生活需求已经不单单只重视基本的食物消费,而更侧重于提高生活质量的食物消费,如肉、奶、蛋及水果等。这与我国从 1978 年改革开放以来,经济快速发展,人民生活质量大幅度提高的趋势一致。

表 1 1980~2005 年宁夏回族自治区各类型生物资源、能源足迹(hm<sup>2</sup>)

Table 1 Biological resources and energy footprint in Ningxia from 1980 to 2005

| 项目<br>Items                               | 年份 Year |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                           | 1980    | 1985   | 1990   | 1995   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   |
| 小麦 Wheat                                  | 0.0482  | 0.0515 | 0.0610 | 0.0490 | 0.0637 | 0.0525 | 0.0490 | 0.0541 | 0.0613 | 0.0475 | 0.0499 | 0.0485 |
| 玉米 Corn                                   | 0.0083  | 0.0125 | 0.0294 | 0.0433 | 0.0676 | 0.0722 | 0.0539 | 0.0613 | 0.0665 | 0.0753 | 0.0730 | 0.0742 |
| 稻谷 Rice                                   | 0.0321  | 0.0368 | 0.0425 | 0.0328 | 0.0427 | 0.0441 | 0.0410 | 0.0400 | 0.0419 | 0.0233 | 0.0325 | 0.0373 |
| 薯类 Tubers                                 | 0.0014  | 0.0008 | 0.0014 | 0.0016 | 0.0030 | 0.0036 | 0.0023 | 0.0028 | 0.0022 | 0.0031 | 0.0036 | 0.0037 |
| 豆类 Beans                                  | 0.0066  | 0.0081 | 0.0064 | 0.0054 | 0.0091 | 0.0092 | 0.0056 | 0.0056 | 0.0094 | 0.0080 | 0.0076 | 0.0054 |
| 油料 Oil crops                              | 0.0519  | 0.0069 | 0.0072 | 0.0059 | 0.0086 | 0.0103 | 0.0068 | 0.0070 | 0.0103 | 0.0122 | 0.0127 | 0.0110 |
| 蔬菜 Vegetable                              | 0.0007  | 0.0015 | 0.0080 | 0.0095 | 0.0121 | 0.0116 | 0.0151 | 0.0149 | 0.0158 | 0.0166 | 0.0157 | 0.0171 |
| 瓜果 Melon                                  | 0.0005  | 0.0010 | 0.0017 | 0.0012 | 0.0027 | 0.0024 | 0.0028 | 0.0036 | 0.0039 | 0.0046 | 0.0043 | 0.0036 |
| 猪肉 Pork                                   | 0.0537  | 0.0793 | 0.1185 | 0.1663 | 0.2075 | 0.2185 | 0.2276 | 0.2412 | 0.2452 | 0.2482 | 0.2337 | 0.2419 |
| 牛肉 Beef                                   | 0.0024  | 0.0082 | 0.0354 | 0.1329 | 0.1483 | 0.1662 | 0.1807 | 0.2074 | 0.2244 | 0.1955 | 0.2400 | 0.2645 |
| 羊肉 Mutton                                 | 0.0310  | 0.0593 | 0.1074 | 0.1014 | 0.1363 | 0.1408 | 0.1801 | 0.2076 | 0.2372 | 0.2883 | 0.3125 | 0.3255 |
| 禽肉 Poultry                                | 0.0016  | 0.0042 | 0.0139 | 0.0422 | 0.0587 | 0.0691 | 0.0747 | 0.0792 | 0.0877 | 0.0807 | 0.0798 | 0.0809 |
| 蛋类 Egg                                    | 0.0025  | 0.0054 | 0.0117 | 0.0190 | 0.0304 | 0.0326 | 0.0342 | 0.0386 | 0.0396 | 0.0375 | 0.0332 | 0.0328 |
| 奶类 Milk                                   | 0.0022  | 0.0062 | 0.0174 | 0.0546 | 0.0675 | 0.0076 | 0.0848 | 0.0976 | 0.1072 | 0.1325 | 0.1561 | 0.1933 |
| 蜂蜜 Honey                                  | 0.0023  | 0.0021 | 0.0022 | 0.0022 | 0.0024 | 0.0027 | 0.0029 | 0.0029 | 0.0036 | 0.0022 | 0.0029 | 0.0033 |
| 羊毛、羊绒<br>Wool, pashm                      | 0.0562  | 0.0568 | 0.0605 | 0.0531 | 0.0604 | 0.0641 | 0.0695 | 0.0868 | 0.0935 | 0.0997 | 0.1104 | 0.1086 |
| 水产 Aquatic products                       | 0.0003  | 0.0021 | 0.0085 | 0.0142 | 0.0191 | 0.0244 | 0.0259 | 0.0284 | 0.0329 | 0.0344 | 0.0373 | 0.0379 |
| 木材 Wood                                   | 0.0029  | 0.0106 | 0.0262 | 0.0103 | 0.0068 | 0.0022 | 0.0011 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 |
| 水果 Fruit                                  | 0.0016  | 0.0024 | 0.0034 | 0.0065 | 0.0083 | 0.0096 | 0.0100 | 0.0086 | 0.0084 | 0.0351 | 0.0333 | 0.0334 |
| 煤炭 Coal                                   | 0.1415  | 0.1497 | 0.1969 | 0.0255 | 0.2430 | 0.2374 | 0.2434 | 0.2594 | 0.2974 | 0.4909 | 0.7511 | 0.8175 |
| 石油 Petroleum                              | 0.0124  | 0.0293 | 0.0531 | 0.0587 | 0.0741 | 0.0749 | 0.0792 | 0.0810 | 0.0887 | 0.0862 | 0.1477 | 0.1297 |
| 天然气 Natural gas                           | 0.0000  | 0.0017 | 0.0009 | 0.0017 | 0.0017 | 0.0017 | 0.0018 | 0.0018 | 0.0031 | 0.1010 | 0.0787 | 0.0843 |
| 电力 Electric                               | 0.0023  | 0.0032 | 0.0059 | 0.0026 | 0.0029 | 0.0031 | 0.0034 | 0.0030 | 0.0031 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0004 |
| 人均生态足迹<br>Ecological footprint per capita | 0.6070  | 0.6174 | 0.8929 | 0.7819 | 1.2652 | 1.2476 | 1.2759 | 1.3834 | 1.5324 | 1.8686 | 2.2755 | 2.3858 |

表 2 1980~2005 年宁夏回族自治区人均生态承载力(hm<sup>2</sup>)

Table 2 Ecological capacity per capita in Ningxia from 1980 to 2005

| 年份 Year                                 | 1980   | 1985   | 1990   | 1995   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   |
|-----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 林地 Forest                               | 0.1823 | 0.1297 | 0.1027 | 0.0703 | 0.0727 | 0.0816 | 0.0912 | 0.0978 | 0.1049 | 0.1133 | 0.1192 | 0.1240 |
| 水域 Water area                           | 0.0074 | 0.0070 | 0.0062 | 0.0057 | 0.0055 | 0.0056 | 0.0053 | 0.0052 | 0.0052 | 0.0051 | 0.0051 | 0.0051 |
| 耕地 Arable land                          | 0.6765 | 0.6360 | 0.5716 | 0.5246 | 0.5032 | 0.4910 | 0.4662 | 0.4347 | 0.4153 | 0.3960 | 0.3767 | 0.3701 |
| 草地 Pasture                              | 0.3372 | 0.2927 | 0.2370 | 0.1866 | 0.1869 | 0.1903 | 0.1936 | 0.1978 | 0.2026 | 0.2043 | 0.2049 | 0.2055 |
| 建筑用地 Building land                      | 0.0165 | 0.0193 | 0.0278 | 0.0264 | 0.0312 | 0.0348 | 0.0391 | 0.0432 | 0.0471 | 0.0520 | 0.0557 | 0.0587 |
| 人均承载力<br>Ecological capacity per capita | 1.2199 | 1.0846 | 0.9453 | 0.8135 | 0.7996 | 0.8034 | 0.7955 | 0.7786 | 0.7750 | 0.7707 | 0.7616 | 0.7635 |

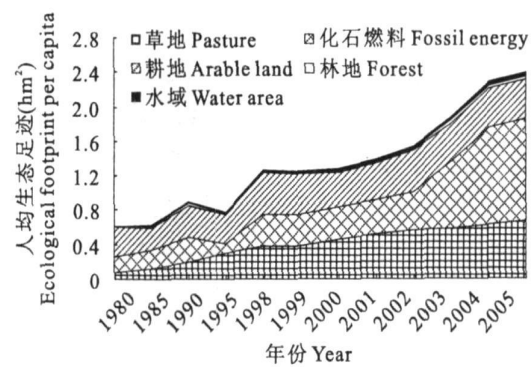


图 1 宁夏 1980~2005 人均生态足迹变化

Fig.1 Ecological footprint per capita of Ningxia from 1980 to 2005

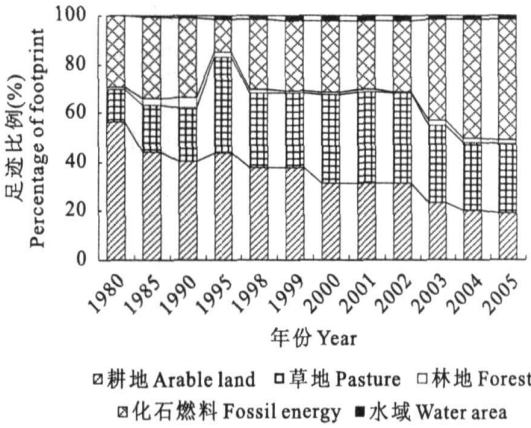


图 2 不同类型生态足迹的比例

Fig.2 The proportion of different kind of ecological footprint

生态承载力的计算结果显示,在这 25 年中,生态承载力的供给主要是耕地和草地, 占总生态承载力的 75% 以上, 它们为宁夏人口提供了绝大多数的生物生产量。耕地和草地对生态承载力的贡献在 1995 年以前处于增加态势, 由 1980 年 83.1% 增加到 1995 年的 87.4%, 但从 1995 年以后开始下降, 到 2005 年降低到 75.4%。相比之下, 水域的承载能力非常脆弱。这也说明了宁夏处在一个农牧交错带地区, 主要以农牧业为主, 且宁夏水资源短缺的现实。从总的生态承载力来看, 1995 年以前处于降低趋势, 由 1980 年的 455.9 万  $\text{hm}^2$  降低到 1995 年的 416.8  $\text{hm}^2$ , 而 1995 年后开始增加, 到 2005 年达到 455.2  $\text{hm}^2$ , 基本恢复到 1980 年的水平。但宁夏的人口也一直处在增长状态, 因此宁夏的人均生态承载力却一直在逐渐降低, 由 1980 年的 1.22  $\text{hm}^2$  降低到 2005 年的 0.76  $\text{hm}^2$ 。这也给人们警示, 随着宁夏人口的增长, 宁夏这一区域实际能提供给每个人的生物生产土地面积在降低(图 3)。

3.2 宁夏生态环境状况与可持续发展分析

通过对比这 25 年来的生态足迹和生态承载力, 计算出生态经济系统可持续发展状态(*esd*), 即生态赤字状况(图 4)。从中可以看出 1995 年是一个转折点, 在 1995 年之前, 生态足迹小于生态承载力, 即未出现生态赤字, 宁夏地区人类对自然生态系统的压力处于该地区所提供的生态承载力范围内, 生态系统是安全的, 经济发展表现为可持续状态。但从 1980~1995 年, 生态经济系统可持续发展状态一直处于恶化状态, 即 *esd* 一直处于降低趋势。从 1995 年以后, 生态足迹开始大于生态承载力, 即出现生态赤字, 这表明宁夏地区的人类对该地区的自然生态系统所提供的产品和服务的需求超过自然供给。为了满足需求, 人们会采取过度开发本地资源和大量进口产品及服务。这都会产生一定的外部性效果, 这样宁夏地区的生态系统就存在不安全性, 该地区当前的经济发展也是不可持续的。非常值得注意的是, 从 2002 年开始, 宁夏的生态足迹突然增大, 这就进一步加快了该地区生态环境恶化的步伐。

宁夏历年生态足迹的计算已经足够显示宁夏目前经济发展与生态环境保护之间存在的巨大矛盾。持续的经济发展的消除贫困、促进社会福利增加的根本性措施, 但经济的发展同时也可能导致生态环境的持续恶化, 并最终影响未来经济发展目标的实现; 要达到经济发展与保护生态环境双重目标, 就必须改变目前的经济发展方式, 一方面通过技术更新, 采用那些能够节约资源的新技术来降低生产过程中的资源消耗, 加大投资进行土壤改良、精耕细作、人工培育或其它环保措施来提高资源生态承载力, 使土地具有更高的生产力; 另一方面倡导节俭的生产观和消费观, 提高人们的生态环境保护意识, 减少对资源的浪费和过度消费。

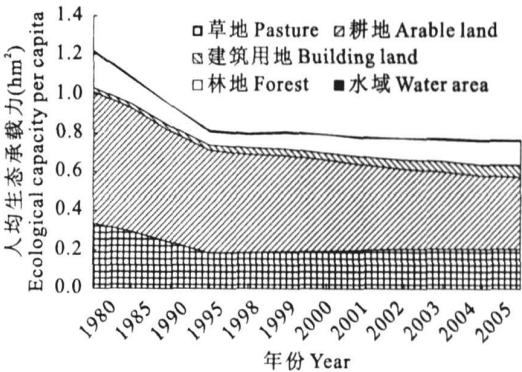


图 3 宁夏 1980~2005 人均生态承载力变化

Fig.3 Ecological capacity per capita of Ningxia from 1980 to 2005

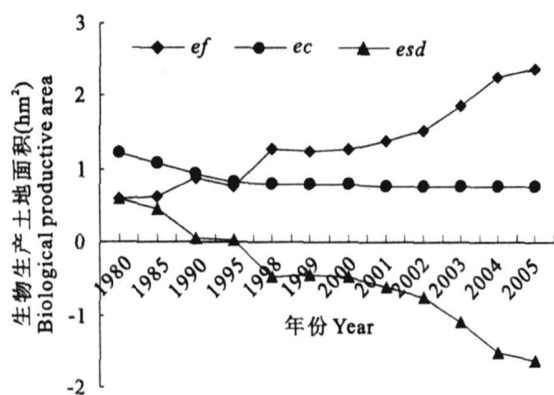


图 4 生物生产土地面积供需情况

Fig. 4 Supply and demand of biological productive area

虽然向生态系统投资会减少经济系统中其它投资的可用资金,从而在一定程度上影响经济增长,但是这种影响是短期的,从长期看这种投资是有益的,并且也是必需的。因为生态系统存在一定的临界性特征,只能承受一定程度的资源生态赤字,超过这个范围就可能发生生态系统崩溃,也势必导致经济系统的崩溃。

宁夏生态系统脆弱,已严重制约宁夏经济、社会的可持续发展。生态的持续发展是宁夏经济、社会可持续发展的基础,只有在良好的生态环境中才能持续发展。宁夏生态足迹和生态承载力的主要供给部分都有耕地和草地,因此在今后的发展中,宁夏必须对耕地和草地进行最大限度地保护。如果耕地和草地大面积减少,势必影响到宁夏整个生态系统的安全,也势必影响到宁夏地区的经济社会发展。保护耕地、合理开发及持续利用宝贵的土地资源和恢复草原植被,扩大草原面积,发挥植被的生态保护作用,已变得非常紧迫,是在宁夏经济快速发展时期必须考虑的一个重大问题。

## 4 结 论

生态足迹是一种能较好反映区域经济社会发展是否可持续性的模型。利用该模型,通过计算宁夏的生态足迹和生态承载力,定量地研究了宁夏的生

态环境状况及经济社会发展的可持续性,得出以下几点结论:

1) 从 1980~2005 年,宁夏的人均生态足迹除了在 1990~1995 年期间有所降低以外,其余期间均处于增长趋势;人均生态承载力一直在降低。

2) 1995 年是宁夏生态经济系统可持续发展状态的转折点。在此之前,宁夏生态承载力大于生态足迹,而从 1995 年以后,宁夏出现生态赤字。

3) 经济的快速发展和人口的增长,已经给宁夏地区带来了巨大的生态压力,在今后的经济社会发展中,必须注重生态系统的安全,否则将会导致生态、经济这两个系统的共同崩溃。

此外,本研究还存在一定的不足。生态足迹理论从提出到现在,只有短短的 10 余年时间,其理论还在进一步的完善之中;本研究由于数据不足,对在生物资源和能源的消费额中贸易部分未进行调整,但宁夏作为小省区,贸易部分对生物资源和能源的消费额较小,且不会影响到生态足迹随时间的变化趋势。

## 参 考 文 献:

- [1] 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.
- [2] 兰叶霞,赵先贵.咸阳市 2003 年生态足迹分析[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):20-25.
- [3] 张青峰,吴发启,田 冬,等.陕西省 2003 年生态足迹计算分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):35-40.
- [4] Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective[J]. Ecological Economics, 1997, 20:3-24.
- [5] 赵先贵,肖 玲,兰叶霞,等.陕西省生态足迹和生态承载力动态研究[J].中国农业科学,2005,38(4):746-753.
- [6] 冯 奇,吴胜军,蔡述明.黄石市土地生态承载力分析[J].华中农业大学学报(社会科学版),2006,(1):38-43.
- [7] 马彩虹,赵先贵,兰叶霞,等.基于生态足迹的县域生态经济可持续发展研究——以宁夏西吉县为例[J].干旱区研究,2006,23(2):359-363.
- [8] 徐中民,程国栋,张志强.生态足迹方法:可持续定量研究的新方法——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.

Study on sustainable development of Ningxia based  
on the ecological footprint analysis method

DU Ling-tong<sup>1,2,3</sup>, GAO Gui-ying<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Qian-jin<sup>2,3</sup>

(1. Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China of Ministry of Education, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. Research Center for Western Development, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 3. International Joint Research Institute of Ningxia University, China & Shimane University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

**Abstract:** Ecological footprint analysis is a new method for measuring regional economic sustainable development. The ecological footprint and ecological capacity of Ningxia Hui Autonomous Region in 1980, 1985, 1990, 1995 and 1998~2005 are calculated using this method. The results show that the ecological footprint per capita increased from 0.61 hm<sup>2</sup> to 2.39 hm<sup>2</sup> except the period of 1990~1995 in which it reduced. The pasture, fossil energy land and arable land are the main parts of ecological footprint. The ecological capacity per capita is reduced year by year from 1.22 hm<sup>2</sup> to 0.76 hm<sup>2</sup>. The arable land and pasture are the main parts of ecological capacity. Before 1995, the ecological capacity was higher than the ecological footprint and the economic development was sustainable. But, the ecological deficit arose in 1995. The results show that the economic developing model of Ningxia is not sustainable after 1995.

**Key words:** ecological footprints; ecological capacity; sustainable development; ecological deficit; Ningxia

(上接第 193 页)

The biogas production efficiency of crop straws at different temperature

CHU Li-li<sup>1,3</sup>, YANG Gai-he<sup>2,3</sup>, ZHANG Cui-li<sup>1,3</sup>, REN Guang-xin<sup>2,3</sup>, FENG Yong-zhong<sup>2,3</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The research adapted controllable constant-temperature fermented equipment designed by ourselves, and selected wheat straw, rice straw and corn straw for fermented materials, chose 5℃ as a step-length and did the study of biogas fermentation at the temperature of 10℃, 15℃, 20℃, 25℃, 30℃, 35℃ and 40℃. The results showed that 3 kinds of raw materials can all produce biogas normally at 7 temperature grades, the biogas production efficiency increased as the temperature increased. The biogas production efficiency was the best at 40℃ (the max value of wheat straw biogas production was 2 520.0 mL, the rate of TS was 187.1 mL/g; the max value of rice straw biogas production was 21 000.0 mL, the rate of TS was 195.0 mL/g; the max value of corn straw biogas production was 2 395.0 mL, the rate of TS was 228.5 mL/g;), while the biogas production efficiency was the worst at 10℃ (the max value of wheat straw biogas production was 377.5 mL, the rate of TS was 20.1 mL/g; the max value of rice straw biogas production was 305.0 mL, the rate of TS was 17.2 mL/g; the max value of corn straw biogas production was 252.5 mL, the rate of TS was 15.0 mL/g;).

**Key words:** straw; anaerobic fermentation; biogas production efficiency; fermentation period