辽宁师范大学

硕士学位论文

# 基于生态足迹的山西省生态环境质量评价研究

姓名：夏秀红

申请学位级别：硕士

专业：自然地理学

指导教师：尹怀宁

20080501

# 摘 要

山西省地处我国中部，是一个以煤炭资源开发为主导的能源重化工基地，改革开放以来,大规模能源系列化工建设，为地区经济发展和全国国民经济建设做出了重要贡献，然而,大规模、高强度、大面积的开采和各类高耗能工业的迅速发展,也使得全省的生态环境急剧恶化,导致生态环境脆弱、水土流失严重、水资源缺乏、人地矛盾紧张等一系列的问题，局部区域的环境污染和生态恶化对本省经济可持续发展和人民健康构成了威胁,并危及周边省份。因此,对山西省的生态环境质量进行评价有着重要意义。

本文在系统科学思想指导下，对生态足迹模型进行了理论剖析。在生态足迹产生的背景、模型构建的理论，以及生态足迹量计算方法研究的基础上，对山西省生态足迹量的计算模型进行了构建，用此模型进行了 1995-2005 年全省的生态足迹量计算，并以不同年份的生态足迹量为依据对山西省生态能力的可持续性进行了比较分析，明确了当前山西省生态环境所处的发展状态，为山西省社会经济可持续发展、以及政策制定提供科学依据。研究结果表明:

（1）山西省的生态足迹在 1995-2005 年中除个别年份外都呈上升趋势，且 11 年间一直存在生态赤字，也呈上升趋势，说明山西省呈现严重的环境不可持续状态。

（2）山西省的生态足迹中能源足迹是最大的，平均占到总足迹的 78.52%，其次是耕地足迹，平均占到总足迹的 12.62%。

（3）本文还分析了山西省 2005 年 11 个地市的生态足迹，的出各区域间生态环境恶化的区域差异，因而各地应采取因地制宜的改善措施。

（4）山西省目前存在的主要生态环境问题是：环境污染严重，加剧了生态失衡；矿山开发破坏严重；水土流失严重，土地质量下降；水资源短缺，浪费和污染严重；土地沙化严重，扬沙、沙尘暴频繁；植被稀疏，森林破坏严重。其主要原因是由于山西省长期依赖以煤炭及其相关产业为主体的单一产业结构模型的能源重化工基地的经济地位，生态蚕食长期积累的结果。

**关键词：生态环境；生态足迹；生态承载力；评价；山西省**

# Abstract

Shanxi Province, which is located in the central position of our country, has abundant the mineral resources, and it is the important heavy chemical base of energy of our country. Since the reform and open policy , the large-scale energy series chemical industry construction, has made the significant contributions for the local economic development and the nation national economy construction, however, with exploitation of large-scale, high-strength, big-area's to mineral resource and rapid development of each kind of height consumes energy industry, the ecological environment of entire province has worsened rapidly, which has caused a series of ecological environment problems, such as the ecological environment to be frail, the soil erosion is serious, the water resources is short, person field contradiction is strained, etc.. Those have serious restricted economy and the social development in Shanxi. Aggravation of part area ecological environment threaten this province economy sustainable development and the people's health, and endanger peripheral province, therefore, it contains important meaning to carry on the appraisal to ecological environment quality of Shanxi Province.

Under the guidance of the theory of systemization, the author states the theory of Ecological Footprint method. Based on the model of Ecological Footprint, the paper has structured the calculation model of the ecological footprint quantity in Shanxi, has carried on calculate to the ecological footprint amount of the whole province from 1995 to 2005, and comparative analysis the sustainable development ability of the ecological environment in Shanxi based on ecological footprint amount of different year correctly. It has cleared about the sustainable development state of ecological environment which current Shanxi. As well as, it offers policy guidance and scientific basis for social economy sustainable development of Shanxi.

Through analysis of ecological footprint quantity, the paper draws the following conclusions:

（1）The result shows during 11 years except very few years the ecological footprint and the ecological deficit are increasing. Such growth in ecological footprint and deficit means that there is a greater pressure on ecosystem.

（2）In six lands, the footprint of fossil energy land accounts for average78.52%. Secondly，the footprint of cultivate land footprint accounts for average12.62%.

（3）The paper analyzes the ecological footprint of 11 districts in 2005 respectively, which result shows the regional difference of ecological environment deterioration，thus , each district should adopt appropriate measures to improve local conditions.

（4）In Shanxi, the main ecological environment question includes the following several spots at present: firstly, environmental pollution was serious, which intensifies the ecology to be unbalanced; secondly, the mine exploitation destruction is serious; thirdly, the soil erosion is serious, the land quality drops; next, the water resources is short, the waste and the pollution are serious; once more, the land desertification is serious, the sand blowing, the sand storm are frequent; finally, the vegetation is sparse, the forest destruction is serious. The primary cause due to long-term reliance on economic status of energy and heavy chemical industry as the main body of a single model of industrial with coal and related industries, results of ecological erode long-term accumulation.

Key words：Ecological environment; Ecological Footprint; Ecological capacity; Ecological deficit; Shanxi province

# 学位论文独创性声明

本人承诺：所呈交的学位论文是本人在导师指导下所取得的研究成果。论文中除特别加以标注和致谢的地方外，不包含他人和其他机构已经撰写或发表过的研究成果，其他同志的研究成果对本人的启示和所提供的帮助，均已在论文中做了明确的声明并表示谢意。

学位论文作者签名：夏秀红　　日　　期：2008.5.30

# 学位论文版权的使用授权书

本学位论文作者完全了解辽宁师范大学有关保留、使用学位论文的规定，及学校有权保留并向国家有关部门或机构送交复印件或磁盘，允许论文被查阅和借阅。本文授权辽宁师范大学，可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库并进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。保密的学位论文在解密后使用本授权书。

学位论文作者签名：夏秀红　　指导教师签名：尹松宇

日　　期：2008.6.5

# 第一章 引言

## 1.1 问题的提出

山西省是一个以煤炭资源开发为主导的能源重化工基地，改革开放以来，大规模能源系列化工建设，为地区经济发展和全国国民经济建设做出了重要贡献。然而，大规模、高强度、大面积的开采和各类高耗能工业的迅速发展，也使得全省的生态环境急剧恶化，导致出现生态环境脆弱、水土流失严重、水资源缺乏、人地矛盾紧张等一系列问题，这些问题已经成为制约山西省快速发展的瓶颈问题。据《2005 年中国可持续发展战略报告》的有关数据显示，山西省可持续发展总能力排在全国第 25 位，环境支持系统排在第 30 位，生存支持系统排在第 30 位，发展支持系统排在第 26 位，可持续发展能力明显不足。面对当前环境污染、生态破坏严重的状况，以及未来经济发展将带来的新的环境压力，山西省要走可持续发展的道路，当务之急必须把环境保护摆在更加重要的位置，采取有效的措施促进经济社会与环境保护的协调发展。

## 1.2 研究的目的及意义

生态环境是生态系统与环境系统的有机结合体，由自然环境和人为环境两大系统构成，是人类赖以生存和发展的基础[1,2]。环境质量是环境系统客观存在的一种本质属性，可以用定性和定量的方法来描述环境系统所处的发展状态[3]。生态环境质量可理解为在特定的区域内生态环境对人类及动植物生存的适宜程度以及对当地社会经济发展的制约程度，具有很强的地域性。近年来，由于人口剧增、经济快速发展以及对资源不合理的开发与利用，生态平衡遭到破坏，生态环境日益恶化，严重威胁着人类的生存与发展。当务之急，只有协调好区域经济发展与环境保护之间的关系，使生态环境的整体功能得以正常发挥，才能为人类的生存与发展提供良好的环境。因此，生态环境质量评价显得尤为重要。通过对特定区域生态环境质量的优劣程度及其影响进行评价，其目的就在于通过了解区域生态环境质量状况，找出影响因素，制定根本对策，使生态环境步入良性循环，促进区域的可持续发展。

山西省地处我国中部，是连接东部沿海经济发达地区与西部内陆欠发达地区的桥梁，其能源和原材料优势支持着东部的发展，又是现代科技、文化、

信息、管理等软件资源和商品物资传向西北的中转站，起着“承东启西”的作用[4]。山西省又是我国重要的能源重化工基地，发展经济的同时，生态环境也遭到了严重破坏，局部区域的环境污染和生态恶化对本省经济可持续发展和人民健康构成了威胁，并危及周边省份。因此，对山西省的生态环境质量进行评价有着重要意义。

## 1.3 研究内容与方法

本文采用生态足迹分析方法，通过开展时间序列的生态足迹计算，分析评价了山西省的生态可持续发展能力。

总体来说，本文将通过三大部分来进行。第一部分，是对生态环境质量评价的概述，主要包括：生态环境质量评价的概念、分类和评价方法。第二部分，主要是对生态足迹模型的评介，主要包括对其概念、国内外研究进展及计算方法等的介绍。第三部分，是本文的核心内容，即对山西省生态环境质量评价的研究。首先，运用生态足迹理论计算了山西省2005年的生态足迹，后依次计算了山西省1995-2005年11年的生态足迹，并根据计算结果动态的分析了山西省的生态环境状况；其次，又对山西省各地市的生态足迹进行了计算、分析，进而得出山西省各地市所处的生态可持续状态(生态赤字/盈余)；最后，总结了山西省目前所存在的主要生态环境问题，并分析其成因，提出相应对策。

## 1.4 研究特色与创新

本文运用生态足迹理论对山西省的生态环境质量进行了系统的评价研究，从一种全新的视角计算和分析了山西省的生态环境可持续状况与变化趋势，丰富了生态足迹的案例，有利于区域间的比较研究。同时，运用生态足迹分析法探讨影响生态环境变化的主导因素，对于研究缓和生态赤字，加强生态安全，倡导人们改变消费方式等都具有一定的现实意义。

# 第二章 生态环境质量评价概述

## 2.1 生态环境质量评价的基本概念

由于近年来“生态环境”一词已作为表征人类生存所依托的综合自然条件的专用名词，由此而推论，“生态环境质量评价”指在一个具体的时间或空间范围内环境的总体或部分环境要素的组合体对人类生存及社会经济持续发展适宜程度的度量。即根据合理的指标体系和评价标准，使用恰当的方法，评定某区域生态环境质量的优劣及其影响关系[5]。

生态环境质量评价的本质在于生态环境评价是生态环境质量价值的反映。因而生态环境评价的根本目的就是检测和评估特定区域生态环境系统结构在人类和自然因素共同作用下的变化状态，确定各因素影响生态环境质量程度的大小，从而来确定各因素的影响力的大小，最后用动态的环境质量评价方法来评定区域生态环境质量，探讨生态系统脆弱的因子，建立生态环境质量评价的指标体系和评价方法，评价区域生态质量及发展趋势，为生态系统的保护和恢复提供依据。

生态环境质量评价不同于环境质量评价。环境质量评价是对环境素质优劣的评价。它往往以国家制定的环境标准和污染物在环境中的本底值作为依据，将环境素质的优劣转化为可定量的可比数据，最后将这些定量的结果划分等级，以标明环境受污染的程度。所以，环境质量评价的本质是环境污染评价，其重点是环境质量现状评价和环境影响评价。而生态环境质量评价则是对包括人类在内的生物有机体与自然环境综合作用的结果进行的综合性评价，是协调区域经济开发与环境保护之间的关系，实现区域可持续发展的重要手段。

生态环境质量评价的意义在于，了解区域生态环境现状及其演化规律，探讨生态系统脆弱的因子，建立生态质量评价的指标体系和评价方法，评价区域生态环境质量及发展趋势，为生态系统保护和恢复提供理论依据。

## 2.2 生态环境质量评价分类[6]

生态环境质量评价是一个统称，它可以从不同的角度被分成许多类型。从时间上划分可以分为回顾评价、现状评价、影响评价等。

从空间上划分可以分为项目评价、区域(流域)生态环境评价、全球生态环境评价、战略环境评价等。

从要素上可以分为大气环境评价、水环境评价、土壤环境评价等。

从内容上可以分为生态系统安全评价、生态健康影响评价、生态足迹评价、生态经济影响评价、生态影响评价、风险评价、美学景观评价等。

## 2.3 生态环境质量评价方法简述

在生态环境质量评价工作中，评价方法作为其必不可少的手段而具有重要意义。国内外目前应用的生态环境质量评价方法，主要有以下几种：

（1）综合评价法:综合评价法是进行生态环境质量综合评价中运用较多的一种方法，此法的具体应用是层次分析法(AHP 法)[7]。它是模拟人脑对客观事物的分析与综合过程，将定量分析与定性分析有机结合起来的一种系统分析方法。层次分析法的应用研究很多，姚建[8]、朱晓华[9]等将层次分析法运用于生态环境质量评价中。

（2）指数评价法:指数评价法从监测点的原始监测数据统计值与评价标准之比作为分指数，然后通过数学综合作为环境质量评定尺度。近几十年来，这一方法在环境质量评价中得到了广泛的应用，并有了很大发展。早期国外应用的指数法有美国的NWF环境质量指数和加拿大的“总环境质量指数”(EQI)等[10]，目前最常用的是综合指数法，应用此法，可以体现生态环境评价的综合性、整体性和层次性。

（3）模糊评价法:环境质量具有精确与模糊、确定与不确定的特性，所以环境质量评价中又引人了模糊评价方法[11,12]。常采用的模糊评价法有模糊综合评价法、模糊聚类评价法等。徐福留等将模糊聚类和层次分析相结合，提出城市环境质量多级模糊综合评价法[13]。

（4）人工神经网络评价法:由于人工神经网络有类似人的大脑思维过程，可以模拟人脑解决某些模糊性和不确定性问题的能力。因此，利用人工神经网络对已知环境样本进行学习，获得先验知识，学会对新样本的识别和评价。李祚泳等开展了人工神经网络在环境科学中的应用。他将人工神经网络 B--P 模型应用于环境质量评价[14]。B--P 网络模型应用于环境质量评价，不需要对各评价指标权值大小做出人为规定，在学习过程中会自适应调整，评价结果具有客观性。另外，B--P 网络可以根据不同需要选取随意多个评价参数建立

环境质量评价模型，此方法具有很强的适应性。

（5）物元分析评价法:由于环境质量的单因子评价结果之间往往具有不相容性，利用关联函数可以取负值的特点，是评价与识别以及能全面地分析环境系统属于某评价等级集合的程度。物元评价法在构造环境标准物元矩阵和节域物元矩阵的基础上，通过计算待评价的区域环境对各评价等级的综合关联度,进行综合环境质量评价[15]。物元分析法的优点是有助于从变化的角度识别变化中的事物，运算简便，物理意义明确，直观性好；缺点是关联函数形式确定不能规范，难以通用。

（6）生态足迹( Ecological Footprint，简称 EF)法，它是一种基于生物物理量的可持续发展评价模式，该方法通过估算维持人类的自然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空间面积大小，并与给定人口区域的生态承载力进行比较，来衡量区域的生态环境可持续发展状态[16.17.18]。生态足迹模型具有易于理解和可操作性强的优点，已经成为一种较为流行的测度区域发展可持续性的定量方法。而生态足迹方法应用于生态环境质量评价方面并不常见，但由于生态足迹理论紧扣可持续发展理论，是涉及系统性，公平性和发展的一个综合指标。将生态足迹的计算结果与自然资产提供的生态服务能力进行比较，能反映在一定的社会阶段和一定的技术条件下，人们的社会经济活动与当时当地生态承载力之间的差距[19]，近而确定该地的生态环境处于一种什么样的状况，是否利于经济社会的可持续发展。因此本文的解析以生态足迹理论为基础。

除上述重要的评价方法外，人们还探讨了其他一些评价方法，如评分迭加法[20]、密切值法[21]、景观生态法、主分量法、灰色评价法、秩和比法(RSR)等。不过这些评价法有的仅适用于特定场合，其应用受到一定限制。

本文以山西省为研究区域背景,运用生态足迹模型，计算出山西省1995-2005 历年的生态足迹量。通过分析比较不同年份的生态足迹量，可以进一步了解山西省在各年份的生态发展状态，并定量描述出山西省所处的生态发展状态(可持续性或不持续性)，从而为山西省的生态环境可持续发展提供方向或政策导向。同时，也可为测度同类区域的可持续发展提供借鉴方法。

## 2.4 本文的技术路线

本文的技术路线，见图 2-1。

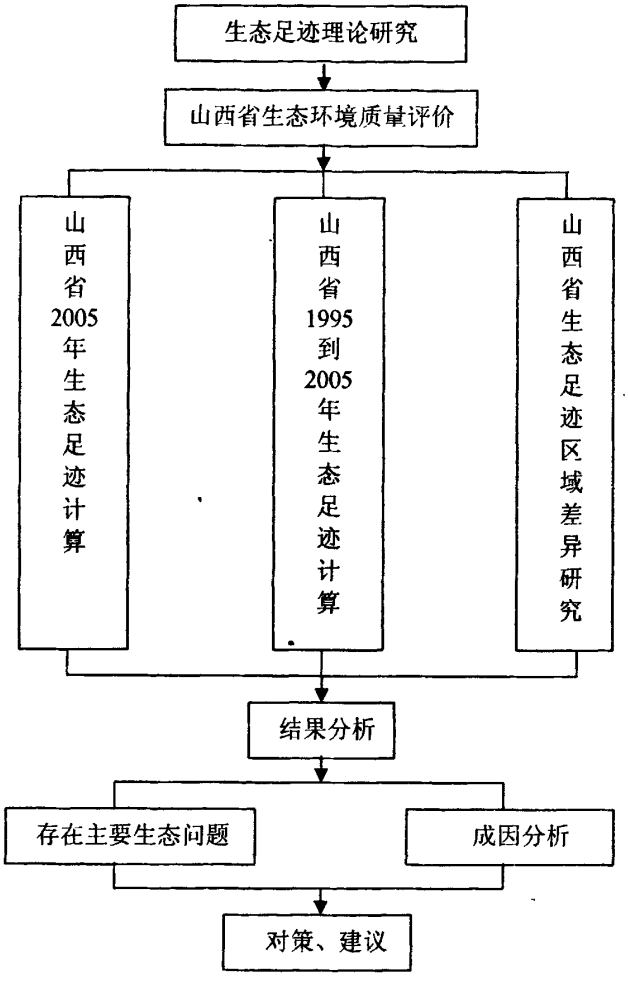


图 2-1 本文的技术路线

Fig.2-1 Analysis Structure of the Thesis

# 第三章 生态足迹理论研究

## 3.1 生态足迹概念的产生及内涵

从 20 世纪 70 年代早期起，不断有研究者提出警告：人口和消费的无节制增长是不可持续的。在这些研究报告中，最著名的如 Meadows 等的“增长的极限”，世界环境与发展委员会（WCED）的“我们共同的未来”和世界观察研究所的每年出版物“State of the World”。在这种情况下，迫切需要衡量人类使用自然系统提供服务功能的指标，许多科学家投身到这项研究活动中，从不同侧面提出了一些直观的、易于操作的可持续发展指标体系、定量评价方法、计算方法和理论模型。如世界银行的“国家财富”指标体系，Aaly 等的“可持续经济福利指标”，Christian 等的“可持续性的社会生态指标”，Constanza 等的“生态系统服务价值的评价”等。虽然这些指标体系、定量研究方法和模型已在一些国家和地区的可持续评价中得到应用，但仍存在某些不足。在此基础上，1992 年加拿大不列颠哥伦比亚大学社区和区域规划系 William Rees 教授首先提出了生态足迹（Ecological Footprint，简称 EF）概念，也译作生态痕迹、生态占用或生态基区。随后 William Rees 教授和他的学生 Mathis Wackernagel 博士于 1996 年提出具体生态足迹的分析方法。把生态足迹这一概念非常形象的比喻为：“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”[22]，它既反映了人类对地球环境的影响，也包含了可持续机制，如图 3-1 所示。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堕落、崩溃。

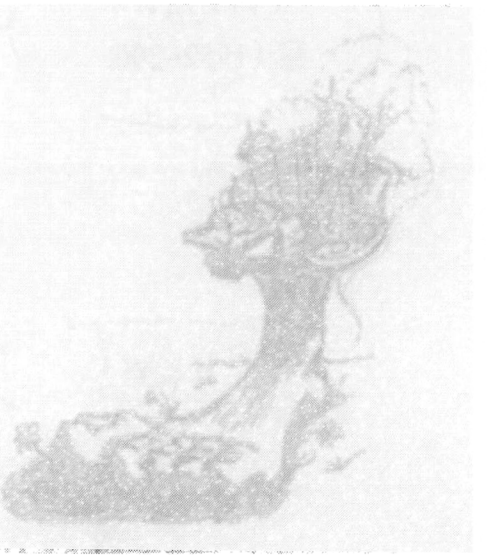

图 3-1 生态足迹形象示意图
Fig.3-1 Sketch map of EF

生态足迹概念的提出是基于这样一个思路[23]：任何人的生存都要与生态圈进行新陈代谢的交换，人们要从生态圈获取他生存和发展所需要的产品和

服务(这些产品和服务必然直接或间接地来自于生态圈)，并且要把自身的一切废弃物(包括生产和生活两方面)排放到生态圈中，对生态圈的这些索取与污染给自然生态系统造成了一定的压力。只要人类对自然的压力处于地球生态系统的承载力范围内，地球生态系统就是安全的，是可持续发展的；反之，就是非可持续发展的。

因此，生态足迹概念的内涵表现在:它是测量人类对自然生态服务的需求与自然所能提供的生态服务之间的差距。通过跟踪国家或区域的能源和资源的消费，将它们转化为提供这种物质流所必需的生物生产土地面积，并同国家和区域范围所能提供的这种生物生产土地面积进行比较，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，提供了定量的依据。通过生态足迹的计算和分析，能在全球和区域范围内比较自然资产的产出和人类的消费情况。

## 3.2 国内外研究进展

### 3.2.1 国外研究进展

在国际上，自 William Rees 1992 年提出生态足迹概念以来，有关围绕和涉及生态足迹概念、方法及其模型的研究纷纷开展。据统计[24]仅国际生态经济学会会刊 Ecological Economics 自 1996 年第 11 期发表生态足迹研究的文章以来，至 2004 年第 2 期，共发表有关生态足迹理论评述、区域实证、方法改善、行业应用的论文达 36 篇。Ecological Economics 在 2000 年第 3 期还以专刊形式集中讨论了生态足迹研究的理论价值和应用问题。2000 年起 WWF (World Wide Fund for Nature)和 RP (Redefining Progress )两大世界非政府机构分别每年和每两年公布一次部分国家的生态足迹研究结果，主要工业国家把生态足迹指标纳入官方指标体系，其经验也正在向发展中国家普及。主要从以下几方面对空间尺度展开应用研究：

(1) 全球尺度的应用研究

自 2000 年起，世界自然基金会(World Wide Fund for Nature ,WWF)等国际组织和 Global Footprint Network 分别对全球各国生态足迹进行了计算分析。其中,WWF 分别在《生命行星报告 2002》[25]和《生命行星报告 2004》[26]、Global Footprint Network 在《国家生态足迹和生物承载力帐户 2005 版》[27]

公布的 1999、2001、2002 年全球生态足迹和生物承载力数据为:1999 年全球生态足迹和生物承载力分别为 2.28 公顷和 1.90 公顷;2001 年分别为 2.2 公顷和 1.8 公顷;2002 年的结果同 2001 年大体相同。从当年的情况看,由于生态足迹大于生物承载力,全球处于生态赤字状态。全球依赖化石能源、矿藏等自然资本存量,在不可持续发展状态下运行。从动态看,2001、2002 年全球生态足迹虽有下降,但下降幅度少于生物承载力的下降幅度,说明经济社会发展的不可持续状态正在进一步恶化。

在生态足迹的动态测度方面《生命行星报告 2002》对 1961-1999 年生态足迹和生物承载力进行了长时间序列的计算,《生命行星报告 2004》对《生命行星报告 2002》中 1961-1999 年生态足迹和生物承载力进行了重新计算,并给出了 2000-2001 年的生态足迹和生物承载力的计算结果。按照《生命行星报告 2002》的计算结果:全球在 1978 年以前生态足迹均少于生物承载力,全球在可持续发展状态下运行,其后,生态足迹均大于生物承载力,转入不可持续发展状态。而按照《生命行星报告 2004》对《生命行星报告 2002》中 1961-1999年生态足迹和生物承载力进行的重新计算结果表明,全球在1986年以前生态足迹均少于生物承载力,全球长期在可持续发展状态下运行,其后,生态足迹均大于生物承载力,转入不可持续发展状态。

(2) 国家尺度的应用研究

最早出现在 1997 年,Wackernagel 在《Ecological Footprint of Nations》中,对世界上 52 个国家和地区的生态足迹进行了计算[28.29.30]。研究结果表明,生态足迹最大的是美国,人均 10.9 公顷;孟加拉国的最低,人均仅 0.6 公顷;中国 1997 年的人均 EF 值为 1.2 公顷,而其人均生态承载力仅为 0.8 公顷,人均生态赤字为 0.4 公顷。此外还有学者对个别国家进行了研究,其中《国家生态足迹和生物承载力帐户 2005 版》对全球 100 万人口以上的 150 个国家 2002 年的生态足迹和生物承载力都进行了计算:2002 年,生态足迹最大的前 3 位的国家依次是阿拉伯联合酋长国、美国和加拿大,分别是 10.5 公顷、9.7 公顷和 7.5 公顷;生态赤字最大的前 3 位的国家是阿拉伯联合酋长国、科威特和美国,分别是 9.6 公顷、7.0 公顷和 4.9 公顷。中国排名第 75 位,人均生态足迹为 1.5 公顷,低于 2.2 公顷的全球平均水平。这说明阿拉伯联合酋长国和科威特等石油输出国和美国等西方发达国家的高消费和提前消费的过度消费模式,是建立在转移消费别国生物承载力和自然资本存量的基础上的,处于

不可持续发展状态。

（3）地区和城市层次应用研究

近年来，地区尺度的生态足迹研究报告主要有《国家生态足迹和生物承载力帐户 2005 版》、《生命行星报告 2004》、《生命行星报告 2002》、《欧洲生态足迹报告 2005》[31]以及《亚太地区生态足迹与自然财富报告 2005》[32]等。其中 Global Footprint Network 在《国家生态足迹和生物承载力帐户 2005 版》中把全球按照收入和地区分别分类，计算了不同分组的生态足迹和生物承载力：按收入分类，2002 年，高收入国家、中等收入国家和低收入国家的生态足迹分别为 6.4 公顷、1.9 公顷和 0.8 公顷，高收入国家和低收入国家的生态足迹分别大于其生物承载力 3.0 公顷和 0.1 公顷，出现生态赤字，处于不可持续发展状态；中等收入国家的生态足迹少于其生物承载力 0.2 公顷，出现生态盈余，处于可持续发展状态。按地区分类，2002 年，北美、欧盟 25 国及瑞士、中东及中亚、亚洲及太平洋地区、非洲等 5 个地区生态赤字分别为-3.7 公顷、-2.4 公顷、-1.1 公顷、-0.6 公顷和-0.2 公顷，处于不可持续发展状态；拉美及加勒比地区和其他欧洲国家 2 个地区生态盈余分别 3.6 公顷和 1.2 公顷，处于可持续发展状态。

Wackernagel 早在 1996 年就对渥太华、东京、伦敦等人城市的生态足迹进行了计算，其结果表明：渥太华的人均足迹为 5.0 公顷，其总生态足迹是渥太华城市面积的 200 倍，东京都（包括东京都 23 区和神奈川县、琦玉县、千叶县）的生态足迹为 4811.94 万公顷（仅仅计算了食物、森林和废弃物吸收），是日本国土面积（3777 万公顷）的 1.27 倍，而全日本可居住的土地面积仅占国土面积的 1/3（1225 公顷），因此要养活东京现有的人口，需要 3.834 个日本，Folke 等（1997）对欧洲波罗的海域 29 个大城市进行了案例研究，计算出占波罗的海面积 0.1%的这些城市，其生态足迹至少需要整个波罗的海流域 75%到 1.5 倍的生态系统，是这些城市面积的 565～1130 倍。Wackernagel 等（1999）将生态足迹指标应用了瑞典及其亚区，改进了生态足迹与生物承载力的计算方法。随着生态足迹方法的普及，伦敦等城市也开始定期发布生态足迹报告，这个尺度上的研究已经非常常见了。

### 3.2.2 国内研究进展

生态足迹概念是在 1999 年引入国内的[33.34.35]，2000 年已经有研究成果[36]，

国内多名学者分别对生态足迹从理论、方法、计算模型及其应用方面进行了评价。值得提出的应用研究有：

（1）徐中民，陈东景等[37]将中国和部分省(区、市)1999 年生态足迹计算中得到的不同土地类型面积作为测算生态经济系统多样性的指标，测算了中国及部分省(区、市)1999 年“万元 GDP 生态足迹”，生态足迹的多样性，并采用 Ulanowicz 的发展能力公式分析了各省的发展能力。研究表明，发展能力是一个较好的预测产出的指标，增加多样性是增加发展能力的有效途径。另外，还分析了生态足迹的多样性与资源利用效益的关系，讨论了生态足迹及其多样性的政策含义。

（2）苏筠，成升魁，谢高地[38]运用生态占用分析方法，估算了 1999 年北京和上海两市居民家庭的食物、衣着、生活用品、生活用能等主要生活消费占用的生态空间。结果表明，两市居民人均生态占用面积分别为 1.62 公顷和 1.33 公顷。虽然估算相对保守，但结果都表明城市居民家庭生态占用的总面积已经数十倍于城市实际面积。

（3）席建超[39]以 2002 年北京市海外入境旅游者为例，对旅游消费生态占用进行初探；章锦河[40]以 2002 年黄山市作为实证，对旅游生态足迹进行了研究。

（4）秦耀辰,牛树海[41]在《生态占用法在区域可持续发展评价中的运用与改进》 一文中针对区域可持续发展评价的需要对生态足迹分析方法做出改进，提出了用投入占用产出模式来完善生态足迹方法的思路，结合生态足迹指标引入了一个综合发展度来全面反映可持续发展程度。同时结合河南省区域可持续发展评价实例进行了应用分析，通过对河南省生态足迹的计算分析，得出河南目前处于“地方不可持续---全球可持续---欠发展”状态，并与西部 12 省(区)市进行了对比分析。

（5）熊德国，鲜学福等[42]学者通过综述生态足迹理论及其在全球及区域可持续发展系统中的应用成果，发现该理论在用于区域可持续发展评价时遇到了困难，主要表现为其对区域发展可持续性的评价结果与可持续发展理论所阐述的基本原则不一致，他们认为这主要是将基于全球生态系统的生态足迹理论不适当地用在了区域可持续发展系统中导致的，而根本的原因是生态足迹概念本身的定义不够确切。文章中将生态足迹区分为消费性生态足迹和生产性生态足迹，对传统的生态足迹理论进行了改进，并以生产性生态足迹

作为评价区域可持续发展的指标，以期更真实地反映区域发展的可持续性，同时还认为，通过比较全球生态赤字和区域人均消费性生态赤字可以对区域发展公平性做出评价。

（6）在国内，生态足迹的概念日渐被人们所熟悉与关注。近几年出版的相关“生态经济系统”或“可持续发展指标评价”等方面的书籍中，对此概念均有评价。

（7）第一届“环境指标:生态包袱与生态足迹”台湾海峡两岸学术交流会于 2004 年 4 月 3 日至 5 日在沈阳东北大学召开。来自台湾海峡两岸的 30 余名学者出席了会议，会议共收到学术论文 21 篇。会议讨论的主题包括:生态足迹计算方法及其改善、经济发展与城市生态、物质流核算体系及其应用、绿色 GDP。

尽管 1999 年以来，国内对生态足迹及其实践应用的研究迅猛发展。但实证研究中，无论是方法和应用还是有关政策分析方面，国内开展的生态足迹大部分还停留在国际生态足迹研究的初级阶段[24]。

## 3.3 生态足迹的基本概念

**生态生产性面积(土地)(Ecologically Productive Area)**

“生态生产性面积”是生态足迹分析法为各类自然资本提供的统一度量基础。生态生产也称生物生产，是指生态系统中的生物从外界环境中吸收生命过程所必需的物质和能量转化为新的物质，从而实现物质和能量的积累。生态生产是自然资本产生自然收入的原因。自然资本产生自然收入的能力由生态生产力(ecological productivity)衡量。生态生产力越大，说明某种自然资本的生命支持能力越强。在生态足迹理论中，自然环境消纳污染物的作用(如林地对 $CO_2$ 的吸收)也作为生态生产力的一种，其大小表达了自然资本的生命支持能力。生态足迹理论将地球表面的生态生产性面积(土地)分为六大类[37]：耕地、草地、林地、化石能源用地、建筑用地和海洋。

**生态足迹( Ecological Footprint，简称 EF)**

“生态足迹”又称生态占用，人类要维持生存必须消费各种产品、资源和服务，人类的每一项最终消费的量都可追溯到提供生产该消费所需的原始物质与能量的生态生产性土地的面积。所以人类系统的所有消费，理论上都可以折算成相应的生态生产性土地的面积。生态足迹就是指生产一定人口所

消费的资源和吸纳这些人口产生的废弃物所需要的生态生产性土地的总面积。

生态承载力(Ecological Capacity，简称 EC)

“生态承载力”或称生态足迹供给，指区域所能提供的各种生态生产性土地面积的总和。它是与生态足迹相对应的概念。传统的环境承载力是指在不损害区域生产力的前提下，一个区域有限的资源能供养的最大人口数[43]。这一概念只强调人口数量而忽视了不同地区人口在生产和消费方式上的差异，因而在地区间是不可比的。它是指区域所能够提供给人类生物生产性土地的总和。1991 年 Hardin 从生态系统本身的角度定义了生态容量的概念，即在不损害有关生态系统的生产力和功能完整的前提下，可持续利用的最大资源量和废物产生率。在此基础上，生态足迹理论将一个地区所能提供给人类的生态生产性土地的面积定义为该地区的生态承载力，以表征该地区的生态容量[43]。

生态赤字 生态盈余(Ecological Deficit Ecological Remainder)[44]

将生态足迹与生态承载力相减，差值为正时称生态赤字，表示该地区人均占用资源量超过了生态承载力；差值为负时称生态盈余，表示人均占用资源量仍在生态承载力允许的范围之内。该值定量化反应了地区的可持续发展程度和现状。

全球生态标杆(Global Benchmark)

扣除其它生物生存所需土地面积后的世界人均土地资源拥有量为全球生态标杆，它是各种土地类型的整合值。Wackernagel 等 1997 年计算得到世界人均占有生态生产性土地 1.8 公顷。根据世界环境与发展委员会的报告，应至少留出 12%的生态承载力来保护全球生物多样性。因此，实际人均占有量为 1.6 公顷。用所研究区域的生态足迹与这个值相比较，即可得知该地区资源利用量在世界范围的位置。

当量因子(Equivalence Factor)

由于六类生物生产面积的生态生产力不同，要将这些具有不同生态生产力的生物生产面积转化为具有相同生态生产力的面积，以加和计算生态足迹和生态承载力，需要对计算得到的各类生物生产面积乘以一个当量因子或称均衡因子，某类生物生产面积的当量因子等于全球该类生物生产面积的平均生态生产力除全球所有各类生物生产面积的平均生态生产力。现采用的当量

因子分别为：耕地、建筑用地为 2.8，森林、化石能源用地为 1.1，草地为 0.5，海洋为 0.2。数值表示某生态系统的生物生产力与全球生态系统平均生产力的比值。耕地的等量化因子 2.8，即表示耕地生态系统生物生产量为全球生态系统平均生物生产量的 2.8 倍。均衡处理后的六类生态系统的面积即为具有全球平均生态生产力可以相加的世界平均生态生产面积。

产量因子（Yield Factor）

由于不同国家和地区的资源禀赋不同，不仅单位面积耕地、草地、林地、建筑用地、海洋等的生态生产能力差异很大，而且单位面积同类型生物生产面积的生态承载力也差异很大。因此，不同国家和地区同类生物生产土地的实际面积是不能进行直接对比的，需要对不同类型的面积进行调整。不同国家或地区的某类生物生产面积所代表的局地产量与世界平均产量的差异可用产量因子表示。某个国家或地区某类土地的产量因子是其平均生产力与世界同类土地的平均生产力的比率。它表示了特定区域各类空间类型单位面积产量超过或低于世界平均水平的情况。

## 3.4 生态足迹法的基本假设

生态足迹是基于以下 5 个基本假设来进行计算的[42,43]：① 人类可以确定自身消费的绝大多数资源及其产生废物的数量；② 这些资源和废物流能够转换成相应的生物生产土地面积；③ 一旦采用生物生产力来衡量土地时，不同地域间的土地可以用相同的单位（公顷或者英亩）来表示，即每单位不同地区的土地面积都能够转化为全球均衡面积，每一个单位的全球均衡面积代表着相同的生物生产力；④ 各类土地在空间上是互斥的，例如：一块土地当它被用来修建公路时，它就不可能同时是森林、可耕地、牧草地等；⑤ 既然分析地球上哪些地域具有生物生产力是可行的，自然系统的生态服务总供给能力和人类系统对自然系统的总需求数量就能够相比较。

## 3.5 生态足迹模型数据的获取与处理

按照数据的获取方式，计算一个地区的生态足迹通常有两种方法。第一种是自下而上法，即通过发放调查问卷、查阅统计资料等方式获得人均的各种消费数据，这种方法称为成分法。这种方法最早由 Simmons，Chambers（1998）提出，随后 Lewis（2000）进一步改进，现在已经在欧洲广泛使用。典型的案

例是利物浦和怀特岛的生态足迹研究。最早推动成分法的研究单位是英国牛津的 BFF 环境公司（Best Food Forward），他们的算法注册为“Eco-index Methodology”。成分法也是把土地分为耕地、林地、草地、化石燃料用地、建筑用地和水域六大类，划分时是以人类的衣食住行为出发点的，因此不同的研究单位即使对相同的问题选取的成分也差很多。

第二种方法是自上而下法，根据地区性或全国性的统计资料查取地区各消费项目的有关总量数据，再结合人口数得到人均的消费量数据，这种方法也称为综合法。生态足迹的计算主要由 5 部分组成：①生活资料的消费。包括植物类产品、动物类产品、副食类产品、衣着类产品、家用耐用消费品等五小类；②生产资料的消费；③建筑材料的消费；④能源的消费；⑤建成区。各部分的大类下层还有细分。本文后面的计算分析就采用这种自上而下的方法。

## 3.6 生态足迹方法的计算步骤及公式

根据上述理论和概念，生态足迹模型通过计算人类为了自身生存而消费的自然的量来评价人类对生态系统的影响。特定人口（从个人到城市甚至国家的人口）的生态足迹，就是其占用的用于生产所消费资源与服务以及利用现有技术同化其所产生的废弃物的生物生产土地或海洋的总面积。其重要的计算步骤如下：

（1）划分消费项目，计算各主要消费项目和废物消纳中自然资源的消费量。其中消费包括直接的家庭消费、间接消费、最终使家庭受益的商业和政府消费、服务。统计方法分为“自上而下”和“自下而上”两种，前者通过全国或地区统计年鉴获得数据，后者通过调查问卷统计人均消费量值。本文采用的是前者。

（2）利用平均产量数据，将上述六类资源占用按照区域的生态生产能力和废物消纳能力分别折算成具有生态生产力的相应的六类主要的陆地和水域生态系统的面积。由于资料的取得较困难，本文未能考虑用于废物消纳部分。

（3）计算生态足迹（EF）。用当量因子(equivalence factors)将六种不同类型的土地进行汇总。每一种生态系统类型的当量因子由单位空间面积的相对生物量产量确定。最后进行汇总即可得人均生态足迹。

生态足迹的计算公式如下[45]：

$$EF=N\times ef=N\times \sum_{i=1}^{n}(aa_i\times r_j)=N\times \sum_{i=1}^{n}\frac{C_i}{P_i}\times r_j \quad (j=1、2、3、4、5、6)$$

式中，EF 为总的生态足迹；N 为人口数；ef 为人均生态足迹；$aa_i$ 为人均第 i 种消费物品折算的生物生产性面积；$r_j$ 为等量化因子或均衡因子(equivalence factor)；$C_i$ 为第 i 种物品的人均消费量；$P_i$ 为第 i 种物品的平均生产能力，一般用第 i 种消费项目的年世界平均产量来表示；j 为生态生产性土地类型（此公式里取 1 到 6，表示我们要计算 6 次，即 6 种不同的陆地和水域面积）。

（4）计算生态承载力(EC)。在生态承载力的计算中，由于不同国家或地区的资源禀赋不同，不仅耕地、草地、林地、建筑用地、水域之间的生态生产力差异很大，而且不同地域同类型生态生产性土地的生态生产力也有差异。因此，不同国家或地区的同类生态生产性土地的实际面积不能直接对比，需要对不同类型的土地面积进行调整。

将区域现有的耕地、草地、林地、建筑用地、水域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态生产性土地的面积，即生态承载力[46]。因此，一个城市或地区的生态承载力可用以下公式计算：

$$EC=N\times ec=N\times \sum a_j r_j y_j \quad (j=1、2、3、4、5、6)$$

式中：EC 为区域总生态承载力；ec 为人均生态承载力；N 为总人口数；$a_j$ 为人均生物生产面积；$r_j$ 为均衡因子；$y_j$ 为产量因子，等于 $y_j=y_{1j}/y_{wj}$，是指某国家或地区某种生物生产性土地产量 $y_{1j}$ 与世界该类型土地生物平均产量 $y_{wj}$ 之比；j 取 1 到 6 与前式意义相同。同时，按目前的情况出于谨慎考虑，在生态承载力计算时要扣除 12%的生物多样性保护面积。

（5）生态赤字或生态盈余计算

区域的生态赤字或生态盈余，反映该区域人口对自然资源的利用状况。其计算公式为：

$$ED=EC-EF$$

ED 为生态赤字或生态盈余；EC 为生态承载力；EF 为生态足迹。当一个地区的生态足迹(EF)大于其生态承载力或生态足迹供给(EC)时，则出现生态赤字(ecological deficit)，ED 为负值，表明该地区人类负荷太大及其对自然生态系统的需求超过了生态系统的承载力，生态系统不安全，社会发展处于相对不可持续状态。当一个地区的生态足迹(EF)小于其生态承载力或生态足迹供给(EC)时，则为生态盈余(ecological remainder 或者 ecological surplus)，ED 为正值，表明该地区人类生存于生态系统承载力的范围内，生态系统是安全的，人类社会的发展处于可持续状态。

# 第四章 山西省生态环境质量评价

## 4.1 山西概况

### 4.1.1 自然条件概况

（1）地理位置

山西省地处黄河中游，黄土高原东部，北界长城与内蒙古自治区接壤，西隔黄河与陕西省相望，南抵黄河与河南省为邻，东依太行山与河南、河北两省毗连。是连接东部沿海各省与西部内陆各省的桥梁地带。省境轮廓大体呈平形四边形(如图 4-1)，介于东经 110° 15′ ～114° 32′，北纬 34° 34′ ～40° 44′ 之间，南北长 628 公里，东西宽 385 公里，总面积 15.66 万平方公里，约占全国总土地面积的 1.63%。因地属太行山以西，故取名山西。

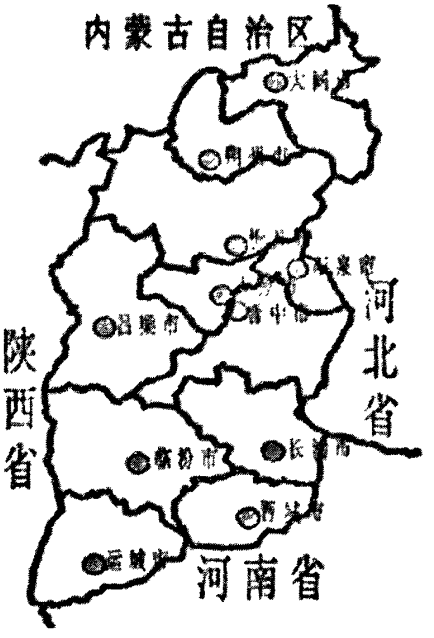


图 4-1 山西省范围图

Fig.4-1 Range map of Shanxi Province

（2）地形地貌

山西位于我国三大阶梯状地形上第二阶梯中部的前缘地带，华北大平原的西侧，境内山峦迭嶂，丘陵起伏，沟壑纵横，大部分为山区和丘陵。基本地形是中间为盆地，东西侧为山地，被人们称为“表里山河”。是一个被黄土广泛覆盖的山地型高原。高原内部原面破碎，高原起伏较大，地貌类型多样，既有山地、高原，又有丘陵、盆地。境内除中南部的几个盆地和谷地地形较低以外，海拔大都在 1000 米以上，与其东部的华北大平原相比，呈现强烈的隆起形势。整个地形表现为东北高、西南低、高低起伏异常显著。最高的五台山之北台(叶斗峰)海拔 3058 米，最低的在垣曲县西阳河入黄河处，海拔仅 180 米，高低相差 2800 多米。山西地形，纵观全貌，中部为一雁行排列的断陷盆地，自北而南有：大同盆地、忻定盆地、临汾盆地、运城盆地等。东西两侧为隆起的山地：东部太行山、西部吕梁山纵贯南北，恒山、五台山、

系舟山、太岳山和中条山散列其间。

（3）气候

山西省属大陆性季风气候，跨温带和暖温带。位居内陆，气候干燥。四季分明，南北差异和垂直差异较大。由于地势较高，四周多为山脉环绕。因而对来自东南海洋气流有一定阻挡作用，加以冬季受蒙古高压控制，气候特征则表现为夏季温暖多雨，冬季寒冷干燥，春温高于秋温，秋雨多于春雨。与同纬度华北平原相比，也因海拔较高，气温偏低。全省日照时数为2200-2900小时。

太阳辐射量为115-143千卡/平方厘米，日照总时数多，气温昼夜温差大，光合生产潜力大。全省气温(除山地外)南北差别悬殊，年平均温介于4-14摄氏度之间，由南向北递减。全省平均年降水量535毫米。由于受地形等因素影响，降水区域差异很大，大部分地方的年平均降水量在400-650毫米之间，少数山区可达700毫米以上。

（4）水资源

山西省共有大小河流1000余条，分属黄河、海河两大水系。其中我国第二大河流黄河，沿山西境界流程965公里。境内流域面积大于100平方公里的河流240条，大于4000平方公里、河道长度在150余公里以上的有8条(不包括黄河)。其中汾河源于管涔山麓至河津注入黄河，是山西境内第一大河，全长500余公里。山西河流属于黄河水系的有汾河、沁河、涑水河和漳河。黄河流域在山西境内的面积有97138平方公里，占全省总面积的62%；海河流域在山西境内的流域面积59133平方公里，占全省总面积的38%。山西河流主要特点是河流较多，但以季节性河流为主，故形成夏季排洪、旱季断水的局面。

山西省是全国水资源贫乏省份之一。全省水资源总量只有142亿立方米，在全国各省区中居倒数第二位，人均占有量不足全国的1/5，相当于世界人均占有水量的4.3%，亩均占有水量只有全国的9.3%。

山西省地下水资源储量约93.1亿立方米，但可采水资源只占45%，且多分布于盆地边缘及省境四周。

山西省境内河流由于受多山地形影响，河道自然落差一般较大，尤其在河流出省境地段，理论上的水力资源比较丰富，但由于多为季节性河流，水量变化的季节性差异大，因而水力资源的利用率不大，水力资源的开发和利

用主要以小型为主。以储量和开发比较，清漳河、沁河、滹沱河、浊漳河的条件较为优越，水能储量占到全省的80-90%。

全省目前发现的矿泉水共200余处,计350余个出露点,经过勘察评审通过的矿泉水产地100处左右,投产的有20余家。以锶、偏硅酸型矿泉水为主,还发现有锌、锂、碘、硒、溴矿泉水。批准矿泉水储量约3万立方/日,约合0.1095亿立方/年。

(5) 矿产资源

山西省矿产资源丰富，从品种到储量在全国都占有重要地位，其中煤、铝土、耐火粘土、铁矾土、珍珠岩、镓、铂的储量居全国各省(区)同种矿藏储量的首位。金红石(含钛矿)、镁盐、芒硝的储量居第二位。还有钾长石、钛铁、石灰石等也居全国各省(区)的前列。煤炭是山西省最重要的矿产，资源丰富，地质储量达8700亿吨，已探明储量为2700亿吨，占全国煤炭探明储量的30%,是中国煤炭储量最大的省份之一，故有“煤乡”之称。省内含煤面积达6.18万平方公里,占全省土地面积的39.1%,遍布全省94个县(市、区)。山西省煤炭资源不仅数量多，而且质量好，具有三个主要特点:煤种齐全；煤质优良；煤田地质构造简单、易于开发。山西省的有色金属矿产资源以铜、铝为主，还有铅、锌、钴、钼等。铜矿储量较丰富，但其品位较低。铝土矿资源丰富，具有储量大、质量好、分布广、易开采的特点，是山西省的第二大矿种。化工原料资源有芒硝、镁盐和池盐等。电石石灰岩资源丰富，绝大部分为特级或一级品，为发展化纤工业提供了优越条件。建筑材料及其他非金属矿产主要有石灰岩、石膏、含钾岩石等，其中石灰石资源最为丰富，储量达13亿吨。

(6) 生物

山西省生物资源种类繁多。树木种类约60多科，300多种。树种以油松、云杉、落叶松、桦、杨、辽东栎为主。经济林以木本粮油为主，有核桃、花椒、柿子、红枣等。山西是全国核桃主要产区，红枣是山西最早栽培的果树之一。防护林主要分布在山西北部，尤以内长城以北地区为主。野生牧草约有900多种，其中优质牧草有百余种，较大牧地15个，药用植物分布广泛。其中党参、黄芹、甘草、冬花、柴胡、枣仁、生地、远志等在全国颇负盛名。动物资源也较丰富，已发现的陆栖动物已达380余种，其中兽类79种，鸟类280多种，两栖爬行类25种。在野生动物中，属于国家一类保护动物7种，

二类保护动物 14 种，三类保护动物 34 种。

（7）土壤

山西省主要地带性土壤是褐土，地面物质组成以黄土广泛覆盖为特征。全省约有 85%以上的土地为黄土和次生黄土所覆盖，为黄土高原的重要组成部分，黄土系第四纪堆积物，具有质地疏松、多孔隙、易溶蚀、垂直节理发育的特点。

### 4.1.2 社会经济概况

（1）行政区划

截止 2005 年，山西辖太原、大同、阳泉、长治、晋城、朔州、忻州、晋中、临汾、运城和吕梁 11 个省辖市，下辖 119 个县(市)、区(含市辖城区)[47]，省会为太原市。

（2）人口与民族

到 2005 年底，山西总人口 3355.21 万人，约占全国总人口的 2.6%，其中，城市人口 1412.81 万人。山西是少数民族散杂居省份，除汉族外，全省有 54 个少数民族，少数民族占全省总人口的 0.35%。

（3）区位条件优势

山西省地处我国东部发达地区和西部内陆经济欠发达地区之间，有着优越的地理位置及特殊的自然条件，在国家区域发展宏观布局中具有承东启西、联南带北的战略地位和区位优势。它地处华北要地，北接以北京为核心的奥运经济圈，处于首都政治、经济、文化中心的辐射区，技术扩散的接收区；同时也是首都水、电力、煤资源、以及高新产品和农副产品的供给区；其东为津唐渤海经济区的联结区，并且是环渤海经济区的重要组成成员；其南接黄河经济协作区，以及远程快速发展的我国南方地区，是形成全国一体化接轨的纽带，接受沿海发达地区的经济辐射。成为把沿海地带的经济增长梯度向西北、西南诸省传递的中转站。

（4）综合经济实力不断增强

山西省虽在全国属于尚不发达地区，但从 1995～2005 年来看，山西省经济有了长足的发展，国民经济持续、快速、健康发展。2005 年全省共完成生产总值 4179.52 亿元，比 2004 年增长 37.4%，增幅比 2004 年提高 13.6 个百分点，是 1985 年以来的最高增速。2005 年全省人均生产总值 12495 元，比

2004 年增加 3345 元，增长 36.6%。结合表 4-1 和图 4-2 可知，1995-2005 年期间的 GDP[47,48]与人均 GDP 均呈现出逐年上升的趋势，可以明显看出山西省的经济增长还有强劲的发展势头，同时在全国经济发展的良好环境中，在未来还将有长足的发展。

表4-1 1995-2005年山西省国内生产总值

Tab.4-1 Gross domestic product of Shanxi Province in 1995-2005

| 年份 | 国内生产总值（亿元） | 人均国内生产总值（元/人） |
|---|---|---|
| 1995 | 1034.48 | 3362 |
| 1996 | 1305.50 | 4199 |
| 1997 | 1381.13 | 4397 |
| 1998 | 1486.08 | 4685 |
| 1999 | 1506.78 | 4703 |
| 2000 | 1643.81 | 5061 |
| 2001 | 1779.97 | 5441 |
| 2002 | 2015.50 | 6119 |
| 2003 | 2456.60 | 7412 |
| 2004 | 3042.41 | 9150 |
| 2005 | 4179.52 | 12495 |

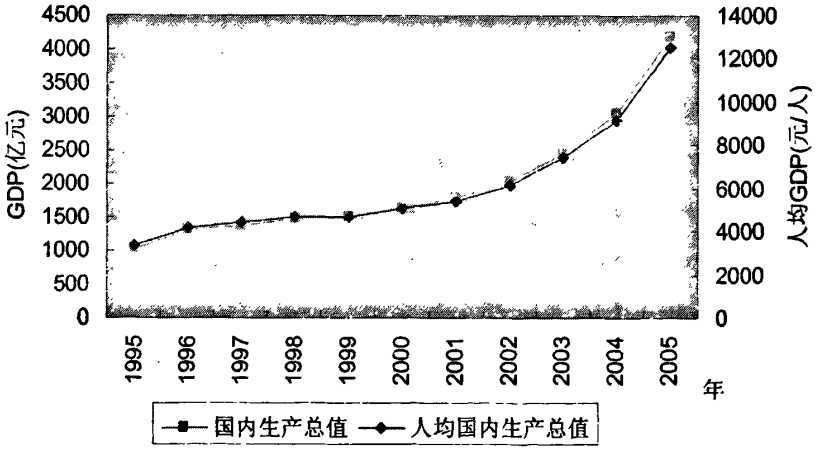


图4-2 山西省1995-2005年GDP与人均GDP变化趋势图

Fig.4-2 The change tendency map of gross domestic product in Shanxi

（5）旅游资源丰富

山西是中华民族的发祥地之一，历史悠久，人文荟萃，因此，旅游资源特别丰富，尤其是人文旅游资源。传说中的尧、舜、禹等都曾在此建都。迄今为止有文字记载的历史达三千年之久，素有“中国古代文化博物馆”之美称。目前全国保存完好的宋、金以前的地面古建筑物7096处以上在山西省境内，具有珍贵价值的国家级重点保护文物就有119多处，旅游资源十分丰富。如佛教圣地五台山、晋祠、黄河壶口瀑布、云冈石窟、应县木塔、永乐宫壁画、运城关帝庙、永济普救寺、洪洞广胜寺、平遥古城、祁县乔家大院等驰名中外。

## 4.2 山西省生态环境质量评价

### 4.2.1 基础数据的来源与处理方法

由前所述，生态足迹数据的获取与处理方法分为两种：自上而下法和自下而上法。本文采用前者，数据大部分源于山西省的各类统计年鉴[47.48.49]。

### 4.2.2 生态足迹方法采用的评价指标体系

自然生态系统是一个由众多因子构成，涵盖领域广泛的复杂巨系统。这些因子及相关领域间相互作用、相互制约，建立一个综合指标体系是评价工作的前提和基础。指标体系是建立在某些原则之上的指标集合，但它们并不是一些指标毫无牵连的简单堆砌，而是一个统一的整体，评价指标的选取与指标体系的构建应遵循科学性、整体完备性、代表性、可比性和可操作性的原则。

依据上述原则和生态足迹评价的理论和方法，建立了基于生态足迹的生态安全评价指标体系，见图4-3。

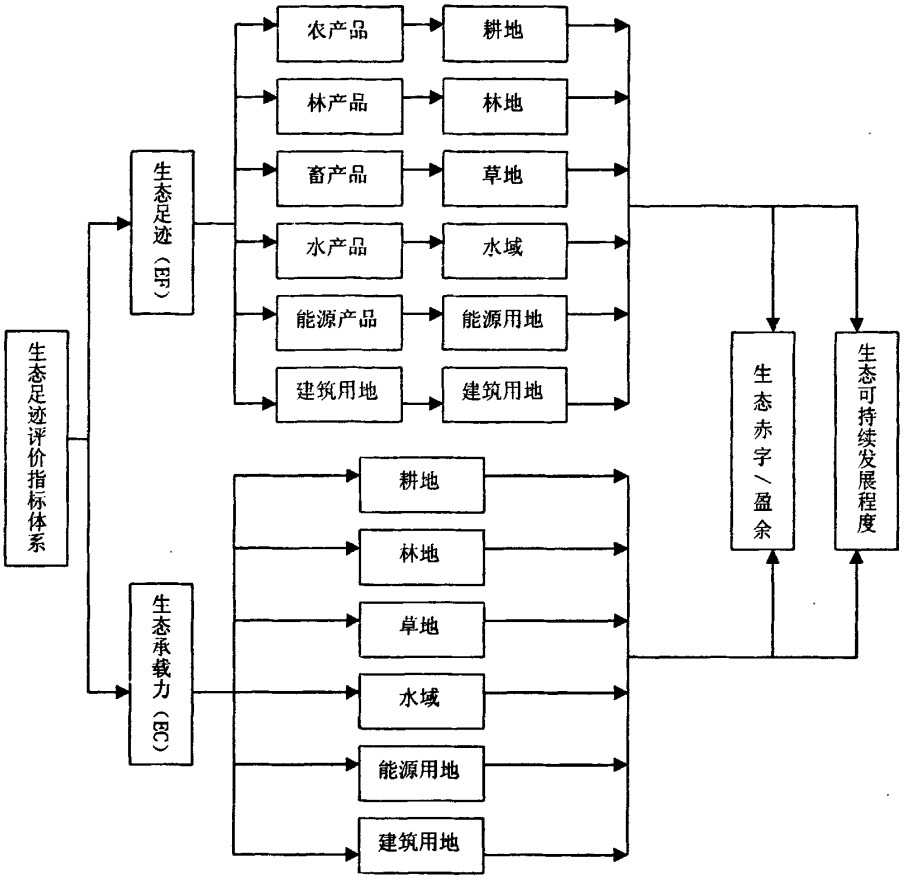


图4-3 生态足迹评价指标体系

Fig.4-3 Index system of EF

## 4.2.3 山西省2005年生态足迹计算与分析

（1）山西省2005年生态足迹需求计算

根据生态足迹计算的理论与方法，以山西省2006年的统计年鉴为数据源，对山西省2005年的生态足迹需求进行了计算。在生态足迹计算中，将消费项目划分为生物资源消费和能源消费两大类。生物资源消费项目，主要包括农产品、动物产品、林产品和水果、水产品等。

生物资源面积折算中，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[50](采用这一公共标准主要是使计算结果可以进行国与国、地区和地区之间的比较全球平均生产力水平)，将山西省 2005 年的生物资源消费转化成为提供这种消费所需要的生物生产面积，计算出该年生物资源消费的生态足迹。2005 年山西省生态足迹的生物资源账户计算结果，见表 4-2。

表4-2 山西省生态足迹中生物资源消费帐户

Tab. 4-2 The ecological footprint's ledger of the biotic resources in Shanxi

| 项目 | 全球平均产量 ($kg/hm^2$) | 山西省产量 (t) | 总的足迹 ($hm^2$) | 人均足迹 ($hm^2/cap$) | 生产性土地类型 |
|---|---|---|---|---|---|
| 稻谷 | 3912 | 8974 | 2064.48 | 0.000 | 耕地 |
| 小麦 | 2727 | 2022800 | 825742.58 | 0.025 | 耕地 |
| 玉米 | 4398 | 6161300 | 1393829.23 | 0.042 | 耕地 |
| 谷子 | 2727 | 381889 | 135097.62 | 0.004 | 耕地 |
| 高粱 | 2744 | 111894 | 43153.64 | 0.001 | 耕地 |
| 豆类 | 2338 | 366750 | 154954.15 | 0.005 | 耕地 |
| 薯类 | 1295 | 592668 | 379937.76 | 0.011 | 耕地 |
| 油料 | 1512 | 212620 | 147613.35 | 0.004 | 耕地 |
| 棉花 | 716 | 102907 | 126563.71 | 0.004 | 耕地 |
| 麻类 | 1787 | 38 | 21.30 | 0.000 | 耕地 |
| 甜菜 | 18000 | 39617 | 2117.80 | 0.000 | 耕地 |
| 烟叶 | 1548 | 6327 | 5177.02 | 0.000 | 耕地 |
| 蔬菜 | 1800 | 9015370 | 4977479.14 | 0.148 | 耕地 |
| 猪肉 | 74 | 609700 | 8243317.61 | 0.246 | 草地 |
| 牛肉 | 33 | 100700 | 3039586.18 | 0.091 | 草地 |
| 羊肉 | 33 | 99600 | 3031671.13 | 0.090 | 草地 |
| 奶类 | 502 | 737541 | 1509844.50 | 0.045 | 草地 |
| 绵羊毛 | 15 | 8805 | 602769.48 | 0.018 | 草地 |
| 山羊毛 | 15 | 1740 | 100845.55 | 0.003 | 草地 |
| 羊绒 | 15 | 795 | 39132.40 | 0.001 | 草地 |
| 蛋类 | 400 | 568789 | 1476292.40 | 0.044 | 草地 |
| 水产类 | 29 | 37542 | 1342084.00 | 0.040 | 水域 |
| 核桃 | 3000 | 53432 | 17844.71 | 0.001 | 林地 |
| 水果 | 9566 | 2454962 | 215283.86 | 0.021 | 林地 |

能源消费的生态足迹是指能源生产所需要占用的土地面积，以及能源消费过程中吸收燃烧化石燃料、排放二氧化碳所需要的生物生产性土地面积。山西省的能源消费账户主要包括煤、焦炭、汽油、柴油、电力 5 项。计算时，采用世界上单位化石燃料生产土地面积的平均发热量为标准[50]，将当地能源消费所消耗的热量折算成一定的化石能源土地面积。2005 年山西省生态足迹的能源消费账户计算结果见表 4-3。

将以上两部分（表 4-2 和表 4-3）的计算结果进行汇总，并各自乘以相应的均衡因子，就得到了按世界平均生态空间计算的山西省 2005 年实际的生态足迹，见表 4-4。

表4-3 山西省生态足迹中能源消费帐户

Tab.4-3 The ecological footprint' s ledger of energy

| 项目 | 全球平均能源足迹 ($GJ/hm^2$) | 折算系数 (GJ/t) | 消费量 (t) | 人均消费量 (GJ/cap) | 人均生态足迹 ($hm^2$/cap) | 生物生产性面积类型 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 煤炭 | 55 | 20.934 | 226313300 | 141.203 | 2.568 | 化石燃料用地 |
| 焦碳 | 55 | 28.470 | 21399000 | 18.159 | 0.331 | 化石燃料用地 |
| 汽油 | 93 | 43.124 | 948900 | 1.220 | 0.014 | 化石燃料用地 |
| 柴油 | 93 | 42.705 | 2462200 | 3.134 | 0.034 | 化石燃料用地 |
| 电力 | 1000 | 11.840 | 9463268×$10^4$kwh | 3.339 | 0.003 | 建筑用地 |

表4-4 2005年山西省生态足迹计算总结

Tab.4-4 Ecological footprint of Shanxi Province in 2005

| 土地类型 | 总面积 ($hm^2$/cap) | 均衡因子 | 均衡面积 ($hm^2$/cap) |
|---|---|---|---|
| 耕地 | 0.244 | 2.8 | 0.6832 |
| 林地 | 0.022 | 1.1 | 0.0242 |
| 草地 | 0.538 | 0.5 | 0.2690 |
| 化石燃料 | 2.947 | 1.1 | 3.2417 |
| 建筑用地 | 0.003 | 2.8 | 0.0084 |
| 水域 | 0.040 | 0.2 | 0.0080 |
| 总需求足迹($hm^2$/cap) | | | 4.2345 |

（2）山西省 2005 年生态承载力——供应计算

利用山西省 2005 年土地利用现状的数据，经过整理汇总出耕地、林地、牧草地、水域及建筑用地面积，并计算出人均拥有的面积，即生态足迹理论中的人均生物生产面积。将人均拥有的各类生物生产面积乘以均衡因子和产量因子，转化为按世界平均生态空间计算的山西省 2005 年的人均生态承载力，见表 4-5。

产量因子是依据山西省各种不同类型生产空间的生产力与全球平均生产力的比较得到的，见表 4-6。其中，耕地采用谷物产量，林地采用林产品水果

的产量，牧草地采用畜产品牛肉的产量，水域采用淡水水产品的产量，建筑用地采用耕地的产量。

表4-5 2005年山西省生态承载力计算总结

Tab.4-5 Ecological capacity of Shanxi Province in 2005

| 土地类型 | 总面积 ($hm^2$) | 人均面积 ($hm^2$/cap) | 均衡因子 | 产量因子 | 人均生态承载力 ($hm^2$/cap) |
|---|---|---|---|---|---|
| 耕地 | 4588600 | 0.1368 | 2.8 | 1.732 | 0.6634 |
| 林地 | 2081900 | 0.0620 | 1.1 | 1.693 | 0.1155 |
| 草地 | 658000 | 0.0196 | 0.5 | 4.638 | 0.0455 |
| 化石燃料地 | 0 | 0 | 1.1 | 0 | 0 |
| 建筑用地 | 841000 | 0.0251 | 2.8 | 1.732 | 0.1217 |
| 水域 | 388000 | 0.0116 | 0.2 | 3.336 | 0.0077 |
| 总供给面积 | | | | | 0.9538 |
| 生物多样性保护(12%) | | | | | 0.1145 |
| 总的可利用面积 | | | | | 0.8393 |

表4-6 山西省2005年各类生产空间的产量因子

Tab.4-6 The yield factors in Shanxi Province in 2005

| 生态空间类型 | 耕地 | 林地 | 牧草地 | 水域 |
|---|---|---|---|---|
| 山西省平均产量 | 5688 | 9065 | 153.040 | 96.758 |
| 世界平均产量 | 3301.600 | 5355.333 | 33.000 | 29.000 |
| 产量因子 | 1.723 | 1.693 | 4.638 | 3.336 |

表4-7 山西省2005年人均生态赤字总结

Tab.4-7 The summary of ecological deficit of Shanxi Province in 2005

| 土地类型 | 人均生态足迹 ($hm^2$/cap) | 人均生态承载力 ($hm^2$/cap) | 人均生态赤字 ($hm^2$/cap) |
|---|---|---|---|
| 耕地 | 0.6832 | 0.6634 | -0.0198 |
| 林地 | 0.0242 | 0.1155 | 0.0913 |
| 草地 | 0.2690 | 0.0455 | -0.2235 |
| 化石燃料地 | 3.2417 | 0 | -3.2417 |
| 建筑用地 | 0.0084 | 0.1217 | 0.1133 |
| 水域 | 0.0080 | 0.0077 | -0.0003 |
| | 4.2345 | 0.8393 | -3.3952 |
| | | （已扣除12%生物多样性保护） | |

《我们共同的未来》指出，生物圈并非人类所独有，人类应将生物生产土地面积的12%用于生物多样性的保护，因此，出于谨慎考虑，在计算生态承

载力时，应从总数中扣除这一部分[51.52]。

由表 4-7 可知，山西省 2005 年的人均生态足迹为 4.2345 公顷，实际生态足迹供给为 0.8393 公顷，人均生态赤字为 3.3952 公顷。说明区域人口对自然资源利用的影响已经远远超出了其生态承载力范围，山西省生态环境的发展已经处于严重不可持续发展状态。

### 4.2.4 山西省 1995-2005 年生态足迹计算与分析

（1）山西省 1995-2005 年生态足迹汇总计算

通过上述过程，我们计算出了 2005 年山西省的人均生态足迹为 4.2345 公顷。用相同的方法逐年计算出从 1995 年到 2005 年山西省的人均生态足迹，结果见表 4-8。由于《山西省统计年鉴》中数据的局限性，目前无法获得人类消耗的所有生物资源的统计数据，因此可以认为，本文计算所得的生态足迹结果是一种较乐观的估计，客观地说，山西省的人均生态足迹要比计算结果相应的大。从计算结果可知，从 1995 年到 2005 年，山西省的人均生态足迹处于增加的态势，如图 4-4 所示。

（2）山西省 1995-2005 年生态承载力汇总计算

在生态足迹供给量计算中，出于谨慎考虑，需扣除 12%的用于生物多样性保护的生态承载力面积。因此，最终合计的人均生态承载力面积是扣除以后的人均面积，计算结果见表 4-9。

表4-8　山西省1995-2005年生态足迹汇总

Tab.4-8 The summary of ecological footprint of Shanxi in 1995-2005

| 类型<br>年份 | 耕地 | 林地 | 牧草地 | 化石燃料用地 | 建筑用地 | 水域 | 人均生态足迹 | 化石比重 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1995 | 0.2428 | 0.0164 | 0.1839 | 1.6233 | 0.0034 | 0.0039 | 2.0737 | 78.28% |
| 1996 | 0.2808 | 0.0138 | 0.2168 | 1.8218 | 0.0034 | 0.0043 | 2.3409 | 77.82% |
| 1997 | 0.3198 | 0.0158 | 0.1716 | 1.7794 | 0.0039 | 0.0047 | 2.2952 | 77.53% |
| 1998 | 0.2934 | 0.0190 | 0.1845 | 1.9252 | 0.0042 | 0.0049 | 2.4312 | 79.19% |
| 1999 | 0.2962 | 0.0220 | 0.1861 | 1.8260 | 0.0042 | 0.0055 | 2.3400 | 78.03% |
| 2000 | 0.2948 | 0.0226 | 0.1930 | 1.7337 | 0.0045 | 0.0055 | 2.2541 | 76.91% |
| 2001 | 0.2178 | 0.0193 | 0.1977 | 1.8745 | 0.0048 | 0.0058 | 2.3199 | 80.80% |
| 2002 | 0.2596 | 0.0206 | 0.2098 | 2.3909 | 0.0059 | 0.0059 | 2.8927 | 82.65% |
| 2003 | 0.3377 | 0.0243 | 0.2170 | 2.6765 | 0.0064 | 0.0060 | 3.2679 | 81.90% |
| 2004 | 0.7244 | 0.0244 | 0.2485 | 2.8911 | 0.0083 | 0.0075 | 3.9042 | 74.05% |
| 2005 | 0.6832 | 0.0242 | 0.2690 | 3.2417 | 0.0084 | 0.0080 | 4.2345 | 76.55% |

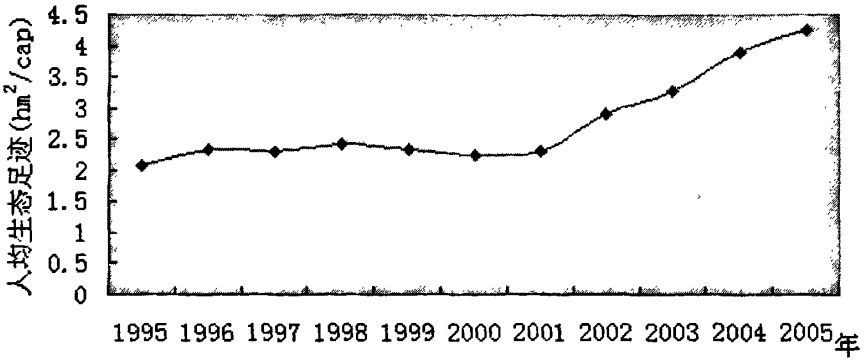


图 4-4 1995-2005 年山西省人均生态足迹变化趋势

Fig.4-4 Ecological footprint's change tendency of Shanxi in 1995-2005

表4-9 山西省1995-2005年生态承载力汇总

Tab.4-9 The summary of ecological capacity of Shanxi in 1995-2005

| 类型<br>年份 | 耕地 | 林地 | 草地 | 建筑用地 | 水域 | 总供给面积 | 多样性保护 | 总可利用面积 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1995 | 0.4079 | 0.1353 | 0.0347 | 0.1215 | 0.0039 | 0.7033 | 0.0844 | 0.6189 |
| 1996 | 0.4517 | 0.1431 | 0.0450 | 0.1339 | 0.0044 | 0.7781 | 0.0934 | 0.6847 |
| 1997 | 0.4744 | 0.1966 | 0.0302 | 0.1171 | 0.0047 | 0.8230 | 0.0988 | 0.7242 |
| 1998 | 0.5092 | 0.2588 | 0.0316 | 0.1264 | 0.0047 | 0.9307 | 0.1117 | 0.8190 |
| 1999 | 0.3963 | 0.3478 | 0.0321 | 0.0987 | 0.0053 | 0.8802 | 0.1056 | 0.7746 |
| 2000 | 0.4060 | 0.3650 | 0.0337 | 0.1015 | 0.0055 | 0.9117 | 0.1094 | 0.8023 |
| 2001 | 0.3745 | 0.4086 | 0.0351 | 0.1142 | 0.0058 | 0.9382 | 0.1126 | 0.8256 |
| 2002 | 0.4387 | 0.4638 | 0.0377 | 0.1172 | 0.0061 | 1.0635 | 0.1276 | 0.9359 |
| 2003 | 0.4573 | 0.5504 | 0.0396 | 0.1275 | 0.0065 | 1.1813 | 0.1418 | 1.0395 |
| 2004 | 0.5668 | 0.1746 | 0.0423 | 0.1268 | 0.0073 | 0.9178 | 0.1101 | 0.8077 |
| 2005 | 0.6634 | 0.1155 | 0.0455 | 0.1217 | 0.0077 | 0.9538 | 0.1145 | 0.8393 |

（3）结果分析

①由图 4-5 可知，1995-2005 年间，山西省生态足迹已经严重超过了区域生态系统的生态承载力，一直处于生态赤字状态，且人均生态足迹还在逐年扩大，表现为:2005 年人均生态足迹比 1995 年人均生态足迹，11 年间增加了 2.1608 公顷/人，上升了约 1.042 倍；生态赤字也在不断增大，11 年间增加了 1.9404 公顷/人，上升了约 1.334 倍。不断增长的生态足迹和生态赤字的存在表明了山西省生态环境已经处于不可持续发展状态，对自然资源的利用程度已远远超过了自然资源的供给程度，如果不及时采取适当措施，生态环境会进一步恶化，从而导致经济的发展离可持续发展的差距会越来越大。

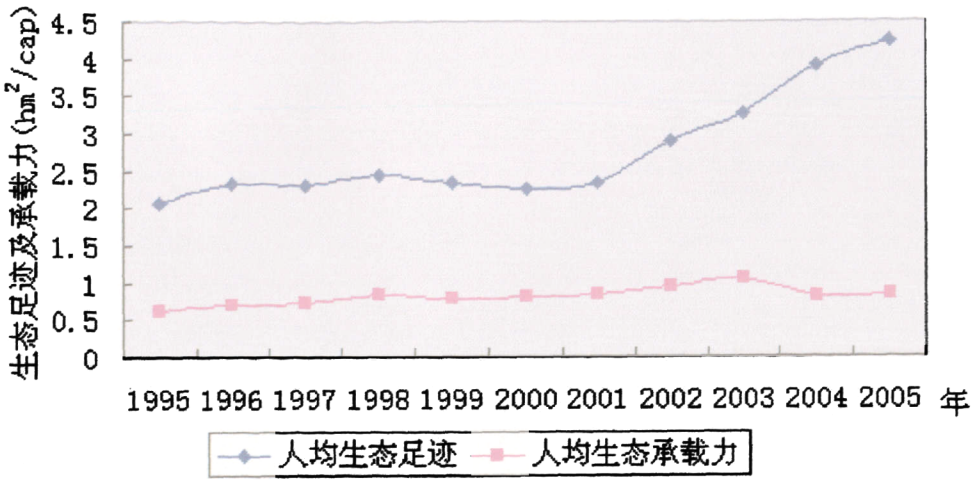


图 4-5 1995-2005 年山西省生态足迹及生态承载力比较图

Fig.4-5 Comparison of ecological footprint and ecological capacity of Shanxi in 1995-2005

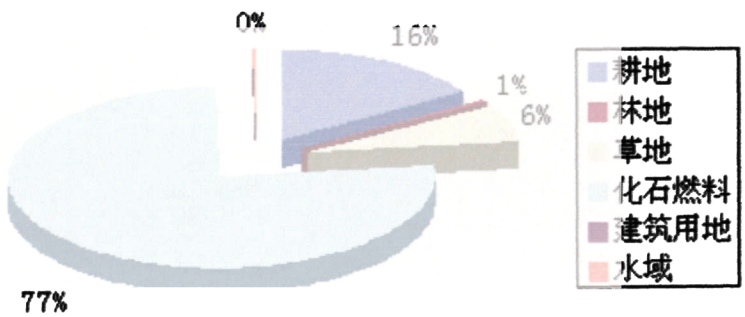


图 4-6 2005 年山西省各类生物生产性土地人均生态足迹需求比例

Fig.4-6 Ratio of ecologically productive area' ecological footprint of Shanxi in 2005

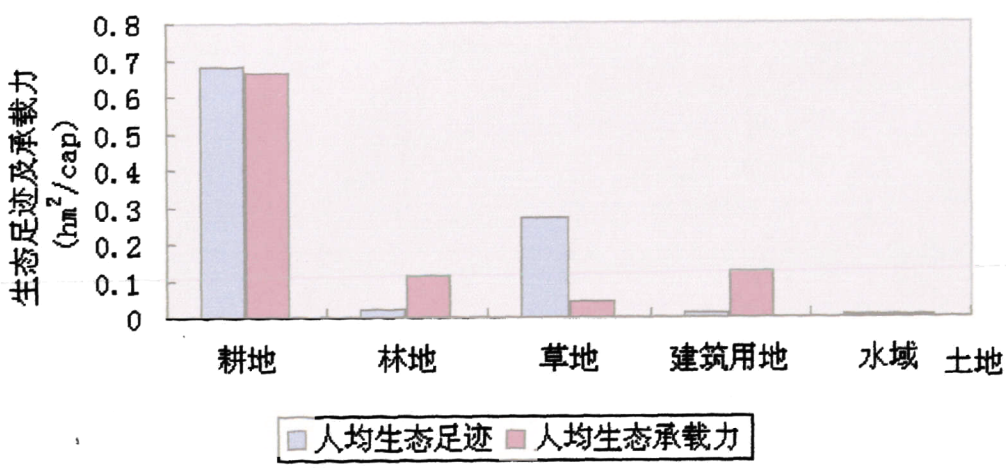


图 4-7 2005 年山西省各类生物生产性土地人均生态足迹与人均生态承载力比较

Fig. 4-7 Comparison of ecological footprint and ecological capacity of Shanxi in 2005

②山西省可利用的生态承载力的变化不大，但从整体来看有增长的态势。随着社会经济的不断发展，科技的进步，以及人们生态环境保护意识的加强，生态环境承载力的增幅还会不断增大。

③分析可得，可以说生态赤字的出现主要是由生态足迹的增加所引起的，而生态足迹的增加又主要是由化石燃料用地的增加所致。以重工业为主导工业的产业结构给山西省带来了大量的生态压力：从化石燃料占总足迹的比重可以看出，化石燃料生态足迹需求从1995年的78.28%至2005年的76.55%，平均占到了总足迹的78.52%，意味着以单一的能源消费为主的现状已对产生巨大的生态赤字产生了较大的影响。进一步来说，产业结构中，煤炭工业的发展对山西省的生态足迹需求产生着直接的影响，以煤为主的消费需求，增加了生态足迹需求量，从而导致了一系列的严重的生态环境问题。

④就目前来看，由图4-6和图4-7可以看出，除化石燃料用地以外，山西省人均生态足迹需求量较多的是耕地和牧草地，而人们对耕地和牧草地的需求又远远超过了其供应，处于严重的生态赤字状态。

总体而言，1995-2005年，随着山西省人口的不断增加，经济的发展和人民生活水平的提高，在今后几年内，生态足迹的值是会增加的，生态赤字也会增大，也就是说，如果人们在不改变现有的生活、生产方式和消费观念的情况下，生态足迹的数值还将会增大，生态赤字会加大，表现为对生态环境的压力会增大，区域生态环境还会继续恶化，采取必要的措施已刻不容缓。

### 4.2.5 山西省2005年生态足迹区域差异研究

山西省境内地形复杂，南北长628公里，跨温带和暖温带地区，东西宽385公里，总面积15.66万平方公里，因此区域内部的生态环境状况也有明显的不同，全省辖11个地市，即太原市、大同市、阳泉市、长治市、晋城市、朔州市、晋中市、运城市、忻州市、临汾市和吕梁市，省会城市为太原。本文以2005年数据为源数据，试运用生态足迹分析方法对山西省地市进行计算和分析，尝试进行生态安全等级划分。

（1）山西省2005年生态足迹及生态承载力分区计算

根据生态足迹的概念及其计算方法，以山西省及山西省各地市2006年的统计年鉴的资料为数据源，计算方法同上，分区计算出山西省11个地市2005年的生态足迹及生态承载力的总结，结果见表4-10。

表 4-10 山西省 11 个地市 2005 年的生态足迹与生态承载力计算结果汇总表

Tab.4-10 Ecological footprint and ecological capacity of 11 districts in Shanxi in 2005

| 地市 | 人口 ($10^4$人) | 人均生态足迹 ($hm^2$/cap) | 可利用人均生态承载力 ($hm^2$/cap) | 人均生态赤字 ($hm^2$/cap) | 总的生态赤字 ($10^4hm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 太原市 | 342.85 | 4.4329 | 3.7844 | -0.6485 | -222.338 |
| 大同市 | 311.94 | 4.0219 | 0.3951 | -3.6258 | -1131.030 |
| 阳泉市 | 130.23 | 4.2319 | 0.1731 | -4.0588 | -528.578 |
| 长治市 | 323.41 | 2.4325 | 1.9137 | -0.5188 | -167.785 |
| 晋城市 | 220.54 | 3.9533 | 1.7669 | -2.1864 | -482.189 |
| 朔州市 | 150.72 | 3.3083 | 1.0019 | -2.3064 | -347.621 |
| 晋中市 | 308.83 | 3.7786 | 0.3653 | -3.4133 | -1054.130 |
| 运城市 | 498.48 | 3.9144 | 0.5023 | -3.4121 | -1700.860 |
| 忻州市 | 303.88 | 4.1254 | 0.6886 | -3.4368 | -1044.370 |
| 临汾市 | 412.05 | 5.3801 | 0.4268 | -4.9533 | -2041.010 |
| 吕梁地区 | 353.08 | 4.4064 | 0.8556 | -3.5509 | -1253.750 |

（注:表中生态承载力的计算结果已扣除12%的生物多样性保护面积。）

（2）可持续发展程度的等级划分

生态足迹概念及计算模型，是在地区、国家和全球尺度上比较人类对自然的消费量与自然资本的承载量，判定地区、国家或全球尺度的可持续发展状况的一种定量测度指标。但对其所评价的可持续发展程度的等级划分问题，迄今研究的甚少，关键是如何确定不同尺度上的等级划分指标。就山西省 11 个地市而言，本文对这一问题作了初步偿试。试图根据生态盈余/赤字数值进行分级。

①分级依据及结果

根据世界自然基金会(WWF)与联合国环境规划署(UNDP )世界保护监测中心(WCMC)、全球足迹网络(Global Footprint Network)联合发布的《生命行星报告 2004 》(Living Planet Report 2004)，指出 2001 年全球人均生态足迹为 2.2 公顷,而人均生态承载力为 1.8 公顷，即全球人均生态赤字为 0.4 公顷。报告中指出，中国 2001 年的人均生态足迹为 1.5 公顷，而人均生态承载力为 0.7 公顷，人均生态赤字为 0.8 公顷。参照这些数据，并结合山西省人均生态赤字 3.3952 公顷和 11 个地市生态足迹差异，不妨将山西省 11 个地市的可持续发展程度做如下分级（用 a 来表示人均生态赤字）[53]。

I 级，当 $a \leqslant 0.4hm^2$时，表示该地区为全球尺度上的可持续发展。

II 级，当 $0.4hm^2 \leqslant a \leqslant 0.8hm^2$，时，表示该地区为全球尺度上不可持续发

展，但全国尺度上可持续发展。

III 级，当 $0.8hm^2 \leqslant a \leqslant 3.4hm^2$ 时，表示该地区为全球尺度上不可持续发展，全国尺度上也是不可持续发展，但省级尺度上可持续发展。

Ⅳ级，当 $a \geqslant 3.4hm^2$ 时，表示该地区为全球尺度上、全国尺度上均为不可持续发展，省级尺度上也为不可持续发展。

据此分级结果见表 4-11。

表4-11 2005年山西省各地市生态安全分级结果

Tab.4-11 Classifiable result of 11 districts on ecological safety in Shanxi in 2005

| 等级/地区 | 据生态赤字来分 | 等级名称 |
|---|---|---|
| I | | 安全 |
| II | 长治 太原 | 相对安全 |
| III | 晋城 朔州 | 不安全 |
| Ⅳ | 临汾 阳泉 大同 晋中 运城 忻州 吕梁 | 严重不安全 |

②结果分析

结合表 4-11、图 4-8 及图 4-9，可以看出，山西省各区域的生态安全程度差异不同。从整体上来讲，山西省各区生态系统都处于不安全的状态，生态赤字较大，区域间有明显差异，也就是说安全程度不同。

根据以上生态赤字分类方法，长治市的生态赤字最小，其次是太原、晋城、朔州、运城、晋中、忻州、吕梁地区、大同、阳泉，最后是临汾市。只有长治和太原处于相对安全状态，其生态赤字在全球尺度上不可持续发展，但在全国尺度上可持续发展。晋城和朔州处于不安全状态，表示该地区为全球尺度上不可持续发展，全国尺度上也是不可持续发展，但省级尺度上可持续发展。临汾、阳泉、大同、晋中、运城、忻州、吕梁处于严重不安全状态，表示该地区为全球尺度上、全国尺度上均为不可持续发展，省级尺度上也为不可持续发展。

从横向进行比较，图 4-8 和图 4-9 更进一步说明各区域之间的差异，所以在采取改善措施时要因地制宜。例如，对太原、大同、阳泉、临汾、晋城等资源型城市，除了进一步调整能源结构、提高能源效率，减少使用化石能源资源外，政府还应着手规划资源产业的升级，使这类城市由资源加工业逐步向制造业和第三产业转变；对于忻州、吕梁、朔州、运城、晋中等区域，可以适度扩大退耕还林和还草面积，这样既有利于减小化石能源生态赤字，

又有利于发展比农业附加值高的牧业和林业。

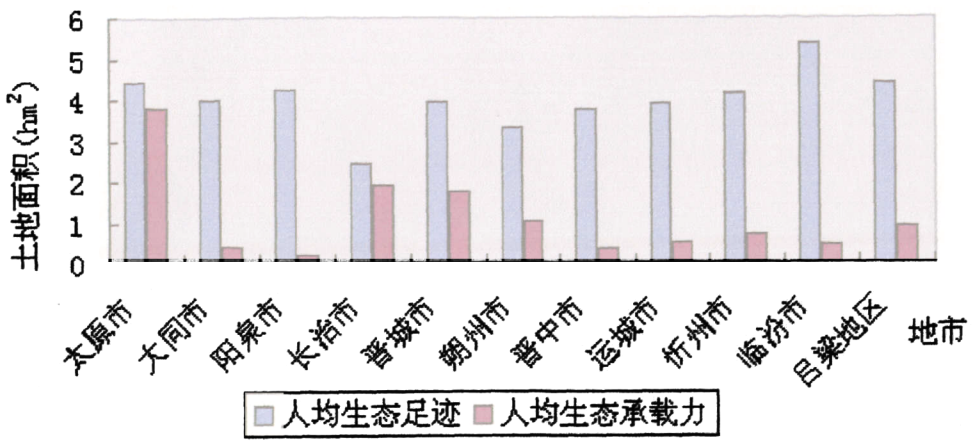


图 4-8 2005 年山西省 11 个地市人均生态足迹与人均生态承载力比较

Fig.4-8 Ecological footprint and ecological capacity of 11 districts in Shanxi in 2005

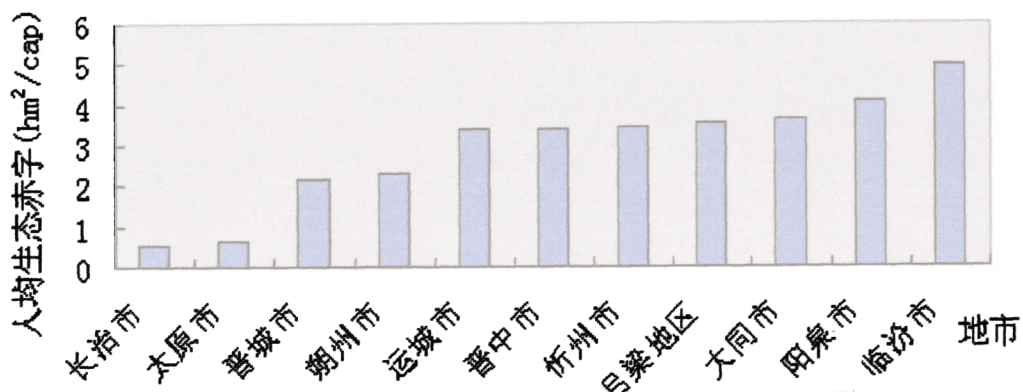


图 4-9 2005 年山西省 11 个地市人均生态赤字排序

Fig.4-9 Ecological deficit of 11 districts in Shanxi in 2005

## 4.3 山西省主要生态环境问题分析

### 4.3.1 存在的主要生态环境问题

（1）环境污染严重，加剧了生态失衡

由前所知，山西省生态足迹的增加主要是由化石燃料用地的增加所导致的，这就意味着山西单一的能源消费，即以煤为主的重工业产业结构对山西省的生态足迹需求产生着直接的影响，以煤为主的消费需求，增加了生态足迹需求量，从而导致了一系列的严重的环境问题，最直接的就是环境污染问题。

山西省大气和水环境质量整体处于高污染水平。2005 年全省 11 个重点城

市环境空气质量均未达到国家二级标准，仅太原市、长治市达国家三级标准。临汾、阳泉、大同分列全国 113 个环保重点城市空气污染综合指数由重到轻排序的前三位，2005 年全国 43 个城市空气质量劣于三级的城市名单里面山西省就占了 16 个，见表 4-12。全省大气污染呈现出由点源到面源，逐步扩大的趋势。2005 年全省地表水监测的 103 个断面中，仍有 62.1%的断面为劣 V 类，部分城市集中式水源地表水质和地下水源受到不同程度污染。全省固体废物产生量持续增长，仍是全国排放量最大的省份。垃圾处理能力明显不足，城镇生活垃圾、农村生活垃圾的产生量不断增加，大部分未得到无害化处理；危险废物和医疗废物安全处置设施尚在启动阶段。

表 4-12 2005 年全国城市空气质量劣于三级的城市

Tab.4-12 The cities of national city air quality is inferior to there level in Shanxi in 2005

| 省市区 | 城市名称 |
|---|---|
| 河北 | 邢台市 张家口市 承德市 |
| 山西 | 古交市、大同市、阳泉市、晋城市、高平市、朔州市、晋中市、介休市、运城市、永济市、忻州市、临汾市、侯马市、霍州市、吕梁市、孝义市 |
| 内蒙 | 乌海市、巴彦淖尔市 |
| 湖北 | 恩施土家族苗族自治州 |
| 广西 | 河池市 |
| 四川 | 眉山市、宜宾市 |
| 贵州 | 凯里市、都匀市 |
| 云南 | 昭通市 |
| 陕西 | 兴平市、韩城市 |
| 甘肃 | 兰州市、金昌市、白银市、合作市 |
| 青海 | 格尔木市 |
| 宁夏 | 吴忠市、固原市、中卫市 |
| 新疆 | 乌鲁木齐市、吐鲁番市、阿图什市、喀什市、和田市 |

日趋严重的环境污染，恶化了人们的生存空间，降低了人们的生活质量；使区域经济的发展背上沉重的包袱；也恶化了投资硬环境，造成资金和人才的流失，使企业的发展受到一定的影响。进而制约了经济发展，加剧了生态失衡，使全省经济、社会、环境协调发展的矛盾更为尖锐。

2005 年国家环境规划院以万元 GDP 能源消耗、水资源消耗、$SO_2$排放、COD 排放等四个指标为基础，提出了基于科学发展观的衡量地区经济发展的绿色距离和绿色贡献概念。对全国 31 个省（自治区、市）五年的经济发展与环境资源之间的关系进行了评估，山西基本上处于“黑色经济”发展阶段，所有指标差距都比较大[54]。

（2）矿山开发破坏严重

山西省多年以煤炭为中心发展经济，煤炭产量占全国总产量的 25.26%，省际交易量占全国的 70%以上，由于煤炭开采造成的生态破坏是山西的主要生态环境问题，主要体现在对水资源和土地资源的破坏。长期采煤对水资源的破坏面积已达 20352 平方公里，占全省国土面积的 13%，严重破坏区面积占到 1.7%；矿产资源的开采造成大面积地表沉陷，2005 年累计已达 3000 平方公里，采空区面积达 5000 平方公里，且每年以 74 平方公里的速度递增；煤矸石累计堆存量已达 10 亿吨，占地达 200 多平方公里，且每年新增约 4000 多万吨；矿山生态总体恶化的趋势尚未扭转，全省地质灾害分布面积超过 6000 平方公里，占到全省国土面积的 3.83%。

（3）水土流失严重，土地质量下降

山西省由于地处黄土高原东部，地面 53%被黄土覆盖。疏松的黄土，高低悬殊的地形，多暴雨的降水形式，构成了水土流失严重的自然因素。再加上缺乏植被保护的坡耕地、弃耕荒地和植被覆盖率及低的荒草地和灌木草地面积广大，导致山西成为全国水土流失最严重的区域之一[55]。截止 2005 年底，全省共有水土流失面积约 10.8 万平方公里，全省 50 个贫困县全部集中在水土流失严重区，侵蚀模数大于 1 万吨/平方公里的地区占 1/10。

水土流失造成地表破碎、沟壑纵横，增加了地形坡度，破坏了土壤持水能力，影响到林草植被的正常生长，使地表植被退化，加剧了旱情灾害的发生，并影响到农业收成。由于地表植被的退化和下垫面状况的影响(指地表起伏情况)，又进一步加剧了生态环境的恶化。

（4）水资源短缺，浪费和污染严重

山西是全国水资源严重缺乏的省区之一，水资源不足是山西省生态环境脆弱的根本原因，也是经济发展与生态恢复的强大制约因素，水资源问题已成为制约山西经济社会可持续发展的主要“瓶颈”[56]。到 2005 年，全省 24 条河流，已有 83%的受到不同程度的污染。采煤区每年排出矿井污水约 4 亿吨，而且

用于洗煤的水高达 500 万立方米[57]。山西的污水工业回用率仅为 0.9%，而发达国家的污水工业回用率已经达到 30%～50%。

（5）土地沙化严重，扬沙、沙尘暴频繁

截止 2005 年，山西省土地沙化面积约 $3.3334\times10^4$ 平方公里，占全省总面积的 21.3%。沙漠化作为一种自然灾害，首先表现为土壤风蚀，使可利用耕地逐渐粗化，土坡肥力下降，最终造成土地生物生产量的降低[58]。由于该区地处我国北方生态环境脆弱的农牧交错带，地表沙黄土广布，土坡沙性较大并缺乏团粒结构和粘性物质，加上植被覆盖率低，气候干旱多风，有利于风对沙质地表的吹蚀作用，这就有助于沙尘暴及扬沙的形成，近年来，沙尘暴发生的频率越来越高。土壤的风蚀沙化常给居民生产、工作和生活带来诸多不便，同时也污染环境。

（6）植被稀疏，森林破坏严重

全省自然生态系统脆弱，植被覆盖率低，裸露和覆盖度低的土地占总面积的 43.1%。森林是陆地生态系统的主体，是形成区域性气候、水文条件和地理景观的决定性因素，它具有多种生态功能和生态效益。森林生态系统对周围环境能产生巨大的影响，改变着一系列物理条件和生物条件，具有强大而持久的调节气候、涵养水源、保持水土、防风固沙、净化环境污染、消除噪声、防止和减免自然灾害等多种生态功能。森林生态系统的破坏引发了诸如水土流失、土地退化加剧、自然灾害频繁等一系列生态环境问题。

### 4.3.2 成因分析

根据上文的分析及表 4-8 可以看出，由于山西省能源重化工基地的经济地位，全省工业以煤炭和其相关产业为主体，能源消费在需求里占到绝大多数，能源用地每年都在 70%以上，并且其绝对数量在全国来说也是最高的，造成了这样大的生态赤字。也就是说山西省需要大量土地去吸纳产生的 $CO_2$ 和其它废弃物，然而事实上并没有为吸收排出的 $CO_2$ 留出土地，可见供给和需求的冲突是非常尖锐的。而且根据长达 11 年的分析可以看出，能源消费这种增长的态势在短期内很难得到遏制，特别是在全国经济快速发展，南方能源供应紧张的情况下，山西能源消费的增长速度还有可能更快，给山西省的生态环境带来更大的负担。

山西省虽然耕地面积不算小，但是质量不高，旱地多，水浇地少。因此

耕地也出现了生态赤字。山西省还是一个少林的省份，虽然近年来不断进行大规模的造林活动，森林覆盖率有很大提高，勉强生态盈余，但是森林覆盖率仅 20%，略高于 18.21%的全国平均水平，远远低于 30.2%的世界平均水平。相信随着人们生活水平的提高，对林产品的需求还会有很大增加，林地也很难保持生态盈余了。近年来，山西省草地资源退化严重，主要是由于过度放牧，只利用不养护，草地严重超载，“三化”现象严重，也出现了生态赤字。山西省的水资源比较缺乏，本文统计的水的需求仅仅是食物上对水的需求，实际的需求远不止这些，特别是煤炭、钢铁等行业更是需水大户，即使这样目前还是出现了生态赤字，因此水资源短缺是山西省经济发展的瓶颈问题。节约、合理利用水资源，对山西省发展经济减少生态足迹意义重大。

# 第五章 山西省生态环境建设对策研究

山西省生态恢复的关键是建立一个良性、高效的生态系统，打造“生态省”是今后的工作目标。但是，措施一定要得当、合理，恢复工作要针对实际问题进行，真正把生态和经济这两个系统统一起来，达到生态效益和经济效益的互补，促进生态和经济的和谐发展[59]。本文通过对山西省十年生态足迹的实证研究所得数据进行分析，结果表明，山西省的十年一直出现了较大的生态赤字，说明山西省已经处于不可持续发展的状态，并且今后生态赤字还在不断扩大。山西省的生态赤字的变化与化石燃料的足迹有一定的相关性，这与山西省是中国能源大省的省情是分不开的。针对这种结果，试提出了能够促进山西省生态与经济社会可持续发展的一些建议。

## 5.1 宏观战略对策

（1）退耕还林，恢复草被

由前面对山西省 11 年来的生态足迹和生态承载力的计算结果可以看出，山西省生态足迹需求和供给严重依赖于耕地。研究证明，坡耕地是造成山西省严重水土流失最根本的人为原因。而林地和牧草地既有良好的生态效益，又有良好的经济效益，如：保持水土、涵养水源、净化大气、美化环境和调节气候等。因此，退耕还林，恢复草被，合理利用土地对生态环境的保护和恢复起着举足轻重的作用。

（2）严格控制人口数量，提高人口素质

巨大的人口数量是资源短缺问题的根源，庞大的人口规模使得其资源消耗也是巨大的，从而造成了其过高的生态赤字。所以，有效控制人口数量，保护现有的土地资源是逐渐使山西省生态恢复到可持续发展状态的重要途径。但是人口的增加在近期内不可避免，那么普及教育，提高人们的文化素质，提高人们的环境保护意识，改变人们对生活质量的看法，使人们认识环境保护的重要性，在提高生活质量的同时注意节约资源，同时提倡健康环保的生活方式，改变人们以往追求片面的物质享受的消费方式，这些对于减缓生态足迹的增长都具有十分重要的意义。

## 5.2 管理对策

（1）提高土地资源利用效率，加快生态环境建设

近年来，保护生态环境的重要性和迫切性已经引起广泛关注和认可。山西省也加强了环境保护力度，营造生态林，实施了天然林保护工程、退耕还林还草工程、流域水土流失综合治理工程等，今后仍要在这方面加强，继续扩大生态环境建设投资，加强管理。加快人工草场改良、耕地坡改梯、生态水利技术设施建设等，提高土地生产力和生态环境对$CO_2$等废物的吸纳能力，提高单位面积可提供的生态生产性土地。

另外要做到合理开发利用土地资源，提高土地资源利用效率。首先要从树立积极的资源保护观入手，一方面顺应经济发展需要，树立新的资源利用观念，努力推进土地资源配置的市场化；另一方面，要树立正确的资源保护观，强化土地资源保护不是简单的封存或消极的控制的意识。耕地保护不仅是对耕地面积的保护，也包括通过提高耕地的质量，从总体上实现保护与提高粮食综合生产能力，还包括根据经济发展的阶段性、区域性特点，对耕地实行战略储备，并扩展到全部农用地，把耕地保护纳入到整个资源生态系统综合保护。其次，进一步强化土地利用规划的宏观调控作用。积极建立与相关规划协调的土地利用规划体系，实行对土地资源利用和保护的有效调控。积极开展土地利用总体规划修编试点工作，根据可持续发展要求，从当前和长远，局部与全局等多角度，从协调人口、资源、环境的关系，协调经济布局与资源利用的关系，从协调土地供应与地区经济发展需求的关系出发，全面开展各级土地利用总体规划修编前期研究，尽快确立土地利用总体规划修编思路和方法，确定科学合理的规划指标，满足经济快速发展的客观需要与土地资源保护的要求。再次建立土地集约利用机制，提高土地利用效率。通过制度规范、市场调节和技术应用等综合手段，减少土地的粗放利用和闲置浪费，提高土地利用水平。开展土地利用潜力和后备资源开发利用制约因素的研究，充分挖掘农用地、工矿废弃地的潜力。加强综合生态环境建设和农田水利建设，加大中低产田改造力度，提高耕地产出率。对存量建设用地要采取多种形式积极推行有偿使用，优化城镇建设用地潜力。要进一步改进城市建设用地审批制度，研究建立建设用地评价指标体系与核定制度，提高占用新增建设用地的门槛，抑制城镇用地规模盲目扩张。

除此以外，还可以从增加农作物产且、减少农业对环境的压力污染入手，加强农业科技进步，加强农业科学研究，推进新的农业技术革命，靠提高单

产来满足需要。具体方法有:充分利用生物的遗传潜能，在种子资源的创新和开发利用上下功夫，大力开展生物技术等高新技术研究，力争在转基因品种选育、生物农药研制、家畜胚胎移植、畜禽和水产疫病防治、基因工程疫苗等方面取得重大突破。加强农副产品的循环利用技术研究，在农产品保鲜、储藏、加工、包装、运输、增值和标准化方面实现新的进展，努力提高资源利用率。组织多方面力量对生态和环境安全、食物安全问题、农药和化肥问题等开展综合研究，使农业在增产增收的同时，少污染、不污染、改善农业的资源环境。加强对当前急需的节地、节水、节能技术、水资源的保护、水质的改进以及灌溉工程技术的研究。深化农业科技体制改革，完善农业科技成果转化机制，增加农业科技的财政投入。

（2）调整和优化产业结构,推进环境保护和经济建设同步发展

山西省由于长期以来片面发展以采煤为主的经济,使产业结构不合理,现已陷入了落后的原料型产业构架。以高污染的采煤、洗煤、炼焦、火力发电、钢铁、炼铝、化工、水泥、建材、造纸等企业为主,是山西省生态环境破坏的主要原因。要建设和恢复山西省的生态环境，就要从传统的高投入、高耗能、低效率、低产出的粗放式的增长方式，转变为低投入、少消耗、高效益、高产出的集约型增长方式。大力发展高效农业、旅游业和含科技量高的新型产业，并引导各产业向生态化方向发展，实现各产业的发展要与生态环境相协调、相促进，在生态环境可持续发展的基础上实现各产业之间的协调持续发展，最终实现环境保护和经济建设的同步发展。

（3）深化煤炭加工,提高能源利用率

山西省是全国规模较大的能源基地，尤其是煤炭是山西省乃至全国的主要能源，山西省煤炭工业在“十五” 期间共生产煤炭 21.26 亿吨,占同期全国煤炭产量的 1/4 以上；累计外调煤炭 16.26 亿吨,占同期省际煤炭净外调量 70%以上；累计煤炭出口 2.04 亿吨,占同期全国煤炭出口的 50%以上。山西的煤大多是炼焦煤、炼油用煤和无烟煤,都是很好的化工原料,如进行煤炭综合利用、深加工,其产值可提高若干倍,特别是煤焦油加工大有可为,可提高价值几十倍[60]。此外,还可以大力开发利用煤层气瓦斯,这既利于煤矿安全生产,减少瓦斯爆炸的灾害,又能提供低污染的新能源,以减少省内因煤炭巨量消费而造成的环境污染[56]。

（4）建立煤炭业生态链，发展循环经济

模拟生态系统功能，建立“生产者—消费者—还原者”矿业生态链。通过法律、行政、经济等调控手段，把整个煤炭及其他矿业系统的结构规划组织成“资源生产”“加工生产（深加工与综合利用）”“还原生产（副产品资源化以及矿井关闭后整修土地、绿化环境等）”三大部门结构，构成煤炭业生态链[61]，发展循环经济。

通过推行循环经济政策，建设节约型社会，提高对矿产、能源的利用率。从化石燃料地占总生态足迹比例（全省平均78.52%）的情况来看，山西省不是发达的工业型省份，然而其能源消耗巨大。因此，山西的高速发展不仅对自身也对其外部环境造成了很大压力。通过推行循环经济政策，建设节约型社会，充分利用矿产、能源，提高它们的利用率，这些都是降低山西省整体生态赤字、改善生态环境的一个重要方面。

（5）以实施“蓝天碧水”工程为主，改善重点区域环境质量[54]

“蓝天碧水”工程针对全省11个重点城市和32个县（市），这些地方是全省污染最严重的区域，二氧化硫排放量占全省的79%，烟尘排放量占全省的73%，粉尘排放量占全省的54%。工程实施范围内，环境污染严重状况实现明显好转，11个重点城市建成区的大气环境质量得到改善。解决了这些重点城市和区域的环境问题，山西的整体环境状况将会有明显改善。城市环境综合整治的主要任务是：在工程实施范围内加强工业污染防治的同时，要突出以下几方面工作。一是通过发展集中供热、供气、改变燃烧方式和燃料结构，禁烧原煤，治理城市生活面源污染；二是加强城市污水、垃圾无害化处理设施建设；三是控制城市扬尘污染，重点加强料堆、煤堆、渣堆及建筑施工场地等重点扬尘点的封闭、抑尘设施建设和管理，实施重点煤场异地搬迁，严格控制交通运输扬尘污染；四是治理机动车尾气污染，在市区内禁止尾气排放超标车辆上路行驶；五是合理布局，实施污染源异地搬迁，加强城市生态建设。

（6）建立健全环保管理体制，完善公众参与机制

发展经济、保护环境，一方面，要求每个人树立环保意识，从自身做起，促进生态系统发展平衡；另一方面，国家、地方政府要严格调控、协调人地关系，必要时采取强有力的措施，预防和制止在发展经济中一些不必要的对生态环境的破坏，加快山西省的行政体制改革步伐，从根本上改变部门分割、条块分割、多头管理及利益主体多元化的现象，尽快建立统一的有权威的环保

管理体制。同时加强环保立法执法的力度，依法取缔和关闭工艺落后及污染严重的小型企业。

## 5.3 生态投资对策

（1）加大招商引资力度，争取外资投入

将利用外资方式从传统的政府开发援助向外商投资扩展，鼓励、吸引外国公司或省外公司进行环保投资、建设，积极促成外资与省内企业的合作，争取更多外国政府开发援助和优惠贷款、赠款。

（2）发展具有山西特色的旅游业

山西省是旅游资源大省，尤其是人文旅游资源丰厚独特，尤其以古建筑、佛教文化、晋商文化为主，所以山西省必须树立“大旅游”观念和旅游支柱产业的观念，不仅要把旅游作为一项事业，更应作为一种重要的支柱产业去发展，以实现旅游资源大省向旅游经济大省的转化[60]。这样既可以带动全省的经济发展，又可以保护环境，促进二者的协调发展。

# 第六章 结语

## 6.1 结论

本文根据国内外对生态足迹理论的研究现状，针对当前山西省生态破坏和环境污染越来越严重的危机，对山西省的生态环境质量进行了研究。主要结论如下：

①山西省的生态足迹在 1995-2005 年中除个别年份外都呈上升趋势，且 11 年间一直存在生态赤字，也呈上升趋势，说明山西省生态环境不安全，处于严重的不可持续发展状态。

②山西省的生态足迹中能源足迹是最大的，平均占到总足迹的 78.52%，这就充分反映了山西单一的能源结构，即以煤炭开发为主导的能源结构，而这种单一的能源结构也是导致山西省生态环境恶化（生态赤字）的主要原因。其次是耕地足迹，平均占到总足迹的 12.62%，说明山西省生态足迹需求和供给严重依赖于耕地，分析的出这也是导致山西省生态环境恶化的重要原因。

③计算了山西省各地市的生态足迹，进而得出各区域间生态环境恶化的区域差异。根据生态赤字分类方法中，长治市的生态赤字最小，其次是太原、晋城、朔州、运城、晋中、忻州、吕梁地区、大同、阳泉，最后是临汾市。只有长治和太原处于相对安全状态。各地应因地制宜的采取相应的改善措施，对太原、大同、阳泉、临汾、晋城等资源型城市，重点进行产业结构调整；对于忻州、吕梁、朔州、运城、晋中等区域，可以适度扩大退耕还林和还草面积，这样既有利于减小化石能源生态赤字，又有利于发展比农业附加值高的牧业和林业。

④山西省目前存在的主要生态环境问题是：环境污染严重，加剧了生态失衡；矿山开发破坏严重；水土流失严重，土地质量下降；水资源短缺，浪费和污染严重；土地沙化严重，扬沙、沙尘暴频繁；植被稀疏，森林破坏严重。主要原因是由于山西省长期依赖以煤炭及其相关产业为主体的单一产业结构模型的能源重化工基地的经济地位，生态蚕食长期积累的结果。

## 6.2 不足之处

由于研究时间和资料的限制，本文还存在着数据获取、数据处理、数据

运算方面的问题。如：人类消耗的所有生物资源的统计数据目前无法获得，只能选取一些比较有代表性的项目，这就影响了结果的精度；对水资源的消费计算仅仅考虑了生活消费，使得生态足迹的值偏小；本研究贸易调整部分，主要考虑了能源的贸易，其他部分则没有考虑，主要是因能源的贸易量占到了山西省贸易的大多数，其他部分相对较小，并且其进出口部分在一定程度上可以相互抵消。

生态环境评价研究本身具有复杂性，生态足迹评价方法还存在不能足以全面应对的问题，这也是本研究应继续加以研究解决的方向。可以预见，未来生态足迹分析法将逐渐完善，并有效地促进人类对可持续发展的探索。

## 参考文献

[1] 夏军. 区域水环境及生态质量评价[M]. 武汉:武汉水利电力大学出版社, 1999: 144～159

[2] 谢志仁, 刘庄. 江苏省区域生态环境综合评价研究[J]. 中国人口资源与环境, 2001, 11(3):85～88

[3] 叶文虎, 栾胜基. 环境质量评价学[M]. 北京:高等教育出版社, 1994:86～112

[4] 芦彩梅, 郝永红. 水土保持通报[J]. 山西省区域生态环境质量综合评价研究, 2004, 24(5):71～73

[5] 刘鲁君, 叶亚平. 县城生态环境质量考评方法研究[J]. 环境监测管理与技术, 2000, 12(4):13～17

[6] 武晓毅. 区域生态环境质量评价理论和方法的研究: [D]. 太原: 太原理工大学环境工程系,2006

[7] 毛文永. 生态环境影响评价概论[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1998:92～95

[8] 姚建. AHP法在县域生态环境质量评价中的应用[J]. 重庆环境科学, 1998, 20(2): 11～14

[9] 朱晓华, 杨秀春. 层次分析法在区域环境质量评价中的应用[J]. 国土资源科技管理, 2001, 18(5):43～46

[10] 王华东. 环境质量评价[M]. 天津:天津科学技术出版社, 1991:150～156

[11] 谢宏斌. 环境质量评价与预测方法的现状[J]. 四川环境. 1998, 17(3):37～40

[12] 叶文虎, 栾胜基. 环境质量评价学[M]. 北京:高等教育出版社, 1997:97～103

[13] 徐福留. 城市环境质量多级模糊综合评价[J]. 城市环境与城市生态, 2001, 14(2): 13～15

[14] 李祚泳, 邓兴民. 综合环境质足的B. P网络二级评价[J]. 环境科学研究, 1995, 8(3): 32～35

[15] 李祚泳. 城市综合环境质量的物元分析评价[J]. 环境科学, 1995, 16(5):76～79

[16] Wackernagel M, Rees W E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth [M]. New Society, Gabrioala, B C, Canada, 1996

[17] 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(1):3～24

[18] Wackernagel M, Monfreda C, Moran D, et al. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005:The underlying calculation method [R]. Global Footprint Network. Oakland, CA, USA. 2005

[19] 徐中民,陈国栋. 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, (9):1490～1492

[20] 刘晓燕. 亚欧大陆桥新疆段沿途主要城市总体环境质量评价[J]. 新疆环境保护, 1993, 15(3):48～56

[21] 刘建军,赵智刚,牛永绮,等. 用密切值法评价沙湾荒漠区生态环境质量[J]. 干旱环境监测, 1997, 11(2):70～74

[22] William E R Revisiting Carrying Capacity:Area-Based Indicators of Sustainability [A]. In:Wackernagel M, ed. Ecological Footprints of Nations[EB/OL]. http:// www.ecouncil accr/rio/focus/report/english/footprint/, 1996

[23] 宋旭光. 可持续发展侧度方法的系统分析[M]. 大连:东北财经大学出版社, 2003

[24] 龙爱华,张志强,苏志勇. 生态足迹评介及国际研究前研[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6):971～981

[25] Wackernagel M, Monfreda C, Deumling D. The Living Planet Report 2002[R]. World Wild Fund for Nature International(WWF), Grand, Switzerland, 2002

[26] Loh J, Wackernagel M. The Living Planet Report 2004[R]. World Wild Fund for Nature International(WWF), Grand, Switzerland, 2004

[27] Global Footprint Network, 2005. National Footprint and Biocapacity Accounts [EB/OL]. 2005-12-10. http://www.footprintnetwork.Org

[28] 王书华,毛汉英,王忠静. 生态足迹研究的国内外进展[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6):776～782

[29] Wackernagel M, Onistol, Bello P, et al. Ecological Footprints of Nations[M]. Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum. Toronto:International Council for Local Environmental Initiative, 1997, 4～12

[30] Wackernagel M, Onistol, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29: 375～390

[31] Wackernagel M, Moran D, Goldfinger S, et al. EUROPE 2005——The Ecological Footprint [R]. WWF, et al, Grand, Switzerland, 2005

[32] Wackernagel M, Kitzes J, Cheng D, et al. ASIA-PACIF-IC 2005——The Ecological Footprint and Natural Wealth[R]. WWF, et al, Grand, Switzerland, 2005

[33] 徐中民. 可持续发展与水资源承载力测度[D]. LIGG, CAS, 2000

[34] 徐中民, 张志强, 程国栋. 可持续发展评价指标回顾[J]. 中国人口资源与环境, 2000, 10(4):60～64

[35] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型[J]. 生态经济, 2000, (10): 8～10

[36] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省1998年生态足迹计算与分析[J]. 地理科学, 2000, 55(5):607～616

[37] 徐中民, 陈东景, 张志强, 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

[38] 苏筠, 成升魁, 谢高地. 大城市居民生活消费的生态占用初探[J]. 资源科学, 2001, 23(6):24～28

[39] 席建超, 葛全胜, 成升魁, 等. 旅游消费生态占用初探——以北京市海外入境旅游者为例[J]. 自然资源学报, 2004. 19(2):224～229

[40] 章锦河, 张捷. 旅游生态足迹模型及黄山市实证分析[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 771～793

[41] 秦耀辰, 牛树海. 生态占用法在区域可持续发展评价中的运用与改进[J]. 资源科学, 2003, 25(1):1～8

[42] 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

[43] 杨开忠, 杨永, 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

[44] 郑军南, 严力蛟. 区域生态足迹测算及其应用研究[J]. 科技通报, 2007, 23(4): 473～478

[45] Hardi P, Barg current practice. S, Hodge Tetal. Measuring sustainable development:Review of Occasional paper number, 1997, 1～2, 49～51

[46] 岳东霞, 李自珍. 甘肃省生态足迹和生态承载力发展趋势研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(3):454～463

[47] 山西省统计局. 山西统计年鉴2006[Z]. 北京:中国统计出版社, 2006

[48] 山西省统计局. 1996-2006年山西省统计年鉴[Z]. 北京:中国统计出版社, 2006

[49] 山西省农村社会经济调查队. 1995-2005年山西省农村统计年鉴[Z]. 太原:(内部资料), 2006

[50] Wackernagel M, Rees W. Our Ecological Footprint:Reducing Human Impact on the earth[M]. Gabriola Island:New Society Pulbishers, 1996

[51] Mathis Wackernagel, William E Rees. Our Ecological Footprint:Reducing Human Impact on the earth. Gabriola Island, B. C, Canada:New Society Fublishers, 1996

[52] Wackernagel M Yount J D. Footprint for sustainability:the next step[J]. Environment, Development and Sustainability, 2002, 2:21～42

[53] 薛国珍. 基于生态足迹模型的山西省可持续发展状态研究:[D]. 太原:山西大学黄土高原研究所, 2006

[54] 山西省人民政府办公厅. 山西省人民政府文件[EB/OL]. 网址: http://www.shanxigov.cn/gb/zgsx/zwgk/zcfg/szfwj/jzf/userobject1ai42411.html, 2006-9-28

[55] 山西省计划委员会. 山西国土资源概论[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1994: 323～436

[56] 刘忠方, 贾文毓. 山西省可持续发展中的环境问题及其对策研究[J]. 山西师范大学学报, 2005, 19(1):100～102

[57] 高峰. 山西能源环境问题及对策[J]. 经济问题, 2002, (5):60～62

[58] 马义娟, 苏志珠. 晋西北地区土地沙漠化与农业可持续发展研究[J]. 干旱区地理, 1998, 21(3):59～64

[59] 韩锦涛. 山西当前的生态问题和改善途径[J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16(10): 117～118

[60] 张维邦. 对山西经济可持续发展问题的思考[J]. 山西大学学报, 2001, 24(2):70～75

[61] 王素琴. 山西省煤炭业引起的环境问题及治理对策[J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16(10):105～106

## 致 谢

本论文是在导师--尹怀宁教授的悉心指导下完成的，在三年的研究生学习生涯中，导师在学习、生活等方面均给予了我无私的帮助和支持，他不仅教授了我许多知识，还使我学到不少做人的道理，使我受益匪浅。在此，谨向我的导师尹怀宁教授致以崇高的致意和衷心的感谢！

三年来，学院老师们的敬业精神、脚踏实地的作风、平和谦虚的为人、团结奋进的精神风貌为我树立了良好的榜样，这种潜移默化的作用将对我今后的工作、学习起着不可估量的影响。在此一并表示感谢！

我还要向我的同学们，室友们表示感谢，尤其是郭慧、许妍、郑海霞、汪瑞芳、张翠丽、刘华琳等三年来给予我很多帮助和鼓励，三年的学习生活使我们结下了深厚的情谊，在此祝愿你们工作顺利、前程似锦！

最后感谢我的家人多年来对我无微不至的关心与爱护，没有你们的鼓励与支持，我将无法完成学业，在此祝你们身体健康、万事如意！

夏秀红

2008年5月于辽宁师范大学