

陕西省 2003 年生态足迹计算分析

张青峰¹, 吴发启¹, 田冬¹, 卫三平^{1,2}, 李华¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 山西省水土保持科学研究所, 山西 离石 033001)

摘要:应用 William Rees 等提出的生态足迹分析法对陕西省 2003 年生态足迹进行了定量计算和分析。结果表明,2003 年陕西省人均生态足迹为 1.9298 hm²,可供给的人均生态承载力面积仅为 0.8040 hm²,陕西省生态足迹是生态承载力面积的 2.40 倍,表明陕西省生态系统承受着较大的压力。同时对应用生态足迹分析法需要注意和完善的方面进行探讨。

关键词:生态足迹;生态承载力;生态赤字;陕西省

中图分类号: Q149 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)01-0035-06

自从可持续发展的概念提出以来,全球掀起对可持续发展的研究高潮,各国主要从经济学、生态学、社会学和系统学 4 个方向来揭示可持续发展的内涵与实质,随之建立各类指标体系,对各种空间尺度 and 时间尺度上的可持续发展状况进行研究及探讨,其目的是确定人与自然的和谐共处^[1~4]。

加拿大生态经济学家 William Rees 等在 1992 年提出以生态足迹分析法定量测度区域可持续发展状态,从一个全新角度考察人类及其发展与生态环境的关系。该方法正以其较为科学完善的理论基础,形象明了的概念框架,精简统一的指标体系以及方法本身的普适性而被各国学者广泛接受^[1~9]。

1 研究方法

1.1 研究区概况

陕西省地处我国内陆腹地,东经 105°29′~115°15′,北纬 31°42′~39°35′之间,土地总面积 20.58 万 km²。年均温 11.6℃,积温 421℃,无霜期 150~270 d,年均降水量 653 mm,年均蒸发量 1 608 mm。2003 年末全省总人口为 3689.5 万人。

1.2 生态足迹分析法的指标体系^[10~18]

生态足迹是生产特定人口所消费的所有资源和能源与吸纳这些人口产生的废物所需要的生物生产性土地的总面积。生态足迹分析法提出的时间虽然不长,但该方法通过引入生物生产性土地这一概念实现对各种自然资本的统一描述,引入均衡因子和产量因子进一步实现各国各地区各类生物生产性土地的可加性和可比性,其指标体系为衡量可持续性程度提供了统一的衡量标准,使得在世界范围内衡

量不同国家不同地区的可持续发展状况成为可能,具有广泛的应用范围。杨世琦、赵先贵等也应用该方法对陕西省 2001 年生态足迹以及生态承载力进行了动态分析^[12,19],表明该方法适用于本研究。

1.2.1 生物生产性土地及其均衡化处理 生物生产性土地是指具有生物生产能力的土地和水体,通常被折算为化石能源地、耕地、牧草地、林地、建成地、水域/海洋等 6 类。考虑到 6 类生物生产性土地的生物生产力不同,分别赋予它们不同的均衡因子(全球某类生物生产性土地的平均生物生产力/全球各类生物生产性土地的平均生物生产力),使这些具有不同生物生产力的生物生产性土地转化为具有相同生物生产力的生产性土地,从而方便于计算以及横向比较。目前国际采用的均衡因子分别为:化石能源地 1.1,可耕地 2.8,牧草地 0.5,森林 1.1,建成地 2.8,水域/海洋 0.2。均衡处理后的 6 类生物生产性土地即为具有世界平均生物生产力的全球平均生物生产性土地。

1.2.2 生态承载力及产量因子 生态承载力是指一个地区或国家所能提供给人类的生物生产性土地面积。由于不同地区或国家的资源禀赋不同,且单位面积同类型生物生产土地的生物生产力也有很大差异。因此,不同地区或国家的同类生物生产性土地的实际面积不能进行直接对比,故采用产量因子(一个国家或地区某类生物生产土地的平均生产力与同类土地的世界平均生产力之间的比率)对不同类型的面积进行调整。它表示不同地区或国家某类生物生产性土地代表的局地产量与世界平均产量的差异。按文献中对中国生态足迹的计算,产出因子

收稿日期:2005-11-07

基金项目:中科院知识创新工程项目(KZCX1206202203);西北农林科技大学面上项目(04ZM106)

作者简介:张青峰(1974—),男,山西孝义人,讲师,主要从事 GIS 专业的教学和科研工作。

分别为草地 0.19,林地 0.91,水域 1,建成地和耕地均为 1.66。

1.2.3 生态赤字/盈余 一个地区的生态承载力小于生态足迹时,出现生态赤字。它表明该地区的人类负荷超过了其生态容量,要满足其人口在现有生活水平下的消费需求,该地区或者从地区之外进口欠缺的资源和能源以平衡生态足迹,或者通过消耗自然资本来弥补收入供给流量的不足,这两种情况都说明地区发展模式处于相对不可持续状态,其不可持续程度用生态赤字衡量。生态承载力大于生态赤字时,则产生生态盈余。它表明该地区的生态容量足以支持其人口负荷,地区内自然资本的收入流大于人口消费的需求流,地区自然资本的总量有可能得到增加,地区的生态容量有望扩大,该地区消费模式具有相对可持续性,其可持续程度用生态盈余来衡量。

2 陕西省 2003 年生态足迹的计算

生态足迹分析的重点是生态足迹的计算,陕西省的生态足迹主要由三部分组成:生物资源的消费、能源的消费和贸易调整部分。生物资源消费部分包括农产品、动物产品、林产品、木材和水果等;能源消费为煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油、电力等。由于贸易的影响,一个地区或国家的生态足迹可以跨越地区界限,所以在生物资源消费和能源消费额中应考虑贸易调整。调整部分主要是考虑贸易对生物资源和能源消费的影响而对当前的消费额进行调整,出口为负值,进口为正值,计算净消费额^[12]。生物资源消费调整将生物资源类型与生物生产面积类型配比就可以方便调整,能源贸易部分已在表 2 中做过调整。由于贸易数量小,故许多项目的生态足迹贸易调整很小(表 1,表 2)。

各消费项目的人均生态足迹的计算公式为^[5,6]:

$$A_i = C_i / Y_i = (P_i + I_i - E_i) / (Y_i \times N) \quad (1)$$
式中: i 为消费项目类型; A_i 为第 i 种消费项目折算的人均生态面积($\text{hm}^2/\text{人}$); C_i 为第 i 种消费项目的人均消费量; Y_i 为相应生物生产性土地生产第 i 种消费项目的世界年平均产量(kg/hm^2); P_i 为第 i 种消费项目的年生产量; I_i 为第 i 种消费项目的年进口量; E_i 为第 i 种消费项目的年出口量; N 为人口数。

陕西省生产供给面积(生态承载力)的类型及数据见[表 3 和 https://www.cnki.net](https://www.cnki.net)

汇总各消费项目人均生态面积,即生态足迹组

分。6 类生物生产性土地人均均衡面积的计算公式为^[5,6]:人均均衡面积 = 各生物生产性土地人均生态面积 $\times$ 均衡因子;加权各类生物生产性土地人均均衡面积,得到人均生态足迹(ef),即:

$$ef = \sum \gamma_j A_i = \sum \gamma_j (P_i + I_i - E_i) / (Y_i \times N) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 6) \quad (2)$$

式中: ef 为人均生态足迹($\text{hm}^2/\text{人}$); γ_j 为均衡因子。地区总人口(N)的总生态足迹 $EF = N \times (ef)$ 。

生物资源消费部分的生产面积折算采用联合国粮农组织统计的有关生物资源的世界平均产量,使计算结果可以进行地区与地区、国与国的比较。在计算能源消费部分时将能源消费转化为化石能源土地面积。采用世界单位化石能源土地面积的平均发热量为标准,把当地能源消费消耗的热量折算成一定化石能源土地面积。

人均生态承载力(ec)及区域生态承载力(EC)的计算公式分别为^[5,6]:

$$ec = \sum (\alpha_j \times \gamma_j \times y_j) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 6) \quad (3)$$
$$EC = N \times (ec) \quad (4)$$

式中: α_j 为各类生物生产性土地人均真实面积; y_j 为产量因子; N 为人口数。同时,出于可持续发展的需要,根据世界环境与发展委员会的建议,扣除了 12% 的生物多样性保护面积^[1~4]。由人均生态承载力与人均生态足迹的差值得到人均生态盈余/赤字。

3 陕西省生态足迹分析

3.1 陕西省 2003 年生态足迹的分析

2003 年陕西省的人均生态足迹为 1.9298 hm^2 ,而实际生态承载力为 $0.8040 \text{ hm}^2/\text{人}$,人均生态赤字为 1.1258 hm^2 ,陕西省 2003 年生态足迹需求是其可供给生态承载力的 2.40 倍。表明陕西省 2003 年对自然的影响远远超出了其生态承载能力的范围。现有的发展模式是不可持续的,生态环境处于不安全状态。

3.1.1 人均土地类型生态足迹的分析 耕地生态足迹为 1.2849 hm^2 ,占人均生态足迹的 66.58%,化石能源用地生态足迹为 0.4447 hm^2 ,占人均生态足迹的 23.04%,即人均耕地与化石能源用地的生态足迹占人均生态足迹的 89.62%,而人均牧草地、林地、建成地和水域的生态足迹仅占人均生态足迹的 10.37%,这表明陕西省人口消费的主要土地类型是耕地和化石能源用地,消费模式单一且过分依赖农业和化石能源。

表 1 陕西省 2003 年生态足迹计算中生物资源帐户组分

Table 1 The ecological footprint ledger of the biotic resource of Shaanxi Province in 2003

项目 Items	全球平均产量 (kg/hm ²) Average yield	消费量(t) Productive quantity	总生态足迹(hm ²) Total ecological footprint	人均生态足迹(hm ²) Ecological footprint per capita	足迹类型 Ecological footprint category
粮食作物 Cereals					
稻谷 Rice	2744.00	755000	275145.77	0.0075	耕地 Arable land
小麦 Wheat	2744.00	3955000	1441326.53	0.0391	耕地 Arable land
玉米 Corn	2744.00	3732000	1360058.31	0.0369	耕地 Arable land
豆类 Legumes	1856.00	159000	85668.10	0.0023	耕地 Arable land
高粱 Jowar	1000.00	20000	20000.00	0.0005	耕地 Arable land
油料 Oil crops	1856.00	413300	222683.19	0.0060	耕地 Arable land
油菜籽 Rapeseed	1856.00	270500	145743.53	0.0040	耕地 Arable land
棉花 Cotton	1000.00	52700	52700.00	0.0014	耕地 Arable land
麻类 Fiber plant	1500.00	700	466.67	0.0001	耕地 Arable land
烤烟 Flue-cured tobacco	1548.00	48800	31524.55	0.0001	耕地 Arable land
蔬菜 Vegetable	18000.00	7089400	393855.56	0.0107	耕地 Arable land
水果 Fruit	18000.00	6211394	345077.44	0.0094	耕地 Arable land
动物产品 Animal products					
禽蛋 Eggs	400.00	490472	1226180.01	0.0332	耕地 Arable land
猪肉 Pork	74.00	838456	11330486.49	0.3071	耕地 Arable land
牛肉 Beef	33.00	104700	3172727.27	0.0860	牧草地 Pasture
羊肉 Mutton	33.00	79433	2407060.61	0.0652	牧草地 Pasture
奶类 Milk	502.00	1070995	2133456.18	0.0578	牧草地 Pasture
羊毛(含羊绒) Sheep's wool	15.00	6100	406666.67	0.0110	牧草地 Pasture
林产品 Aquatic products					
茶叶 Tea	566.00	7952	14049.47	0.0004	林地 Forest
油桐籽 Tung tree seed	1600.00	9634	6021.25	0.0002	林地 Forest
五倍籽 Gallnut	1000.00	1034	1034.00	0.0001	林地 Forest
核桃 Walnut	3000.00	44091	14697.00	0.0004	林地 Forest
板栗 Chinese chestnut	3000.00	24022	8007.33	0.0002	林地 Forest
花椒 Chinese prickly ash	945.00	22781	24106.88	0.0007	林地 Forest
其它水果 Other fruits	3500.00	90658	25902.29	0.0007	林地 Forest
纸板 Paperboard	0.53	317500	599056.60	0.0162	林地 Forest
原木 Timber	1.99 *	130 * *	65.33	0.0001	林地 Forest
锯材 Wood	1.30 *	5400 * *	4153.85	0.0001	林地 Forest
水产品 Aquatic products	29.00	66682	2299379.31	0.0623	水域 Water area

注：* 单位·(m³/hm²)；* * 单位·(m³)。资料来源于 2004 陕西省统计年鉴。

Note: * Unit·(m³/hm²)；* * Unit·(m³)· The data is from Shaanxi Province statistics yearbook—2004.

表 2 陕西省 2003 年生态足迹计算中能源帐户组分

Table 2 The ecological footprint's ledger of energy of Shannxi Province in 2003

燃料种类 Type of fuel	全球平均能源 足迹(GJ/hm ²) Average ecological footprint of energy	折能系数 (GJ/t) Convert coefficient	消费量(t) Consumption	人均年消费量 (GJ) Average consumption per capita	人均生态 足迹(hm ²) Ecological footprint per capita	足迹类型 Ecological footprint category
原煤 Coal	55	20.934	27850500.00	15.8022	0.2873	化石能源用地 Fossil energy land
原油 Oil	93	41.868	8967900.00	10.1767	0.1094	
天然气 Gas	93	39.978	2217300.00	2.40258	0.0258	
电力 Electricity	1000	11.840	153900.00	0.04939	0.0001	
总能源(折算成标准煤) Total energy (standard coal)	55	20.934	39189600.00	22.2359	0.4043	

表 3 陕西省 2003 年各生物生产性土地人均真实面积

Table 3 The national area per capita of ecologically productive area of Shannxi Province in 2003

土地类型 Category	面积(10^4hm^2) Area	占全省土地面积百分数(%) Percent of total province area	人均真实面积(hm^2) National area per capita
耕地 Arable land	424.2	20.6	0.1150
牧草地 Pasture	316.0	15.3	0.0856
林地 Forest	1011.9	49.2	0.2743
水域 Water areas	40.2	2.0	0.0109
建成地 Built-up land	74.9	3.6	0.0203

表 4 生态足迹分析

Table 4 Analysis of ecological footprint

足迹需求 Ecological footprint demand				生态承载力供给 Ecological supply			
土地类型 Category	总计($\text{hm}^2/\text{人}$) Sum	均衡因子 Balance factor	总计均衡 ($\text{hm}^2/\text{人}$) Sum balance	土地类型 Category	产量因子 Yield factor	真实面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$) true area	产量修正均衡 面积($\text{hm}^2/\text{人}$) Revised balance area
耕地 Arable land	0.4589	2.8	1.2849	耕地 Arable land	1.66	0.1150	0.5344
牧草地 Pasture	0.2201	0.5	0.1101	牧草地 Pasture	0.19	0.0856	0.0081
林地 Forest	0.0189	1.1	0.0207	林地 Forest	0.91	0.2743	0.2745
水域 Water areas	0.0623	0.2	0.0125	水域 Water areas	1.00	0.0109	0.0022
建成地 Built-up land	0.0203	2.8	0.0568	建成地 Built-up land	1.66	0.0203	0.0944
化石能源用地 Fossil energy land	0.4043	1.1	0.4447	化石能源用地 Fossil energy land	0	0	0
				总供给 Sum supply			0.9136
总需求 Sum demand	1.1848		1.9298	生物多样性保护面积(12%) Area for protecting biodiversity			0.1096
				可供供给 Available supply			0.8040
人均生态赤字 Ecological deficit/capital			1.1258				

3.1.2 人均土地类型生态赤字的分析 陕西省 2003 年人均土地类型的生态赤字分别是,人均耕地 0.7505 hm^2 >人均化石能源用地 0.4447 hm^2 >人均牧草地 0.1019 hm^2 >人均水域 0.0103 hm^2 ;生态盈余分别为:人均林地 0.2538 hm^2 >人均建成地 0.0375 hm^2 。总人均生态赤字为 1.1258 hm^2 ,其中人均耕地生态赤字占总生态赤字的 66.67%。由此看出,人均耕地生态赤字是造成生态环境压力的主要因素,也是引起生态恶化和环境破坏的主要因素。

3.2 与陕西省 2001 年生态足迹^[11]的对比与分析 将陕西省 2003 年与 2001 年的生态足迹进行对比(见图 1),可以得出,耕地生物生产性土地的生态足迹变动最大,其余几类生物生产性土地生态足迹变动不大。相比 2001、2003 年耕地的人均生态足迹增大而人均生态承载力减小,导致其人均耕地生态赤字差异较为明显。原因在于虽然随着单位面积产量的提高,耕地产品产量有所增加,但由于两年来人口基数的扩大和耕地数量的减少,使得耕地的人均生态赤字仍在扩大。

4 思考与建议

陕西省 2003 年发展模式是不可持续的,生态环境处于不安全状态。陕西省生态赤字存在主要因为人口过于密集和对自然资源的过度开发利用造成。要想减少生态足迹的需求,同时不降低人们的生活水平,目前迫切需要采取措施,增加单位面积生态系统的生产力,高效利用现有资源,适度调控需求结构。从可持续的角度来看,提高耕地的平均产量和能源消费效率,大力复垦废弃耕地,并寻求替代产品以降低对土地和能源的生态足迹需求尤显迫切。

生态足迹分析法在应用于具体国家、具体地区时,其理论及方法有待进一步完善,以下几个方面的因素会影响生态足迹的计算和评价结果:

1) 生态足迹分析法是基于静态指标的分析方法,对经济、社会、技术、环境、贸易考虑不足,忽略了各地区或国家人口的现有消费水平和生活质量的差异,这种偏向性使单用生态足迹分析法量度和评价可持续发展程度是不全面的。故需要和其它指标体

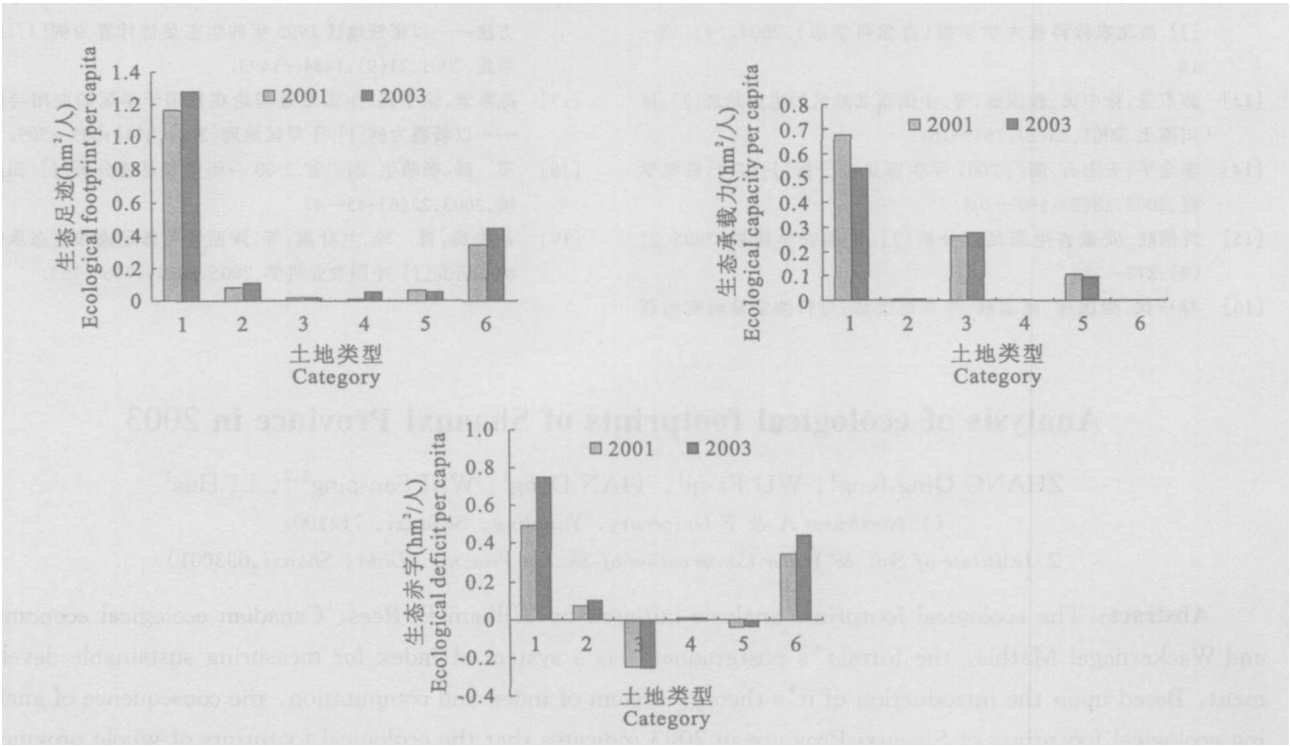


图 1 陕西省生态足迹、生态承载力及生态赤字变化

Fig. 1 The contrast of ecological footprint, ecological capacity and ecological deficit from 2003 to 2001

1. 耕地 Arable land 2. 牧草地 Pasture 3. 林地 Forest 4. 水域 Water areas 5. 建成地 Built-up land 6. 化石能源用地 Fossil energy land

系结合以更加科学地反映可持续发展程度,如GDP。

2) 生态足迹计算的基础数据是统计资料,其精确与否直接决定计算结果的正确性和可信度。特别是要求各地区各类生物生产性土地面积的统计数据必须准确;计算生态足迹时,进行贸易调整可以确定国家净消费量以计算国家的生态足迹,而贸易调整的取值因国家和地区的差异应有所不同。

3) 不同生物生产性土地的均衡因子和产量因子对生态足迹的最终结果影响很大。均衡因子在国际上有统一的取值,而在不同的国家其均衡因子是否相同,值得进一步探讨研究。各地区不同类型生物生产性土地的产量因子的确定需要有该地区各类生物生产性土地的准确产量数据,如文中陕西省化石能源用地真实面积统计数据的缺乏,加上各地区各类生物生产性土地的产量因子使用国家统一的而非地区的产量因子,如陕西省化石能源用地产量因子采用国家统一的数值为 0,会使区域生态承载力计算出现较大的误差。

参考文献:

[1] Wackernagel M, Rees W E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.

[2] Wackernagel M, Onisto L, Bello Petal. Ecological Footprints of Nations: How much nature do they use? How much nature do they have? [R]. Toronto:Commissioned by the Earth Council for the Rio +5 Forum. International Council for Local Environmental Initiatives, 1997.

[3] Wackernagel M, Onisto L, Bello Petal. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375—390.

[4] Wackernagel M, Lewan L, Hansson CB. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: applications in Sweden and subregions [J]. Ambio, 1999, 28(7): 604—612.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 徐中民,张志强.可持续发展定量指标体系的分类和评价[J].西北师范大学学报(自然科学版),2000,(4):82—87.

[8] 张志强,孙成权,程国栋,等.可持续发展研究:进展与趋向[J].地球科学进展,1999,14(6):589—595.

[9] Wackernagel M, Monfreda C, Erb K H, et al. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961—1999: comparing the conventional approach to an actual land area' approach[J]. Land Use Policy, 2004, 21:261—269.

[10] 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—610.

[11] 徐中民,陈东景,张志强,等.中国 1999 年的生态足迹分析[J].土壤学报,2002,39(3):442—445.

[12] 杨世琦,孙兆敏,冯永忠,等.陕西省 2001 年生态足迹分析

[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,(9):14—18.

[13] 陈东景,徐中民,程国栋,等.中国西北地区的生态足迹[J].冰川冻土,2001,23(2):164—169.

[14] 李金平,王志石.澳门2001年生态足迹分析[J].自然资源学报,2003,18(2):197—203.

[15] 许信旺.安徽省生态足迹分析[J].中国农学通报,2005,21(3):277—279.

[16] 徐中民,程国栋,张志强.生态足迹法: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.

[17] 陈东景,徐中民.生态足迹理论在我国干旱区的应用与探讨——以新疆为例[J].干旱区地理,2001,4(4):305—309.

[18] 邓 踩,杨顺生.四川省二〇〇一年生态足迹分析[J].四川环境,2003,22(6):45—47.

[19] 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.

Analysis of ecological footprints of Shaanxi Province in 2003

ZHANG Qing-feng¹, WU Fa-qi¹, TIAN Dong¹, WEI San-ping^{1,2}, LI Hua¹
(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi, 712100;
2. Insititute of Soil & Water Conservation of Shanxi Province, Lishi, Shanxi, 033001)

Abstract: The ecological footprints analysis initiated by William E. Rees, Canadian ecological economist, and Wackernagel Mathis, the former 's postgraduate, is a system of index for measuring sustainable development. Based upon the introduction of it 's theory, system of index and computation, the consequence of analyz- ing ecological footprints of Shaanxi Province in 2003 indicates that the ecological footprints of whole province is less than it 's ecological capacity in numerical value. As a result, ecological deficit of Shaanxi Province in 2003 causes the province belong to the region of unsustainable development in locality-sustainable development in globe. Finally, the thesis briefly discusses the aspects need to be noticed and consummated.

Keywords: ecological footprint; ecological capacity; ecological deficit; Shaanxi Province

(上接第 14 页)

Prediction of land use of Hexi Oasis based on Markov mode

MAO Yan-cheng, ZHANG Bo
(Geography and Environment College of North West Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on Markov model, this paper predicted the land use changes of Hexi oasis. The result showed that the area of cultivated land and grassland will decrease, and the area of forest land and garden land will increase from 2005 to 2010. In addition, the area of cultivated land will change into garden land, forest land and construction land from 2005 to 2010. The area of forest land changes most largely because the policy of converting cropland to forest or grass land is fulfilled.

Keywords: land use changes; Markov model; Hexi Oasis