

# Study on Sustainable Development Based on Ecological Footprint of Energy in Zaozhuang City

Hao Ding, Xuemin Chen, Jingjing Zhang

Economics and Management School, China University of Petroleum, Qingdao  
Email: 853361802@qq.com

Received: Jul. 15th, 2012; revised: Jul. 18th, 2012; accepted: Aug. 14th, 2012

**Abstract:** Depending on economical development character and economic policy of Zaozhuang city, the conventional ecological footprint model and energy ecological footprint model were introduced to calculation and analysis the environmental situation of Zaozhuang from 2005 to 2009. By making trend diagram of footprint diversity and ecological balance capability per capita in order to measure the sustainable development degree in this area. Both of the two method manifest that the Zaozhuang city's unbalanced state about it is requirement for biological productive land, there is a growing gap between supply and demand. In any case, the overall ecological environment of Zaozhuang city is under an unsustainable condition.

**Keywords:** Biological Footprint; Energy Analysis; Ecological Footprint Diversity; Sustainable Development

## 基于能值生态足迹的枣庄市可持续发展研究

丁浩, 陈雪敏, 章晶晶

中国石油大学(华东)经济管理学院, 青岛  
Email: 853361802@qq.com

收稿日期: 2012年7月15日; 修回日期: 2012年7月18日; 录用日期: 2012年8月14日

**摘要:** 根据枣庄市近年来经济发展特点及经济政策, 将传统生态足迹模型和基于能值分析的生态足迹模型的理论原理应用到枣庄市生态经济系统的环境状况的评估当中, 对其 2005~2009 年的生态足迹进行计算与分析对比, 并绘制生态足迹多样性指数和生态平衡系数走势图以衡量该区域的可持续发展程度。两种计算结果都表明枣庄市的生物生产性土地需求状况不均衡, 需求与供给之间差距越来越大, 枣庄市的整体生态环境发展偏离可持续发展的轨道。

**关键词:** 生态足迹; 能值分析; 生态足迹多样性指数; 可持续发展

### 1. 引言

近年来, 随着世界经济, 人口的快速发展, 人类生产消费活动对地球生态系统的影响范围也随之扩大, 推进节能减排工作, 实现可持续发展成为各国、各地区都必须重点关注的问题。生态足迹(生态占用、生态脚印)最初是在 20 世纪最初是在 20 世纪 90 年代由加拿大生态经济学家 William Rees 首次提出<sup>[1]</sup>, 是一种从生态学的角度出发, 定量衡量区域可持续发展程

度的方法。区域生态足迹方法因其横向指标少、易实施、可比性强的特点而在不同的行业、地域得到广泛应用(李利峰、成升魁, 2000; 杨开忠等, 2000)。鉴于自然界中存在各种生态系统或是人类社会经济系统都可以归结为不同形式的能量系统(张芳怡等, 2006), 且在每一个系统生命周期过程中都伴随着能量的传递、转换和储存, 引入能量作为新核算体系的测量单位来替代之前不同体统的物质流或是能量流, 免

去了因各个系统的单位不同而不便直接比较最终结果的麻烦。能值生态足迹法就是基于上述理论产生的,该方法有效改进了传统生态足迹法系统密闭性、空间内部互斥性等的缺点<sup>[2]</sup>。

山东省枣庄市位处我国中东偏北,是典型的北方城市,长久以来,枣庄都是以大量消耗自然资源、破坏环境的方式来支撑地方经济的持续发展,2009年正式列入国务院公布的第二批资源枯竭型城市名单<sup>[3]</sup>。本文借助传统的生态足迹方法对枣庄市2005~2009年的生态足迹、生态承载力的变动进行测算分析。随后引入能值生态足迹的概念,以计算结果中涉及到的不同类型土地面积为指标分别核算该地区的生态系统多样性和生态系统协调指数,通过走势图形象、直观的表明枣庄市经济生态系统的可持续发展前景。

## 2. 生态足迹计算原理

### 2.1. 计算原理的几个基本假设

传统生态足迹法和能值生态足迹法的计算都是将测量范围内的生态环境和经济发展状况视为一个有机整体,人类活动或行为是整个系统运行状况的关键影响因素,因此这两种方法的计算都是基于以下基本假设<sup>[4]</sup>: 1) 人类对于自身生产消费活动中所耗费的资源、能源以及随之产生的废弃物的数量有确定性的概念,即能够被正确的估算出来; 2) 此过程中耗费的能源以及产生的废弃物能够被折算成生成和吸纳这些资源和废弃物的不同类型的生态生产性面积; 3) 不同地域间的土地生产能力可以转换为土地的生物生产能力; 4) 生态系统内部土地的空间互斥性。上述假设中提及的生物生产性土地主要分为6种: 化石能源用地(指用于补偿因化石能源消耗而造成的自然资源存量空缺的储备土地), 林地(指自然界中的天然林或是人造林,可以产出木材产品), 耕地(产出谷物, 蔬菜等, 是所有生物生产性土地中生产力最大的土地类型), 牧草地(用于支撑畜牧业发展的土地), 建筑用地(承载人类的基本生活, 包括各种人类居住设施, 道路占地等), 水域(主要是指淡水水域和海洋, 可以提供各种海洋生物产出)。

### 2.2. 传统生态足迹计算

传统生态足迹方法的主要内容是: 在特定区域的人口、经济规模前提下, 计算该区域内承载人类进行

日常生活的资源耗费及废弃物排放的生物生产性土地面积, 以此为指标表明该地区综合发展的生态足迹需求, 将计算得出的生态足迹值与该地域的生态环境所能提供的生物生产面积进行比较, 借此分析该区域的经济生产消费活动的可持续发展状况。

不同类型的生物生产性土地的生产能力相差很多, 再加上不同地理环境条件下生物生产面积的产出有较大差异, 因此, 在计算人类生态足迹需求时需要引进 Wackernagel 均衡因子<sup>[5]</sup>, 以等价的生态生产力系数代表不同类型的生物生产性土地; 在计算自然生态承载力供给时需要引进产量因子, 用可比较的地域或空间面积表示生态生产力土地面积, 这样处理可以消除不同生物生产面积的差异, 直接计算几类不同的土地面积的加总结果。

生态足迹计算模型:

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

生态承载力计算模型:

$$EC = N \times ec = N \sum_{j=1}^6 (a_j \times r_j \times y_j) \quad (2)$$

生态赤字(盈余)模型:

$$ES = EC - EF \quad (3)$$

式中  $EF$  为区域总生态足迹;  $N$  为总人口数;  $ef$  为人均生态足迹;  $a_i$  是人均  $i$  种消费品折算的生产土地面积;  $r_i$  为第  $i$  种消费品的所表示的土地类型的等价因子;  $c_i$  为第  $i$  种消费品的人均消费量;  $p_i$  是第  $i$  种消费商品的平均生产能力( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $EC$  表示人均生态承载力;  $a_j$  为第  $j$  类土地利用类型的实际使用面积;  $r_j$  为第  $j$  类土地使用类型的均衡因子;  $y_j$  为产量因子;  $i$  表示消费品的类型;  $j$  表示所使用的土地类型;  $ES$  表示为生态盈余或者是生态赤字, 也就是说如果  $ES$  最终计算结果是负值, 则表示该地区出现了生态赤字, 即生态足迹超出了生态承载能力, 反之则说明该地区处于可持续发展时期。

### 2.3. 能值生态足迹法计算

能值生态足迹法是将能值分析的方法原理运用到生态足迹的计算中, 不同等级、类型的能量归一化为可直接加减的太阳能值(单位是太阳能焦耳,  $\text{sej}$ )<sup>[6]</sup>。

该方法的理论根基在于地球生态系统中各种形式的能量来源都归结于太阳能,换句话说,太阳在地球任何资源和实物的形成过程中都发挥着中要的作用,这些产品的形成都直接或间接的依赖太阳,即物品具有太阳能值。借助太阳能值这一概念来评价各种生物生产性土地的在生态系统的功能和作用。能值生态足迹模型是一种基于能值分析理论的新的计算生态足迹和生态承载力的改进模型。

传统生态足迹方法和能值生态足迹方法的异同点主要表现在:两者都是以生物生产性土地为依托来计算生态足迹和生态承载能力的,不同的是能值生态足迹法是将传统生态足迹法进行改进后利用能值转换率,将人类各消费项目的能值用量转换为对应的生物生产性土地,并且随着自然界自组织化程度的不断提高,使得计算过程中采用的能值转换率、能值密度等参数的稳定性远高于传统生态足迹计算中的均衡因子、产量因子等,经过处理后的结果克服了传统生态足迹法中标准不统一,研究结果可比性差的局限,弥补了单纯使用生态足迹方法时系统封闭性强,系统内部互斥性等不足之处,确保最终结果的客观真实性。

能值生态足迹计算:

$$EF = N \times ef = \sum_{i=1}^n c_i / p_i \quad (4)$$

上式中  $EF$ 、 $N$ 、 $ef$  等都和传统生态足迹计算中的代表意义相同,  $c_i$  为第  $i$  种资源的人均能值,  $p_i$  为区域能值密度。

能值生态承载力计算:

$$EC = e / p_1 \quad (5)$$

上式中,  $EC$  表示人均能值生态承载力,  $e$  为用太阳能值表示的可更新和不可更新资源,  $p_1$  为全球平均能值密度。

地球生物圈的周期运动给人类带来自然资源的财富,在这其中循环能源主要表现为:太阳能、潮汐能、地热能、雨水势能、风能、雨水化学势能以及海潮能等,鉴于其中大部分势能归根结底都是太阳光的转化,为避免重复计算,只取其中的最大项雨水化学势能<sup>[7]</sup>。海潮能不同于其他几种能源形式,它是由月亮和太阳对地球共同的地球引力所引起的,不属于太

阳光的性质范畴。经分析对比后最终选定雨水化学能和海潮能这两种能源相对应的生物生产性土地作为研究区域的生态承载能力的计算项目。

能值生态赤字(盈余)模型:

$$ES = EC - EF \quad (6)$$

计算各消费项目的人均能值生态足迹、人均能值生态承载力进行汇总对比后,可得到该地区的生态赤字或盈余,衡量区域可持续发展状况。

生态足迹多样性指数计算:

$$H = -\sum_{i=1}^6 [p_i \ln p_i] \quad (7)$$

生态足迹多样性的理论主要探讨了系统结构与系统特征之间的关系,在上式中  $H$  表示生态多样性指数,  $p_i$  是第  $i$  种土地类型在总的生态足迹中的比例,该计算重点考虑了不同类型土地的利用数量以及生态足迹分配状况这两个因素对多样性的影响。

生态平衡能力计算:

$$DS = (ef + ec) / \sqrt{ef^2 + ec^2} \quad (8)$$

上式中,  $DS$  表示区域人均生态协调系数,  $ef$ 、 $ec$  代表意义同传统生态足迹的计算,根据定义可知,  $ef$ 、 $ec > 0$  且  $1 < DS < 1.414$ ,当  $DS$  处于这个范围内时,具体可以分成两种情形:当  $ef > ec$ ,说明该区域内生态需求大于生态供给,区域经济发展是建立在消耗自然资源以弥补生态承载力的缺口,该地区的发展处于不可可持续发展的状态。反之则说明该地域自然资源能够支撑该地区的长远规划,发展潜力尚待开发。

### 3. 枣庄市生态足迹测算结果

#### 3.1. 传统生态足迹计算结果

运用传统生态足迹法对枣庄市 2005~2009 年的人均生态足迹与人均生态承载能力进行计算,所要用的数据依据是 2004~2010 年的枣庄统计年鉴。生态足迹和生态承载力的计算中用到的均衡因子和产量因子来源于 Wackernagel 在 1993 年根据全球数据确定的,详细数据如表 1 所示。鉴于枣庄市进出口贸易所携带的生态足迹影响不大且难获得全面细致的统计数据,故在计算时没有将贸易调整考虑进去。并且在计算生态承载力时,考虑到自然界生物圈并非为人

类所独有,要预留出生物生产性土地的12%用于生物多样性的保护<sup>[8]</sup>,扣除这一部分之后就得到区域人均生态承载力。计算结果见表2。

### 3.2. 能值生态足迹与能值生态承载力的计算结果

根据2.2中描述的计算方法,对枣庄市2005~2009这5年的能值生态足迹和能值生态承载能力进行描述。计算能值生态足迹时要重点考虑两个因素:人类生物资源(谷物、蔬菜、肉、蛋、奶、水果和水产品等)和能源资源(原油、汽油、煤油、柴油、煤炭、焦炭、电力)的消费量。上述消费品可以通过相应的折算系数换算成能量值,再按照能值转换率获得各消费项目的太阳能值,最终计算结果如表3所示。

由蓝盛芳(2002)在其生态经济系统能值分析中的计算分析可知,雨水化学势能是5种可更新资源:太阳能、风能。雨水势能、雨水化学势能以及地球转动能中对生态足迹影响最大的一个,因此只选取雨水化

学势能和海潮能这两项作为每年总能值的计算依据<sup>[9]</sup>。其中各种可更新资源的相对转换率为(单位:sej<sup>j-1</sup>):太阳辐射能(1,000)风能(663)雨水势能(8888)雨水化学势能(18,200)地球转动能(29,000)地热能(6055)潮汐能(23,560)。计算过程中涉及到的全球平均能值密度取

Table 1. The detail constitution of various biological productive land belong to ecological footprint and equilibrium factor, yield factor

表 1. 生态足迹各类型生物生产性土地详细构成及均衡因子、产量因子

土地类型	土地用途细分	均衡因子	产量因子
耕地	粮食、蔬菜等经济作物的消费折算	2.8	1.66
林地	木材、水果等林产品的消费折算	1.1	0.91
牧草地	畜牧产品(肉、蛋、奶、毛绒)消费折算	0.5	0.19
水域	水产品消费折算	0.2	1.00
建筑用地	人类基础设施(居住、道路用地)消费折算	2.8	1.66
化石燃料用地	工业能源消耗折算成对污染的吸纳面积	1.1	-

Table 2. The calculation results of conventional ecological footprint of Zaozhaung city from 2005 to 2009

表 2. 2005~2009 年枣庄市传统生态足迹计算结果

年份	人均生态足迹							人均生态承载力						生物多样性保护12%	可利用人均生态承载力	人均生态赤字
	耕地	林地	牧草地	水域	建筑用地	化石燃料用地	总计	耕地	林地	牧草地	水域	建筑用地	总计			
2005	0.7421	0.0531	0.4969	0.0908	0.0380	4.3474	5.7683	0.23075	0.03609	0.00001	0.00043	0.01971	0.28699	0.03444	0.25255	5.51575
2006	0.7983	0.0539	0.5192	0.0887	0.0762	5.1891	6.7254	0.23028	0.03691	0.00001	0.00044	0.01851	0.28615	0.03434	0.25181	6.47359
2007	0.7273	0.0549	0.4226	0.0952	0.1244	5.6342	7.0586	0.22666	0.03735	0.00001	0.00044	0.01794	0.2824	0.03389	0.24852	6.81008
2008	0.5623	0.0419	0.4448	0.0855	0.1585	5.5875	6.8805	0.29419	0.03829	0.00001	0.00029	0.01832	0.3511	0.04213	0.30896	6.57153
2009	0.5124	0.0402	0.4475	0.079	0.1617	5.4872	6.728	0.23054	0.03981	0.00001	0.00034	0.01871	0.28941	0.03472	0.25468	6.47332

Table 3. The calculation results of energetic ecological footprint per capita of Zaozhuang city from 2005 to 2009

表 3. 2005~2009 年枣庄市人均能值生态足迹计算结果

年份	耕地	林地	牧草地	水域	建筑用地	化石燃料用地	总计
2005	0.6987	0.1058	0.8632	0.08924	0.61234	4.47315	6.84243
2006	0.7138	0.12744	1.04349	0.09235	0.78816	4.96822	7.82516
2007	0.872	0.14553	1.14224	0.09721	0.90211	5.25436	8.41345
2008	0.7481	0.1322	1.1511	0.08873	0.9147	5.0944	8.12923
2009	0.7539	0.1309	1.17021	0.08762	0.9208	5.1369	8.20033

$3.104 \times 10^{14}$  sej/hm<sup>2</sup>, 枣庄市的土地面积取  $4.56 \times 10^6$  平方千米计算结果见表 4<sup>[10]</sup>。

### 3.3. 生态多样性指数及生态平衡性分析

各类生物生产性土地在总生态足迹中所占的比例可由上述生态足迹和生态承载能力的计算过程得出, 按照公式(7)可计算出枣庄市 2003~2007 年的生态足迹多样性指数, 由公式(8)可得出枣庄市 2003~2007 年的生态平衡能力, 具体计算结果绘制成生态足迹多样性指数和生态平衡系数趋势图, 如表 5, 图 1 所示。

## 4. 枣庄市生态足迹综合分析和建议

进行生态足迹的计算时, 由于所获得的资料的有限性, 涉及到的项目较多, 计算过程不能涵盖所有资源项目, 最终得出结果会小于实际人均生态足迹。另一方面, 能值转换率会因区域、系统的不同规模而表现出一些差异, 导致最终计算结果出现偏差, 但综合上述研究结果可知, 在传统生态足迹的测量中 2005~2009 年期间枣庄市生态足迹呈现出上升趋势, 而环境的生态承载能力大体上保持不变, 造成人均生态赤

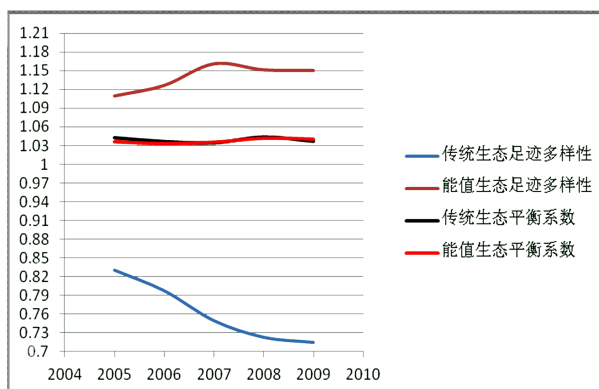


Figure 1. Trends of the calculation results of footprint diversity and ecological balance capability per capita of Zaozhuang city from 2005 to 2009

图 1. 2005~2009 年枣庄市人均生态足迹多样性指数和生态平衡系数趋势图

字的不断上升, 并在 2007 年达到 6.81008 hm<sup>2</sup> 的最高值, 这说明人类活动给自然环境造成越来越大的影响, 逐渐超出生态承载能力的范畴。转换成能值生态足迹后, 各消费性土地占用面积的生态足迹数值不断增大, 环境承载能力并没有发生较大的波动, 因此生态赤字的计算结果也呈现出增加的趋势<sup>[11]</sup>。

从宏观层面上来看, 传统生态足迹法和能值生态足迹法的生态多样性指数和生态平衡能力系数趋势图均出现了不同程度的下降, 表明在枣庄市经济发展过程中出现经济生态系统不平衡, 化石燃料的生态足迹比重居高不下, 一直占据总生态足迹比重的 62%~63%, 与此同时, 林地、牧草地、建筑用地的比例也出现逐年攀升的趋势, 以建筑用地为例: 在能值生态足迹的测量中由 2005 年的 8.949% 上升到 2009 年的 11.229%, 耕地和水域的能值生态足迹一直维持在比较均衡的水平, 变动不大。从总体程度上来看, 经过能值变换后, 能值生态足迹的多样性指数要大于在传统形式下生态足迹多样性指数, 说明能值生态足迹法充分考虑了因土地类型的不同而引起的不同结果。人均生态平衡系数可以视为解释区域自然资源开发利用状态的指标系数, 传统的生态足迹平衡系数逐渐下降, 而能值生态足迹平衡系数的计算结果则显示在 2008, 2009 年枣庄市的生态协调性略有回升。究其原因在于“十一五”以来枣庄市按照本市规划刚要实施的经济战略性调整, 大力发展服务业以带动地方经济, 相对于工业而言, 服务业是能源消费较低而产出较大的行业。能值生态足迹的平衡系数大都在 1.03~

Table 4. The calculation results collection of energetic ecological capacity of Zaozhuang city from 2003 to 2007  
表 4. 2005~2009 年枣庄市能值生态承载能力汇总

年份	总能值用 量(10 <sup>21</sup> sej)	总人口 (10 <sup>6</sup> 人)	人均能值 (10 <sup>15</sup> sej/人)	人均生态 承载力 (hm <sup>2</sup> )	可利用人均 生态承载力 (hm <sup>2</sup> )	人均生态 赤字
2005	3.2821	3.6727	0.8936	0.2879	0.2534	6.5891
2006	3.5651	3.7197	0.9426	0.3037	0.2673	7.5579
2007	4.0855	3.8019	1.0746	0.3462	0.3047	8.1088
2008	4.706	3.8324	1.2279	0.3956	0.3481	9.0957
2009	4.5923	3.8679	1.1873	0.3825	0.3366	8.7415

Table 5. The calculation results of footprint diversity and ecological balance capability per capita of Zaozhuang city from 2005 to 2009  
表 5. 2005~2009 年枣庄市人均生态足迹多样性指数和生态平衡系数计算结果

年份	传统生态足 迹多样性	能值生态足 迹多样性	传统生态 平衡系数	能值生态 平衡系数
2005	0.8298	1.10909	1.0428	1.0363
2006	0.7973	1.12617	1.0367	1.0336
2007	0.7497	1.16117	1.0346	1.0355
2008	0.7232	1.15131	1.0439	1.0418
2009	0.71503	1.15034	1.0371	1.0402

1.042 之间,都小于 1.414 的标准比较值,表明枣庄市的生态需求与供给之间的突出矛盾,枣庄市需要改进以往通过消耗自然资源的存量来补充生态承载力缺口的做法,调整生态经济环境的不协调状态。

从微观层面上来看,从枣庄市多年不同土地类型的生态承载力的角度出发,从长远趋势看耕地的生态承载力处于最高水平,主要原因在于经济发展增加了资源消耗,枣庄市历来是山东省重要粮食产区,承担着山东粮食生产的大任,在 2005~2009 年期间,按照枣庄市中长期科学和技术发展规划纲要,大力发展高新技术产业和推广先进适用技术,以能源、建材、煤化工三大基地建设为基础,以电子信息、新材料、生物技术与创新药物、先进制造等作为主攻方向和发展重点,从而挤占了部分耕地,转移了耕地的生态承载能力<sup>[12]</sup>。

作为北方典型的资源依赖型城市,枣庄市为解决资源短缺,生态赤字等问题,提高生态承载能力,保障枣庄市的可持续发展,应针对目前的情况从宏观和微观两个层面采取以下措施:

宏观层面应采取的措施:1) 合理规划、利用现有自然资源,努力实现人类与自然环境和谐发展的局面,遏制环境进一步恶化的趋势。2) 优化空间结构,合理规划各种生物生产性土地的用途。紧凑设计人流量聚集的地方(商场,学校等),合理布局以减少同种用途土地的碳负荷。3) 将生物生产性土地作为调控手段的主要实施对象,限制高污染、高能耗行业的发展,全面加强对土地资源的综合管理。4) 在制度建设层面,可成立低碳建设委员会作为枣庄市低碳建设的管理部门,配备以相应的低碳评价、监管体系。

微观层面应采取的措施:1) 加大节能减排的宣传力度,使低碳的概念深入人心,全面提升能源利用率。推崇能源循环利用的理念,倡导使用太阳能、地热等新能源用于满足居民的日常生活需求。鼓励生活垃圾回收再利用,中水回用。2) 将具体措施落实到各项目中:退耕还林和林地建管相结合,改良现有天然牧草地,扩大人工草地的培育面积,向多种养殖发展。3) 优化内部产业结构,发挥区域优势,合理、高效的利用区外资源。

## 5. 结论

本文利用枣庄市 2005~2009 年的生态数据,首先

是将生物生产性土地分为不同应用类型,不同目的的以下六种:化石能源用地,耕地,牧草地,林地,水域以及建筑用地,采用传统生态足迹法对枣庄市的经济发展状况和生态环境之间的和谐发展关系进行计算测量,即分别计算出生态足迹和相应年份的生态承载能力,分析得出该区域的生态赤字趋势,然后引入能值分析,在传统生态足迹法的基础上利用能源转换率,从另一种角度衡量区域生态足迹及生态承载力的均衡能力,并以此为基础构建枣庄市生态多样性指数和生态平衡能力系数,从而总结出区域长远发展,主要分析得出以下结论:

1) 基于生态足迹法的区域可持续发展分析不仅使枣庄市近年来的发展状况一目了然,也表明了各种生物生产性土地的综合利用程度及可利用空间,促使枣庄市结合实际情况及本市发展规划来积极调整发展结构,弥补偏离可持续轨道的部分、

2) “十一五”制定的发展规划略有成效,从图 1 上可以看出生态足迹的多样性自 2007 年起也就是“十一五”实施后的第二年就开始有所上升,但总体改观幅度较小,部分用地的科学技术仍有待改进,因此,大力发展高新技术,提高自然资源如耕地,牧草地等单位面积的产量仍是降低该区域人均生态足迹的瓶颈问题。

3) 2011 年 6 月,枣庄市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要中资源环境部分明确指出要加强生态建设,建立资源环境有偿使用机制和生态补偿机制,从宏观上指明枣庄市的经济社会可持续发展之路。

## 6. 致谢

感谢导师及同门所提供的资料、图片、文献,并在论文写作期间给予指导和宝贵修改意见,在此表示感谢。

## 参考文献 (References)

- [1] 鲁凤. 生态足迹变化的动力机制及生态足迹模型改进研究[D]. 华东师范大学, 2011: 56-57.
- [2] 黄凤华, 李维德. 基于能值生态足迹法的山东省可持续发展分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 8187-8188.
- [3] M. Wackernagel, W. E. Rees. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective. *Ecological Economics*, 1997, 20(3): 3-24.
- [4] 刘淼, 胡远满, 常禹等. 基于能值理论的生态足迹方法改进

## 基于能值生态足迹的枣庄市可持续发展研究

- [J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 447-457.
- [5] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [6] 海热提, 孙娟, 王东, 杨文杰等. 枣庄市生态足迹动态研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(12): 324-326.
- [7] M. Lenzen, S. A. Murray. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics*, 2001, 37(2): 229-234.
- [8] 王建源, 陈艳春, 李曼华等. 基于能值分析的山东省生态足迹[J]. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1505-1508.
- [9] 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): 1167-1170.
- [10] 徐玉霞. 宝鸡市高校生态足迹和生态效率计算[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2011, 31(4): 58-59.
- [11] 陈东景, 李培英, 杜军等. 基于生态足迹和人文发展指数的可持续发展评价[J]. 中国软科学, 2006, 5: 97-102.
- [12] 陈敏, 张丽君, 王如松等. 1978年-2003年中国生态足迹动态分析[J]. 资源科学, 2005, 27(6): 132-139.