

# 基于生态足迹的资源型城市可持续发展能力分析

## ——以山西省晋城市为例

李炳意, 师学义

(中国地质大学 土地科学技术学院, 北京 100083)

**摘要:**以新型城镇化进程中典型资源型城市——晋城市为研究对象,采用生态足迹综合账户模型,以2004—2013年共10 a的生物资源平均产量作为动态参照,选取了较新的均衡因子,利用NPP(净初级生产力)客观合理地确定了各土地类型产量因子,在此基础上对晋城市2004—2013年的生态足迹进行了计算,并引入单位万元GDP生态足迹、生物多样性指数、生态足迹发展能力和生态压力指数四项指标,多方面综合分析了晋城市的可持续发展能力。研究表明:2004—2013年晋城市人均生态足迹呈递增趋势,人均生态承载力略微减少,生态赤字呈现上升趋势,单位万元GDP生态足迹逐年减少,生态多样性指数基本保持不变,生态经济系统发展能力有所提高,生态压力不断增大。其主要原因为人口总量增加、经济增长带动消费水平提高、能源需求所占比重较大以及土地利用效率较低。据此,提出优化产业结构,提高土地利用效率,控制人口规模,保护生态环境的对策以提高晋城市可持续发展能力。该研究在一定程度上丰富了城市生态安全研究案例,为经济发展转型中的资源型城市可持续发展提供决策依据。

**关键词:**生态足迹;生态承载力;可持续发展;资源型城市;晋城市

**中图分类号:**F301.24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2016)02-0255-07

## Analysis of Sustainable Development Capacity in Resource Cities Based on Ecological Footprint Model —Taking Jincheng City of Shanxi Province as an Example

LI Bingyi, SHI Xueyi

(College of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** We selected Jincheng City as a typical resource city in the process of new urbanization to explore its sustainable development capacity according to the Account Model of Ecological Footprint Compound Approach. To be specific, we used the average yield of ecological resource from 2004 to 2013 as the dynamic reference, selected newly equivalent factors and rationally determined the yield factors of various land types under the method of net primary production (NPP). And then we calculated the ecological footprint (EF) during 2004—2013 to evaluate the sustainable development capacity based on 4 indicators such as EF per ten thousand GDP, biodiversity index, the development ability of EF as well as the ecological tension index. The results showed that the EF per capita of Jincheng was increasing during the period from 2004 to 2013 while the ecological carrying capacity per capita was slightly decreasing. What's more, the ecological deficit was getting worse, the EF per ten thousand GDP was continually dropping while the biodiversity index almost remained unchanged. Although the eco-economic system improved, the ecological tension built up. Main reasons included total population increase, the enhancement of consumption level driven by the economic growth, the huge proportion of energy demand plus the relatively lower land use efficiency. Accordingly, we suggest optimize the industrial structure, improve land use efficiency, control population size and protect ecological environment to increase the sustainable development capacity. This study enriched the case study of urban ecological security to a certain extent, providing effective basis for the sustainable development of resource city in the process of economic transformation.

**Keywords:** ecological footprint; ecological carrying capacity; sustainable development; resource city; Jincheng City

进入 21 世纪以来,经济发展成为我国各地区的主要目标和任务,但随之也给人类所处的生态环境带来巨大压力,资源、环境与经济三者的矛盾日益突出,各类生态问题的不断出现严重威胁到人类的生存环境。科学合理地评价人类活动对区域自然环境的压力和区域生态系统的承载力,是实现社会经济及生态可持续发展面临的重要问题<sup>[1]</sup>。生态足迹法,由加拿大生态经济学家 William 和其博士生 Wackernagel 提出,用于衡量人类对资源的利用程度以及生态环境为人类提供的服务功能。自其提出以来,生态足迹的研究广泛应用到了不同领域和方面。在模型计算方法方面,经济学家 William 和其博士 Wackernagel 建立了生态足迹综合法账户模型计算框架<sup>[2]</sup>,Simmons 和 Chambers 提出了成分法,之后 Lewis 和 Barrett 又对其进行了完善<sup>[3]</sup>,Bicknell 等提出了投入产出法的计算模型<sup>[4]</sup>,生态学家 HT Odum 提出了生态—经济系统研究方法,也就是能值分析方法<sup>[5]</sup>,国内学者侧重于对模型方法的应用研究,如顾晓微等运用成分法对东北大学生态足迹的研究<sup>[6]</sup>,秦耀辰等对生态占用法在区域可持续发展评价中的运用与改进<sup>[7]</sup>。在研究领域与范围方面,生态足迹由最初的生态研究扩展到能源<sup>[8]</sup>、土地<sup>[9]</sup>、国际贸易<sup>[10]</sup>等领域,在空间上则从全球的应用推广到国家<sup>[11-12]</sup>、省<sup>[13-15]</sup>、城市<sup>[16-17]</sup>、县<sup>[18]</sup>、学校<sup>[6,19]</sup>、企业<sup>[20]</sup>等层面,而针对能源型城市的可持续发展能力分析非常少。在生态足迹模型产量因子计算方面,当前国内的生态足迹研究中通常采取 Wackernagel 等计算的 1993 年中国平均产量因子,如成淑敏等<sup>[21]</sup>对京津冀及江浙沪地区 1996—2008 年的生态足迹研究,曲哲等<sup>[22]</sup>对朝阳市 2004—2008 年生态足迹的研究,唐湘玲等<sup>[23]</sup>对新疆 2001—2007 年生态足迹的研究,采用过去年份的全国平均产量因子去研究地区的生态足迹在时间与空间上都不合理,不能体现区域的生产特征,而黄羿等<sup>[24]</sup>对广东省生态足迹的研究,采用各类生态生产性用地的实际产量与全国平均产量的比值计算产量因子,虽解决了时效问题,但实际上是在假设区域内生产活动不会超出土地的承载力,不能合理地体现生产强度对土地的压力。在均衡因子与生物资源平均生产力计算方面,无论是单一年份的生态足迹计算还是引入时间序列的生态足迹分析,均采用了 Wackernagel 等计算得出的 1993 年全球均衡因子和平均生产力,如王录仓等<sup>[25]</sup>对甘南州 2010 年生态足迹的研究,很少有人采用较新的全球均衡因子并依据研究时段选取各年全球平均生产力。在生态承载力计算方面,生态生产性土地面积调整标准不统一,其中马莉等<sup>[26]</sup>在实践中将园地划入林地类型,张芳等<sup>[27]</sup>把园地划入耕地类型,卢明富等<sup>[28]</sup>将园地单独作为一类生态生产性用地进行计算,而土地类型归

属划分的不同又会明显影响生态足迹计算结果,所以有必要明确生态生产性用地调整的标准。

山西省晋城市作为典型的资源型城市,依靠煤炭等资源带动其经济迅速发展,资源消耗严重,区域可持续发展面临严峻挑战。本文以晋城市为例,利用生态足迹模型,选取了 FAO 所提供的 2004—2013 年的生物资源平均产量作为动态参考量,采用了《Living Plant Report》所提供的较新的均衡因子,参照《Living Plant Report》计算生态承载力中对 FAO 统计的各类土地面积数据的归类标准,对我国土地利用现状分类进行了地类的调整,提出了一套调整标准,之后依据晋城市生物及能源资源生产状况的特殊性,利用净初级生产力(net primary production, NPP)更加合理地确定各土地类型产量因子,在此基础上对该城市 2004—2013 年的生态足迹进行计算,并引入与生态环境相关的生物多样性指数和生态压力指数,以及与经济发展相关的单位万元 GDP 生态足迹和生态足迹发展能力两项指标,从多方面综合分析晋城市的可持续发展能力,为利用生态足迹模型分析资源型城市的可持续发展能力提供参考依据。

## 1 研究方法

### 1.1 生态足迹模型

生态足迹模型是通过将区域的生物资源和能源消费转化为提供这些物质流所需要的各类生产性土地类型的面积,并同区域内能提供的生物或能源资源生产性土地面积比较,从而判断这一区域的生产和消费活动是否在当地生态系统的承载力范围内。

生态足迹模型的建立基于以下两种基本事实<sup>[29]</sup>:一是人类可以估计自身消费的绝大多数资源、能源及其所产生的废弃物的数量;二是这些资源和废弃物能折算成生产和消纳这些资源和废弃物流的生物生产面积或生态生产面积。其计算模型为:

$$ef = \sum r_j A_i = \sum r_j (P_i + I_i - E_i) / (Y_i \times N) \quad (1)$$

式中:ef——人均生态足迹(hm<sup>2</sup>/人);*i*——消费项目的类型;*r<sub>j</sub>*——均衡因子;*A<sub>i</sub>*——第 *i* 种消费项目折算的人均生态足迹分量(hm<sup>2</sup>/人);*P<sub>i</sub>*, *I<sub>i</sub>*, *E<sub>i</sub>*——第 *i* 种消费项目的年生产量、年进口量和年出口量;*Y<sub>i</sub>*——生物生产土地生产第 *i* 种消费项目的世界年均产量(kg/hm<sup>2</sup>);*N*——人口数(人)。

$$ec = \sum a_j \times r_j \times y_j \quad (2)$$

式中:ec——人均生态承载力(hm<sup>2</sup>/人);*a<sub>j</sub>*——人均生物生产面积(hm<sup>2</sup>/人);*r<sub>j</sub>*——均衡因子;*y<sub>j</sub>*——产量因子。

将区域总的生态足迹(EF)和生态承载力(EC)

进行比较,当生态足迹小于生态承载力时表示生态冗余(ER),说明生态环境具有可持续性;当生态足迹大于生态承载力时,表示生态赤字(ED),说明生态环境不具有可持续性<sup>[30]</sup>。

1.2 相关指标计算公式

(1) 生态压力指数。生态压力指数为区域生态足迹与生态承载力的比值,体现了地区生态环境的承压程度的大小。其计算公式为:

$$ep=ef/ec$$
 (3)

式中:ep——生态压力指数;ef——人均生态足迹(hm<sup>2</sup>/人);ec——人均生态承载力(hm<sup>2</sup>/人)。

(2) 单位万元 GDP 生态足迹。单位万元 GDP 生态足迹为区域总生态足迹与万元 GDP 的比值,体现了地区自然资源的利用效率。其计算公式为:

$$f=EF/g$$
 (4)

式中:f——单位万元 GDP 生态足迹(hm<sup>2</sup>/万元);EF——区域总生态足迹(hm<sup>2</sup>);g——区域生产总值(万元)。

(3) 生态足迹多样性指数。生态足迹多样性指数体现了不同生态生产性土地类型利用的丰裕度以

及生态足迹分配的公平度,其值越高,说明各土地类型利用的数量越大,生态足迹的分配越平等。其计算公式为:

$$H=-\sum(P_i\times\ln P_i)$$
 (5)

式中:H——多样性指数;P<sub>i</sub>——i 类土地类型生态足迹占总生态足迹中的比例。

(4) 生态经济系统发展能力。生态经济系统发展能力是通过利用系统产出的大小与系统的组织结构(多样性)来体现生态经济系统的发展能力,按 Ulanowicz 的公式,生态经济系统发展能力由生态足迹乘以生态足迹多样性指数得到<sup>[31]</sup>。研究证明其值与 GDP 呈正相关,生态足迹多样性指数越大,生态经济系统发展能力越强<sup>[32]</sup>。其计算公式为:

$$C=ef\times H$$
 (6)

式中:C——生态经济系统发展能力;ef——人均生态足迹(hm<sup>2</sup>/人);H——生态足迹多样性指数。

1.3 生态生产性土地面积调整方法

参照《Living Plant Report》计算生态承载力中对 FAO 统计的各类土地面积数据的归类标准,对应于我国土地利用现状分类并进行地类调整,方法见表 1。

表 1 国内土地面积统计数据匹配生态足迹模型的调整方法

土地类型	FAO 定义	调整方法
耕地	临时农作物地、临时牧草地(收割或放牧)、果菜园地、临时闲置地	耕地面积与园地面积的加和
林地	跨度超过 0.5 hm <sup>2</sup> ;超过 5 m 高,顶棚覆盖超过 10%	直接采用林地面积
牧草地	种牧草、收割或放牧的土地(永久和临时)	直接采用草地面积
水域	内陆水域面积:主要河流、湖泊、水库	三级分类中的坑塘水面、水库水面、湖泊水面、沿海水面与河流水面的面积和
建筑用地	没有统计建筑用地,参照《Living Plant Report》,指用于建筑修建的土地	城镇村及工矿用地、交通运输用地、水域及水利设施用地中的水工建筑用地和沟渠、与其他土地中的设施农用地面积之和
能源用地	生态足迹计算中认为没有预留化石能源用地	参照当前研究结果,认为化石能源用地面积为零

注:由于目前所获得的土地利用现状数据绝大部分是依据第二次土地利用现状调查数据修正所得,所以调整方案针对的是第二次土地调查所使用的分类,其他分类标准可以转换为第二次土地利用现状调查分类标准再进行调整。

2 2004—2013 年晋城市生态足迹计算

2.1 晋城市生态足迹计算

生态足迹包括生物资源消费和能源消费。本文依据晋城市的经济发展状况以及主要资源生产消费情况,选取谷物、豆类等 21 项生物资源消费项目,煤炭、焦炭等 8 项能源消费项目(表 2)。各消费项目数据和人口数据均源于《晋城市统计年鉴》(2005—2014)。2004—2013 年各年份资源消费项目的全球平均生产力采用 FAO 提供的全球平均产量,能源资源消费项目计算需要的各类化石能源折算系数和全球土地平均吸热系数则采取 Wackeraegel 提出的全球平均能源足迹参数。

由于本文研究时段为晋城市 2004—2013 年生态足迹情况,均衡因子取《Living Plant Report 2012》中计算的 2010 年全球均衡因子,其取值为耕地(2.51)、林地(1.26)、牧草地(0.46)、水域(0.37)、建设用地(2.51)、化石能源用地(1.26)。根据以上数据和参数,将各类型土地面积转化为全球平均性生物生产性土地面积,并计算得出各年份的人均生态足迹(表 3)。

2.2 生态承载力计算

生态承载力的计算也就是计算区域的生态供给,即各类生态生产性土地面积折算后的和值。2004—2013 年的各类土地面积是根据晋城市土地利用现状变更调查数据确定的,其中 2004—2008 年数据不是第二次土地调查数据,需将其按照第二次土地调查所

用分类标准进行转换,在此基础上将 10 a 的各类土地、林地、牧草地、水域、建筑用地和化石能源用地 6 地面积数据按本文所提的调整方法(表 1)整合为耕 类生态生产性用地。

表 2 晋城市生物资源和能源消费项目指标

资源类型	土地类型	消费项目
生物资源	耕地	谷物、豆类、薯类、蔬菜、棉花、油料、麻类、蚕茧、水果
	林地	花椒、核桃
	牧草地	猪肉、牛肉、羊肉、奶类、绵羊毛、山羊毛、羊绒、禽蛋、蜂蜜
	水域	水产品
能源资源	建筑用地	电力
	能源用地	煤炭、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气

表 3 2004—2013 年晋城市人均生态足迹

年份	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	化石能源用地	人均生态足迹
2004	0.402866	0.000435	0.219973	0.001984	0.010004	1.166316	1.801579
2005	0.397680	0.000320	0.275469	0.001975	0.011628	1.242330	1.929402
2006	0.425404	0.000162	0.189799	0.002181	0.013565	1.331650	1.962761
2007	0.390006	0.000387	0.201689	0.002741	0.016606	1.434253	2.045681
2008	0.423255	0.000489	0.288131	0.005129	0.016151	1.197780	1.930935
2009	0.342472	0.000619	0.298802	0.005498	0.020762	1.404364	2.072516
2010	0.444308	0.000783	0.325619	0.007244	0.021908	1.504900	2.304762
2011	0.448482	0.000692	0.383346	0.008091	0.021038	1.562665	2.424313
2012	0.476156	0.000733	0.435421	0.007054	0.026935	1.537760	2.484060
2013	0.443466	0.000757	0.447852	0.006776	0.028663	1.634501	2.562015

产量因子体现了区域生产力和全球平均生产力的差异,不同类型土地的生产特点差别较大,需要根据不同类型土地的生产特征选择合适的计算方法。本文采用净初级生产力来确定各类用地的产量因子,用 NPP 代表土地的生物生产力,可使产量因子真实地体现各类用地生产力的差别,从而使生态足迹的计算结果更确切地体现人类消费对生态系统供给的占用情况。

通过用研究区域各土地类型的 NPP<sup>[33]</sup>与相应的

全球 NPP 作比值,可得到各土地类型的产量因子,而耕地由于存在复种情况,本文采用 2010 年晋城市耕地实际平均产量与全球平均产量的热值比计算,建筑用地大部分由耕地转化而来,产量因子参照耕地(表 4)。依据世界环境与发展委员会做出的报告,生态容量中至少有 12% 需要被保存来保护生物多样性,因此在计算生态承载力时应扣除 12% 的生物多样性保护面积。综合以上各类数据,计算得出晋城市 2004—2013 年的人均生态承载力(表 5)。

表 4 晋城市各生态生产性用地产量因子

土地类型	林地	草地	水域	耕地	建设用地	化石能源用地
全球 NPP/(gC·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	699.51	371.18	200.00	46.27(10 <sup>7</sup> kJ/hm <sup>2</sup> )	—	—
山西省 NPP/(gC·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	337.86	265.10	208.03	80.97(10 <sup>7</sup> kJ/hm <sup>2</sup> )	—	—
产量因子	0.48	0.71	1.04	1.75	1.75	0

2.3 生态盈余或赤字计算

通过进行生态足迹与生态承载力的差值计算,得到晋城市 2004—2013 年各年份的人均赤字(或盈余)以及各类生态生产性用地的生态赤字(或盈余)(表 6)。

3 晋城市 2004—2013 年可持续能力

3.1 生态足迹分析

生态需求方面,2004—2013 年晋城市人均生态足迹平均值为 2.15 hm<sup>2</sup>,与 2008 年全国水平(2.1 hm<sup>2</sup>)相近,低于全球水平(2.7 hm<sup>2</sup>),其中耕地人均生态足迹平均值为 0.42 hm<sup>2</sup>,占总人均生态足迹的 19.5%,能源用地人均生态足迹平均值为 1.40 hm<sup>2</sup>,

占总人均生态足迹的 65.14%,说明晋城市的生态消费主要来自化石能源用地和耕地。2004—2013 年晋城市人均生态足迹总体呈增长趋势,10 a 间共增长了 0.76 hm<sup>2</sup>,增长率为 42.21%,其中 2004—2007 年增长了 0.24 hm<sup>2</sup>,增长率为 13.55%,增长速度比较平缓,2007—2008 年减少了 0.11 hm<sup>2</sup>,2008—2013 年增长 0.63 hm<sup>2</sup>,增长率为 32.68%,增长速度较快。化石能源用地生态足迹从 2004 年的 1.17 hm<sup>2</sup> 增加至 2013 年的 1.64 hm<sup>2</sup>,共增长 0.47 hm<sup>2</sup>,占总增长的 61.57%,是拉动晋城市生态足迹增长的主要因素,可见晋城市人均生态足迹逐年增长主要是因为其经济发展对以煤炭为主的能源产业依赖程度非常大。

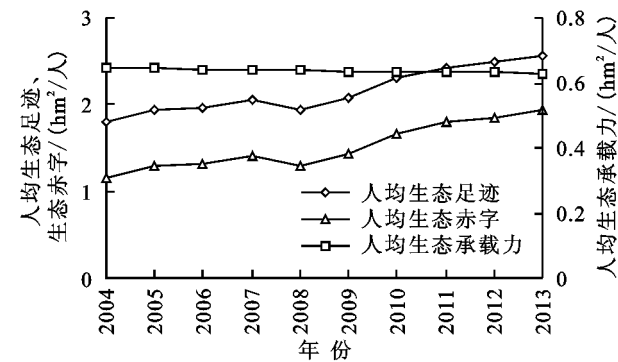


图 1 2004—2013 年晋城市生态足迹动态变化

生态供给方面,2004—2013 年晋城市人均生态承载力平均值为 $0.64\text{hm}^2$ ,低于2008年全国水平( $0.87$

$\text{hm}^2$ ),远小于全球人均生态承载力  $1.8\text{hm}^2$ ,仅为晋城市人均生态足迹平均值的  $29.64\%$ ,其中耕地人均生态供给平均值为  $0.44\text{hm}^2$ ,占总生态供给的  $61.2\%$ ,是晋城市生态供给的主要部分。2004—2013 年晋城市人均生态承载力基本保持不变,总体略微减少,变化趋势与耕地保持一致,耕地生态供给减少是导致晋城市人均生态承载力减少的主要因素,2004—2013 年建设用地占用耕地占耕地总减少量的  $71.24\%$ ,生态退耕占耕地总减少量的  $18.67\%$ ,可见造成晋城市生态承载力减少的主要原因是非农建设用地占用以及生态退耕等引起的耕地生态供给的减少。

表 5 2004—2013 年晋城市人均生态承载力

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	生物多样性保护	人均生态承载力
2004	0.453030	0.114787	0.030228	0.001162	0.135306	0.088142	0.646371
2005	0.453703	0.114962	0.030273	0.001164	0.135777	0.088306	0.647574
2006	0.447232	0.114460	0.029961	0.001155	0.136726	0.087544	0.641990
2007	0.444453	0.113742	0.029738	0.001148	0.136726	0.087097	0.638710
2008	0.443513	0.113494	0.029647	0.001145	0.137132	0.086992	0.637939
2009	0.440831	0.112806	0.029444	0.001138	0.136718	0.086512	0.634424
2010	0.441512	0.112951	0.029457	0.001140	0.137320	0.086686	0.635694
2011	0.438943	0.112289	0.029228	0.001133	0.137605	0.086304	0.632894
2012	0.436913	0.111870	0.029061	0.001130	0.138836	0.086137	0.631673
2013	0.435020	0.111267	0.028835	0.001124	0.139418	0.085880	0.629784

表 6 2004—2013 年晋城市各类土地类型生态赤字或盈余

年份	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	化石能源用地	人均生态赤字
2004	-0.004199	0.100577	-0.193373	-0.000962	0.109066	-1.166316	1.155208
2005	0.001578	0.100846	-0.248828	-0.000951	0.107856	-1.242330	1.281829
2006	-0.031840	0.100563	-0.163433	-0.001165	0.106754	-1.331650	1.320772
2007	0.001113	0.099706	-0.175519	-0.001731	0.103713	-1.434253	1.406971
2008	-0.032964	0.099386	-0.262042	-0.004121	0.104525	-1.197780	1.292996
2009	0.045460	0.098650	-0.272891	-0.004497	0.099550	-1.404364	1.438092
2010	-0.055778	0.098614	-0.299696	-0.006241	0.098933	-1.504900	1.669068
2011	-0.062212	0.098123	-0.357625	-0.007094	0.100055	-1.562665	1.791419
2012	-0.091672	0.097712	-0.409847	-0.006060	0.095241	-1.537760	1.852387
2013	-0.060648	0.097158	-0.422477	-0.005788	0.094025	-1.634501	1.932232

生态盈余和赤字方面,2004—2013 年晋城市 10 a 均为生态赤字,其平均值为  $1.51\text{hm}^2$ ,比全国高  $0.28\text{hm}^2$ ,比全球高  $0.61\text{hm}^2$ ,总体上逐年递增,共增长  $0.78\text{hm}^2$ ,增长趋势与人均生态足迹大体一致,其中耕地在 2005 年、2007 年和 2009 年呈现盈余状态,其余年份呈现赤字状态,并有递增趋势;草地、水域、化石能源用地呈现生态赤字,且有上升态势,其中化石能源人均赤字 10 a 共增加  $0.47\text{hm}^2$ ,是生态赤字增加的主要影响因素;林地呈生态盈余状态,主要是由于晋城市对林产品的消费量较小,建筑用地虽盈余,但总体上呈减少趋势,说明晋城市的城市化对生物生产性土地构成侵占。

3.2 相关指数分析

单位万元 GDP 生态足迹体现了地区自然资源的利用效率,其需求量与资源利用效益成反比。2004—2013 年晋城市单位万元 GDP 生态足迹逐年减少,从 2004 年的  $1.42\text{hm}^2/\text{万元}$  下降到 2013 年的  $0.54\text{hm}^2/\text{万元}$ ,表明在经济增长带动需求消费增加的同时,晋城市对生态资源的依赖度降低,资源的利用效率有所提高,利用方式由粗放型向节约集约型转变。生态足迹多样性指数体现了不同生态生产性土地类型利用的丰裕度以及生态足迹分配的公平度,其值越高,说明生态足迹的分配越平等。2004—2013 年晋城市生态多样性指数总体保持不变,平均值为  $0.94$ ,表明晋城市的各类

土地类型利用的丰裕度与均衡性良好,进而说明晋城市经济发展对各类生态生产性用地的利用影响较小。

生态经济系统发展能力是通过利用系统产出的大小与系统的组织结构(多样性)来描述生态经济系统的发展能力,其值与GDP成正相关。2004—2013年晋城市生态经济系统发展能力呈上升趋势,由2004年的1.64上升到2013年的2.47,其中2004—2009年增幅较小,2009—2013年增幅较大,说明晋城市的生态经济系统发展能力在逐年提升,且近年来增长迅速。生态压力指数可以体现地区生态环境承压程度的大小。2004—2013年晋城市生态压力呈上升趋势,从2004年的2.79上升到2013年的4.07,可见晋城市生态环境承压程度逐年增大,生态环境的保护与经济之间的矛盾仍然存在,城市的可持续发展面临挑战。

### 3.3 原因分析

依据生态足迹和相关指数分析结果,结合晋城市经济发展状况,分析晋城市人均生态赤字逐年增加、可持续发展能力下降的原因主要有4方面:(1)人口总量增加。2004—2013年晋城市人口规模由2004年的212万人增至219万人,人口的增加使得生态需求增大,人均生态供给减小,从而导致生态赤字不断增加;(2)经济增长带动消费水平提高。随着晋城市经济的快速发展,区域生产总值由26.8亿元增至103.2亿元,增幅284.56%,人民的生活水平显著提高,居民消费水平由2004年的3638元增至2013年的13759元,资源消耗的加大使得生态足迹逐年增加;(3)能源需求所占比重较大。晋城市作为典型的资源型城市,经济发展依赖第二产业的效益,2004—2013年第二产业对地区生产总值贡献率平均值为63.64%,能源用地生态足迹平均值占总生态足迹的65.14%,增长量占总生态足迹增长量的61.57%,可见能源消耗占总生态足迹的比例较大,而相对应的生态承载力则为0,导致生态赤字随能源消耗的增大而增加;(4)土地利用效率较低。虽然近年来晋城市对各类土地的利用效率有所提高,但总体利用效率水平仍较低,2004—2013年末利用土地面积占土地总面积比例平均值为5.48%,仍有大部分土地闲置,农用地单位面积产量平均值为4329.74 kg/hm<sup>2</sup>,低于2007年全国平均水平4755 kg/hm<sup>2</sup>,非农业建设用地产出率低,全市人均建筑用地面积平均值为315.86 m<sup>2</sup>,远超过国家规定人均100 m<sup>2</sup>的标准,各类生态生产性土地的生产能力不足以支撑当地消费水平,导致生态承载力远低于全球平均水平。

## 4 结论与讨论

本文采用生态足迹综合法账户模型,对晋城市

2004—2013年的生态足迹进行了计算,并引入单位万元GDP生态足迹、生物多样性指数、生态足迹发展能力和生态压力指数四项指标,从不同维度综合分析了晋城市的可持续发展能力,并得出以下结论:

(1) 分析结果表明,2004—2013年晋城市人均生态足迹呈递增趋势,10 a间共增长了0.76 hm<sup>2</sup>,年均增长率为4.22%,平均值为2.15 hm<sup>2</sup>,低于全球水平(2.7 hm<sup>2</sup>),人均生态承载力基本保持不变,总体略微减少,平均值为0.64 hm<sup>2</sup>,远低于全球水平(1.8 hm<sup>2</sup>),生态赤字呈现上升趋势,共增长0.78 hm<sup>2</sup>,年均增长率为6.73%,平均值为1.51 hm<sup>2</sup>,比全国高0.28 hm<sup>2</sup>,比全球高0.61 hm<sup>2</sup>,表明晋城市的生态环境压力逐年增大,可持续发展能力逐年下降。晋城市单位万元GDP生态足迹逐年减少,生态多样性指数基本保持不变,生态经济系统发展能力有所提高,生态压力不断增大,经济的快速增长与生态资源环境承载能力的矛盾仍很突出。

(2) 为提高晋城市可持续发展能力,改善晋城市生态环境状况,提出以下4条途径:第一,优化产业结构。改变晋城市过度依赖煤炭等能源发展经济的模式,减少对化石燃料能源的消耗,加大第三产业的发展力度。第二,提高土地利用效率。加大农业与生态建设的投入,提高农业产业化水平,提高耕地生产力,提高能源利用效率,加大经济发展由粗放向节约集约型的转变力度。第三,控制人口规模。要加强人口管理,控制人口数量过快增长,减轻人口对生态环境的压力。第四,保护生态环境。加大生态环境保护力度,严格耕地保护制度,减少污染物的排放,提高生态环境的承载能力。

(3) 利用生态足迹模型进行城市可持续发展能力的动态分析,关键是参照指标和因子的确定,参照指标和因子选取是否合理,关系着利用该模型计算结果的精度与科学性。因此,选取参照指标与计算因子过程中要注重时效性、地域性和实际性。本文在生物资源平均产量采用方面,选取了FAO所提供的2004—2013年生物资源平均产量作为动态参考量,均衡因子采用了《Living Plant Report》所提供的较新的2010年数据,产量因子则依据晋城市生物及能源资源生产状况的特殊性,利用净初级生产力(NPP)进行了确定,并提出了一套对应我国土地利用现状分类的生态生产性用地调整标准,此外还引入了与生态环境相关的生物多样性指数和生态压力指数,以及与经济发展相关的单位万元GDP生态足迹和生态足迹发展能力两项指标,从多方面综合分析了晋城市的可持续发展能力,其分析结果较好地体现了晋城市的可持续发展能力,为利用生态足迹模型分析资源型城市的可持续发展能力提供了参考依据。

生态足迹计算模型虽然已经在国内外被大量应

用,但仍没有形成一个最优的计算标准,对未利用地的生态价值也没有进行合理计算。本文虽然科学合理地确定了均衡因子和产量因子,并提出了一套详细的地类调整标准,却未考虑未利用地的生态服务价值。因此,在后续研究中,可以针对未利用地的生态价值对生态足迹模型进行更深层次的研究和完善。

#### 参考文献:

- [1] 赵志强,李双成,高阳. 基于能值改进的开放系统生态足迹模型及其应用:以深圳市为例[J]. 生态学报,2008,28(5):2220-2231.
- [2] Rees W, Wackernagel M. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability[M]. Urban Ecology Springer US,2008: 537-555.
- [3] Simmons C, Lewis K, Barrett J. Two feet-two approaches: A component-based model of ecological footprinting[J]. Ecological Economics,2000,32(3):375-380.
- [4] Bicknell K, Ball R, 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.
- [5] Odum H T. Systems Ecology[M]. New York: John Wiley and Sons,1983.
- [6] 顾晓薇,王青,李广军,等. 应用生态足迹指标对沈阳市高校可持续发展的研究[J]. 东北大学学报:自然科学版,2006,27(7):823-826.
- [7] 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.
- [8] Krivtsov V, Wager P A, Dacombe P, et al. Analysis of energy footprints associated with recycling of glass and plastic-case studies for industrial ecology[J]. Ecological Modelling,2004,174(1/2):175-189.
- [9] Gerbens-Leenes P W, Nonhebel S, Ivens W P M F. A method to determine land requirements relating to food consumption patterns[J]. Agriculture, Ecosystem and Environment,2002,90(1):47-58.
- [10] Hubacek K, Giljum S. Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities[J]. Ecological Economics,2003,44(1):137-151.
- [11] Lenzen M, Murray S A. A modified ecological footprint method and its application to Australia[J]. Ecological Economics,2001,37(2):229-255.
- [12] Begum R A, Pereira J J, Jaafar A H, et al. An empirical assessment of ecological footprint calculations for Malaysia[J]. Resources, Conservation and Recycling,2009,53(10):582-587.
- [13] 张志强,徐中民,程国栋,等. 中国西部12省(区市)的生态足迹[J]. 地理学报,2001,56(5):599-609.
- [14] 张恒义,刘卫东,林育欣,等. 基于改进生态足迹模型的浙江省域生态足迹分析[J]. 生态学报,2009,29(5):2738-2748.
- [15] 董泽琴,孙铁珩. 生态足迹研究:辽宁省生态足迹计算与分析[J]. 生态学报,2004,24(12):2379-2735.
- [16] 郭秀锐,杨居荣,毛显强. 城市生态足迹计算与分析:以广州为例[J]. 地理研究,2003,22(5):654-662.
- [17] 杨永奎,王定勇. 重庆市直辖以来生态足迹的动态测度与分析[J]. 生态学报,2007,27(06):2382-2390.
- [18] 惠丽,鲁小珍,张大勇,等. 基于生态足迹法县级区域可持续发展趋势探讨[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(S1):486-488.
- [19] 姚争,冯长春,阚俊杰. 基于生态足迹理论的低碳校园研究:以北京大学生态足迹为例[J]. 资源科学,2011,33(6):1163-1170.
- [20] 李兵,张建新,权进民. 企业生态足迹和生态效率研究[J]. 环境工程,2007,25(6):85-88.
- [21] 成淑敏,高阳,黄姣,等. 京津冀及江浙沪经济圈生态足迹比较分析[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(4):433-441.
- [22] 曲哲,任家强,李红丹. 基于生态足迹的朝阳市土地生态安全研究[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(3):458-461.
- [23] 唐湘玲,吕新,薛峰. 基于生态足迹的新疆适度人口研究[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(7):160-164.
- [24] 黄羿,杨林安,张正栋,等. 基于“国家公顷”生态足迹模型的广东省生态安全研究[J]. 生态经济2012(7):47-56.
- [25] 王录仓,高静. 高寒牧区村域生态足迹:以甘南州合作市为例[J]. 生态学报,2012,32(12):3795-3805.
- [26] 马莉娅,吴斌,张宇清,等. 基于生态足迹的宁夏盐池县生态安全评价[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(5):57-62.
- [27] 张芳,徐伟锋,李光明,等. 上海市2003年生态足迹与生态承载力分析[J]. 同济大学学报:自然科学版,2006,34(1):80-84.
- [28] 卢明富,况明生,付树林. 重庆市2006年生态足迹计算与分析[J]. 中国水运(下半月),2008,8(5):86-88.
- [29] 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.
- [30] Wackernagel M, Yount J D. Footprints for sustainability: the next steps[J]. Environment Development and Sustainability,2002,2(1):23-44.
- [31] Ulanowicz R E. Growth and development: Ecosystems Phenomenology[M]. New York: Springer-Verlag,1986.
- [32] 徐中民,张志强,程国栋,等. 中国1999年生态足迹计算与发展能力分析[J]. 应用生态学报,2003,14(2):280-285.
- [33] 刘某承,李文华,谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算[J]. 生态学报,2010,29(3):592-597.