

吉林省生态足迹动态变化与可持续发展状况评价分析

高标¹, 房骄², 何欢³

(1.白城师范学院地理科学学院,吉林 白城 137000;2.东北师范大学城市与环境科学学院,
吉林 长春 130024;3.南京大学环境学院,江苏 南京 210046)

摘要:运用生态足迹理论计算吉林省 1998-2010 年的人均生态足迹与人均生态承载力,分析人均生态足迹与人均生态承载力的动态变化。结合生态赤字、生态协调系数、生态足迹多样性指数、万元 GDP 生态赤字、生态经济系统发展能力,分析吉林省近 13 年的可持续发展状况,结果表明:人均生态足迹在 1998-2010 年一直保持增长的趋势,从 1.7841hm²/人增长到 3.2013hm²/人,人均生态承载力从 1.3535hm²/人减少到 1.3028hm²/人,生态赤字从 0.4306hm²/人增大到 1.8985hm²/人,吉林省的发展处于不可持续的状态。在 1998-2010 年期间,生态协调系数都比较接近 1.414,属于基本不协调。生态足迹多样性整体呈下降趋势,发展能力指数由 2.1429 升到 3.0902。万元 GDP 生态赤字先升后降:从 1998 年的 0.7308hm²/万元升到 2002 年的 0.9888hm²/万元,最后降到 2010 年的 0.6016hm²/万元。灰色预测模型显示:2011-2020 年,吉林省人均生态足迹将由 3.4833hm²/人增大到 5.7022hm²/人,人均生态承载力由 1.2978hm²/人降到 1.2676hm²/人,生态赤字将由 2.1855hm²/人增大到 4.4346hm²/人。吉林省必须采取一系列有效的措施,改变现有的经济发展模式、加大科技创新、提高人民素质,否则,生态赤字将会不断加大,可持续发展状况进一步恶化。

关键词:生态足迹;可持续发展;灰色预测;生态承载力;生态赤字;吉林省

中图分类号:S-0 文献标识码:B 文章编号:1000-0275(2013)01-0095-05

Analysis on Dynamic Change of Ecological Footprint and Evaluation of Sustainable Development in Jilin Province

GAO Biao¹, FANG Jiao², HE Huan³

(1.School of Geography Science, Baicheng Normal University, Baicheng,

Jilin 137000, China; 2. School of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun,

Jilin 130024, China; 3. School of Environment, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210046, China)

Abstract: This paper calculates the ecological footprint per capita and ecological capacity per capita in Jilin Province during 1998 to 2010 by using the ecological footprint theory, and analyzes the dynamic changes of ecological footprint per capita and ecological capacity per capita, finally combines with the models of ecological deficit, ecological coordination quotient, the index of ecological footprint diversity, ecological deficit per 10000 RMB GDP, development capacity of ecological economics system, etc, to analyze the state of sustainable development near 13-year in Jilin Province. The results indicate that, in 1998 to 2010, the ecological footprint per capita increased continuously from 1.7841 hm² per capita to 3.2013 hm² per capita and ecological capacity per capita dropped from 1.3535 hm² per capita to 1.3028 hm² per capita, and ecological deficit increased from 0.4306 hm² per capita to 1.8985 hm² per capita, which showed the development of Jilin Province was in an unsustainable status. In the same period, the ecological coordination quotient was very closely to 1.414 showing that the development was uncoordinated, the index of ecological footprint diversity has been declining in these years, the index of development capacity increased from 2.1429 to 3.0902, the ecological deficit per 10000 RMB GDP increased first and then decreased: it increased from 0.7308 hm² to 0.9888 hm² between 1998 and 2002, and dropped to 0.6016 hm² in 2010. The gray prediction model shows the ecological footprint per capita will increase from 3.4833 hm² per capita to 5.7022 hm² per capita between 2011 and 2020 in Jilin Province, ecological capacity per capita will drop from 1.2978 hm² per capita to 1.2676 hm² per capita and ecological deficit will increase from 2.1855 hm² per capita to 4.4346 hm² per capita. Jilin Province must take a series of effective measures to change the existing mode of economic development and improve the innovations of science and technology, and promote the quality of the people. Otherwise, the ecological deficit will continue to increase, the situation of sustainable development will deteriorate further.

Key words: ecological footprint; sustainable development; gray prediction; ecological capacity; ecological deficit; Jilin Province

环境问题的产生、发展与扩大,与人类社会经济活动密不可分。目前人类丰富的物质生活和经济水平都是建立在环境恶化的基础之上,所以保护环境和经济发展成为当代人苦苦追寻的目标,可持续发展就是实现这一目标的有效途径。可持续发展是立足于环境和自然资源的关于人类长期发展

的战略和模式,它强调环境承载能力和资源的永续利用^[1]。自从 1972 年在联合国人类环境研讨会提出可持续发展的概念以来,可持续发展一直就是各国学者研究的重点内容,而其定量评价方法的研究更是其中的前沿和热点。加拿大生态经济学家 William Rees 教授和 Wackernagel 博士于 20 世纪 90

基金项目:吉林省科技攻关项目(编号:2011A0400202);国家自然科学基金(编号:41071388)。

作者简介:高标(1980-),男,吉林白城人,讲师,硕士,主要研究方向:区域环境保护与可持续发展。

收稿日期:2012-08-06, **修回日期:**2012-11-15

年代提出的一种定量评价可持续发展程度与状况的方法——生态足迹法^[23],该方法从一个全新的视角出发,思考人类及其发展与生态环境的关系,提出一个核算全球、国家、地区以及个人对自然资本利用状况的简明框架,通过计算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,就可以评价人类对自然资源的利用情况,进而判定评价区域的可持续发展程度与状况,该方法已经在国内外相关领域得到广泛的应用,涵盖世界、国家、省和地区、州市县乡、学校以及旅游业等各个行业^[24]。

本研究在计算吉林省 1998 年到 2010 年的人均生态足迹与人均生态承载力的基础之上,分析人均生态足迹与人均生态承载力的动态变化,并结合生态赤字、生态协调系数、生态足迹多样性指数、万元 GDP 生态赤字、生态经济系统发展能力等评价模型,分析评价吉林省近 13 年的可持续发展状况,建立基于 GM(1,1)灰色预测的人均生态足迹与人均生态承载力预测模型,进而预测未来 10 年吉林省人均生态足迹、人均生态承载力以及生态赤字状况,以期政府或相关部门制定政策与规划提供科学、合理的依据。

1 研究区域概况

吉林省位于东北地区中部,属于温带大陆性季风气候,全年平均气温 4.8℃,年降水量 810.7mm。地处北纬 40° 52′ -46° 18′,东经 121° 38′ -131° 19′ 之间,东西最长约 750km,南北最宽约 600km,总面积 18.74 × 10⁴km²,约占全国总土地面积的 2%,居全国第 14 位,其中山地占 36%、丘陵占 5.8%、平原占 30%、台地及其他占 28.2%。全省拥有耕地面积 557.84 × 10⁴hm²,园地面积 11.56 × 10⁴hm²、草地面积 104.56 × 10⁴hm²、其他农用地面积 45.52 × 10⁴hm²、建设用地面积 104.98 × 10⁴hm²。全省拥有林业用地面积 932.7 × 10⁴hm²,森林面积 827.8 × 10⁴hm²,活立木总蓄积量 9.35 × 10⁸m³,森林覆盖率达 43.6%。全省拥有水资源总量为 686.68 × 10⁸m³,地表水资源量 622.07 × 10⁸m³,地下水资源量 141.88 × 10⁸m³。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

计算人均生态足迹与人均生态承载力的基本数据来源于:《吉林省统计年鉴(1999-2011)》、《中国能源统计年鉴(1999-2011)》、联合国粮食及农业组织统计数据库(<http://faostat.fao.org/>)、世界自然基金会官方网站(<http://www.wwfchina.org/>)、吉林省国土资源厅官方网站(<http://dlr.jl.gov.cn/>)、吉林省林业网(<http://lyt.jl.gov.cn/>);GDP 数据、人口数量来源于:《吉林省统计年鉴(1999-2011)》。

2.2 研究方法

2.2.1 生态足迹理论 生态足迹是指为了满足一定地区的人口消费所需的生产性土地和水域面积,以及吸纳这些人口所产生的废弃物的土地面积之和^[25]。生态承载力是指某一地区能够提供给本地区人口的生物生产性土地面积的总和。其中生物生产性土地可分为耕地、草地、林地、水域、建筑用地和化石燃料用地 6 种类型,主要的计算公式如下^[6,7]:

$$EF=N \times ef=N \times \sum (aa_i)=N \times r_i \times \sum (c_i/p_i)$$

$$EC=N \times ec=N \times \sum a_i \times r_i \times y_i$$

$$ED=EF-EC=N \times ed=N \times (ef-ec)$$

式中:EF 为总生态足迹,N 为人口数量,ef 为人均生态足迹,i 为消费品的类别,r_i 为均衡因子:本研究采用全球一致的均衡因子,分别为耕地 2.82、草地 0.54、林地 1.14、水域 0.22、建筑用地 2.82、化石燃料用地 1.14^[8,9],aa_i 为 i 种消费品折算的人均生物生产性土地面积,c_i 为第 i 种消费品的人均消费量,P_i 为第 i 种消费品的世界平均生产力,EC 为总生态承载力,ec 为人均生态承载力,a_i 为人均实际占有的 i 类生物生产性土地面积,y_i 为产量因子:本研究产量因子采用 Wackernagel 等计算中国生态足迹时的取值,分别为耕地 1.66、林地 0.91、草地 0.19、水域 1.00、建筑用地 2.19^[10],ED 为总生态赤字,ed 为生态赤字,本研究以 ef、ec、ed 为研究对象。

2.2.2 生态经济系统可持续发展状况评价模型

(1)生态赤字与生态协调系数。生态赤字为人均生态足迹与人均生态承载力之差,表示某个地区人类生产消费活动与人均生态承载力的关系,主要用来定量衡量这一地区的可持续发展状况。当这一地区的人均生态足迹超过人均生态承载力,表明这一地区的人口对自然生态系统的产品与服务需求超过生态承载力的范围,生态系统不安全,生态环境处于不可持续状态;如果这一地区的人均生态承载力超过人均生态足迹,就出现生态冗余,表明该地区的人口生产生活消费处于该地区所提供的生态承载力范围之内,生态系统是安全的,生态环境处于可持续状态。但是生态赤字只是单纯的数值,对地区的横向比较缺乏说服力,因为同样大小的生态赤字对经济状况不同的地区,意义是不同的。为了更有效地反映吉林省的人均生态足迹与地区资源禀赋之间的关系,引入生态协调系数 DS,DS 越接近 1 时,协调性越差,DS 越接近 1.414 时,地区生态需求和供给越趋于平衡,DS 等于 1.414 时,生态系统处于最协调状态^[11,12]。

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

式中:DS 为生态协调系数,ef、ec 同上。

(2)生态足迹多样性指数 H。采用 Shannon-Weaver 公式计算生态足迹多样性指数^[13],若生态经济系统中生态足迹的组成结构分配越接近平等,则生态经济系统的多样性就越高,系统的稳定性也就越高^[14,15]。

$$H=-\sum P_i \times \ln P_i$$

式中:H 为生态足迹多样性指数,P_i 为人均 i 类生物生产性土地生态足迹占总人均生态足迹的比率。

(3)生态经济系统发展能力 C。应用 Ulanowicz 的计算公式,生态经济系统发展能力等于人均生态足迹与生态足迹多样性指数的乘积^[16]:

$$C=ef \times H=ef \times (-\sum P_i \times \ln P_i)$$

式中:C 为生态经济系统发展能力,ef、H、P_i 同上。

(4)万元 GDP 生态赤字 W。万元 GDP 生态赤字即生态赤字与人均万元 GDP 的比值。该指标综合考虑人类生产生活在生态系统的生态需求和生态系统的生态承载能力,用以衡量研究区域的资源利用效率,计算公式如下^[14,17]:

$$W=(EF-EC)/GDP$$

式中:W 为万元 GDP 生态赤字,GDP 为地区国内生产总

值,EF、EC 同上。

2.2.3 灰色预测模型 GM(1,1) 灰色预测是通过对原始数据的处理和灰色模型的建立,发现和掌握系统发展规律,对系统的未来状态做出科学的定量预测^[18]。GM(1,1)模型由单变量一阶微分方程构成,具有对数据要求限制少,中短期预测精度高特点,成为最常用的灰色预测模型^[19]。其主要的步骤如下:

设原始序列为 $x^{(0)}(t)=(x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\dots,x^{(0)}(n))$,对原始序列做一次累加生成得到: $x^{(1)}(t)=\sum_{i=1}^t x^{(0)}(i),t=1,2,\dots,n$,则 GM(1,1)预测模型微分方程为: $\frac{dx^{(1)}(t)}{dt}+ax^{(1)}(t)=b$,然后用离散化和最小二乘法求出式中的参数 a 和 b,得到灰色预测模型: $x^{(0)}(t+1)=[x^{(0)}(1)-\frac{b}{a}]e^{-at}+\frac{b}{a}$,再做累减还原,得到预测数值: $\hat{x}^{(0)}(t+1)=\hat{x}^{(1)}(t+1)-\hat{x}^{(1)}(t),t=1,2,\dots,n-1$ 。

3 结果与分析

3.1 人均生态足迹和生态承载力、生态赤字的动态变化分析

生态足迹包括生物资源消费和化石能源消费两部分,吉林省生物资源的消费包括农产品、动物产品、林产品、水产品、水果产品及木材等,应用生态足迹理论计算公式,将生物消费转化为提供这些消费需要的各种类型生物生产性土地面积。吉林省能源消费包括原煤、焦炭、原油、汽油、柴油、燃料油、煤油、液化石油气、电力等,计算生态足迹时,采用世界上单位化石燃料生产用地面积的平均发热量为标准,将能源消费所消耗的热量折算成一定面积的化石燃料用地和建筑用地。运用上述计算方法对吉林省 1998-2010 年的人均生态足迹、人均生态承载力与生态赤字进行计算,计算过程略去,计算结果如表 1 所示。

表 1 吉林省 1998-2010 年人均生态足迹、人均生态承载力与生态赤字 (单位:hm²/人)

年份	人均生态足迹	人均生态承载力	生态赤字
1998	1.7841	1.3535	0.4306
1999	1.8273	1.3464	0.4809
2000	1.8520	1.3343	0.5177
2001	1.8774	1.3298	0.5476
2002	2.1484	1.3256	0.8228
2003	2.1951	1.3235	0.8716
2004	2.3567	1.3211	1.0356
2005	2.6306	1.3175	1.3131
2006	2.7947	1.3141	1.4806
2007	2.8661	1.3108	1.5553
2008	3.0385	1.3087	1.7298
2009	3.0034	1.3062	1.6972
2010	3.2013	1.3028	1.8985

注:根据世界环境与发展委员会(WCED)的建议,人均生态承载力扣除了 12%的生物多样性保护面积。

从表 1 可以看出,从 1998 年开始一直到 2010 年,除了 2008-2009 年有一个 0.0351hm²/人的下降,人均生态足迹一直保持增长的趋势,这期间,人均生态足迹从 1.7841hm²/人增长到 3.2013hm²/人,增幅达到 1.4172hm²/人,增长率为 79.44%,年平均增长率为 6.62%。说明伴随近十几年吉林省社会经济的巨大发展和人民物质生活水平的大幅提高,人们

对自然资源的需求逐年加大,生产生活资料的绝对数量大幅增加,进而对生态环境产生的压力也越来越大^[20]。

从 1998 年开始,吉林省的人均生态承载力呈现缓慢降低的趋势,主要是由于人口数量的增加以及土地退化(水土流失、荒漠化、盐碱化等)、气候变化以及政府相关政策导致的土地面积减少造成的。这期间,人均生态承载力从 1.3535hm²/人减少到 1.3028hm²/人,减幅为 0.0507hm²/人,减少率为 3.75%,年平均减少率为 0.31%。

通过表 1 及以上的分析可以知道,在 1998-2010 年间,吉林省的人均生态足迹与人均生态承载力大致处于反方向变化,1998 年就已经出现生态赤字 0.4306hm²/人,且呈现逐渐增大的走势,从 1998 年的 0.4306hm²/人增大到 2010 年的 1.8985hm²/人,增大了 3.4 倍,净增幅为 1.4679hm²/人。说明吉林省利用自然资源的强度与力度在逐年加大,吉林省的人口对自然生态系统的产品与服务需求已经超出自然生态系统的生态承载力范围,生态足迹与生态承载力之间的矛盾加剧,生态系统退化,人口与土地之间的关系紧张,吉林省的发展处于一种不可持续的状态。

3.2 生态经济系统可持续发展状况评价分析

利用相关数据,通过公式计算 1998-2010 年吉林省生态经济系统可持续发展状况各模型指数,具体结果及变化情况见表 2,从表 2 可以看出,吉林省 1998-2010 年的生态协调系数基本处于线性递减态势,从 1998 年的 1.4011 降到 2010 年的 1.3032,只有 2009 年较 2008 年有一个 0.0019 的微小升高,整个期间的生态协调系数都比较接近 1.414,属于基本不协调,说明吉林省维持自身的发展,主要是通过消耗自然资本存量 and 外部资源来弥补自身生态承载力的不足,进而使本地区处于一种生态不协调状态,而且不协调的程度在逐渐加大^[21]。

表 2 吉林省 1998-2010 年生态经济系统可持续发展状况评价指数

年份	DS	H	C	W
1999	1.3983	1.2549	0.7695	2.2931
2000	1.3959	1.2643	0.7445	2.3415
2001	1.3940	1.2556	0.7250	2.3573
2002	1.3761	1.2391	0.9888	2.6621
2003	1.3727	1.2474	0.9342	2.7382
2004	1.3613	1.2266	0.9482	2.8907
2005	1.3419	1.1633	0.9851	3.0602
2006	1.3305	1.1271	0.9430	3.1499
2007	1.3253	1.0894	0.8034	3.1223
2008	1.3140	1.0376	0.7360	3.1527
2009	1.3159	1.0784	0.6388	3.2389
2010	1.3032	0.9653	0.6016	3.0902

注:DS 为生态协调系数;H 为生态足迹多样性指数;C 为生态经济系统发展能力;W 为万元 GDP 生态赤字。

提高生态经济系统的发展能力有两种方式:即增加生态足迹和提高生态足迹多样性^[22]。从表 2 可以看出,1998-2002 年,吉林省的生态足迹多样性指数处于比较稳定的状态,从 2003 年开始到 2010 年,除了在 2009 年有个微小的升高之外,生态足迹多样性指数基本呈线性下降趋势,生态足迹多样性的减少会负面影响生态经济系统的发展,但同期吉林省的发展能力却从 1998 年的 2.1429 上升到 2009 年的 3.2389,虽然在 2010 年下降到 3.0902,但是整体发展能力还是呈现

比较大的上升势头,究其原因,主要是由于 1998-2010 年间吉林省人均生态足迹的大幅度提高。而人均生态足迹的大幅提高会加剧自然资源的供需状况失衡,加大区域经济发展对外部资源的依赖性和风险性,使生态经济系统处在一种不可持续的发展状态。因此,吉林省提高生态经济系统发展能力应该从提高生态足迹多样性入手,即提高土地利用类型的多样化程度,合理有效地利用土地资源^[16,23]。

从万元 GDP 生态赤字可以间接反映出研究区域的资源利用效率,从表 2 可以看出,1998-2001 年,吉林省万元 GDP 生态赤字大致保持恒定,有微小的先升后降,万元 GDP 生态赤字的平均值达到 0.7425hm²。2001-2002 年,万元 GDP 生态赤字有一个快速的升高,从 0.7250hm² 升高到 0.9888hm²,升幅达 36.39%。2003-2006 年,万元 GDP 生态赤字只有微小变化,万元 GDP 生态赤字的平均值达到 0.9599hm²,随后从 2007 年开始呈线性快速下降,到 2010 年减小到 0.6016hm²。1998-2006 年,吉林省的经济增长模式以粗放型、消耗型为主,资源利用效率高低不同的主要原因是人均生态足迹的剧烈变化。结合表 1 分析可以知道,吉林省 1998-2001 年的资源能源的利用效率比较高,但是这一阶段人均生态足迹相对较小且增长较慢,经济发展相对缓慢;从 2002 年开始,伴随着吉林省经济的快速发展,人均生态足迹大幅增加,资源利用效率开始变低,并且一直持续到 2006 年。2007-2010 年,资源利用效率迅速提高,反映了资源利用方式由粗放型、消耗型逐渐向集约型、节约型转变。伴随经济与科技的快速、良好发展,资源能源的利用效率会持续升高,万元 GDP 生态赤字存在进一步减小的趋势^[24]。

3.3 人均生态足迹与人均生态承载力预测

3.3.1 人均生态足迹、人均生态承载力预测模型 应用灰色预测模型原理,结合吉林省 1998-2010 年人均生态足迹与人均生态承载力数据,建立灰色预测模型 GM(1,1),为了保证建立 GM(1,1)灰色预测模型的可行性,将 1998-2010 年的人均生态足迹、人均生态承载力设为原始数列:

$$x^{(0)}=(1.7841,1.8273,1.8520,1.8774,2.1484,2.1951,2.3567,2.6306,2.7947,2.8661,3.0385,3.0034,3.2013)$$

$$y^{(0)}=(1.3535,1.3464,1.3343,1.3298,1.3256,1.3235,1.3211,1.3175,1.3141,1.3108,1.3087,1.3062,1.3028)$$

应用 Excel 计算原始数列的级比(前一数据除以相邻后一数据),发现两数列所有的级比均落在可容覆盖区间 $X=(e^{-2m+1}, e^{2m+1})=(0.8669, 1.1536)$ 内,则两原始数据列均可建立 GM(1,1)模型进行灰色预测^[24]。为了简化计算,本研究直接应用 GM 灰色建模软件进行建模,得到人均生态足迹预测模型函数(1)和人均生态承载力预测模型函数(2),具体比较结果见表 3。

$$x^{(1)}(t+1)=32.0741\exp(0.0548t)-30.2890 \quad (1)$$

$$y^{(1)}(t+1)=-512.7998\exp(-0.0026t)+514.1533 \quad (2)$$

采用后验差检验法对灰色 GM(1,1)预测模型(1)、(2)进行精度检验,利用表 3 数据,计算得到预测模型(1)、(2)的均方差比 C 分别为 $C_1=0.1736$ 、 $C_2=0.1688$,小概率误差 P 分别为 $P_1=1$ 、 $P_2=1$,对照灰色预测模型精度检验等级表(表 4),可知预测精度为好,模型(1)、(2)可应用于实际未来预测。

表 3 吉林省 1998-2010 年人均生态足迹与人均生态承载力对比 (单位:hm²/人)

年份	实际生态足迹	预测生态足迹	实际生态承载力	预测生态承载力
1998	1.7841	1.7841	1.3535	1.3535
1999	1.8273	1.8055	1.3464	1.3391
2000	1.8520	1.9071	1.3343	1.3356
2001	1.8774	2.0144	1.3298	1.3321
2002	2.1484	2.1278	1.3256	1.3287
2003	2.1951	2.2476	1.3235	1.3252
2004	2.3567	2.3741	1.3211	1.3217
2005	2.6306	2.5078	1.3175	1.3183
2006	2.7947	2.6489	1.3141	1.3148
2007	2.8661	2.7981	1.3108	1.3114
2008	3.0385	2.9556	1.3087	1.3080
2009	3.0034	3.1219	1.3062	1.3046
2010	3.2013	3.2977	1.3028	1.3012

表 4 灰色预测模型精度检验等级表

等级	好	合格	勉强	不合格
C	<0.35	<0.45	<0.50	≥0.65
P	>0.95	>0.80	>0.70	≤0.70

3.3.2 预测结果及分析 根据模型(1)、(2)预测未来 10 年吉林省的人均生态足迹和人均生态承载力,预测结果见表 5,2011 年吉林省人均生态足迹与人均生态承载力将分别达到 3.4833hm²/人和 1.2978hm²/人,其生态赤字达到 2.1855hm²/人,2020 年人均生态足迹和人均生态承载力分别达到 5.7022hm²/人和 1.2676hm²/人,生态赤字达到 4.4346hm²/人。可见,必须采取一系列有效的措施,改变现有的经济发展模式、加大科技创新、提高人民素质,否则,吉林省生态赤字将会不断加大,可持续发展状况进一步恶化。

表 5 吉林省 2011-2020 年人均生态足迹与人均生态承载力预测 (单位:hm²/人)

年份	人均生态足迹	人均生态承载力	生态赤字
2011	3.4833	1.2978	2.1855
2012	3.6794	1.2944	2.3850
2013	3.8865	1.2910	2.5955
2014	4.1053	1.2876	2.8177
2015	4.3363	1.2843	3.0520
2016	4.5804	1.2810	3.2994
2017	4.8383	1.2776	3.5607
2018	5.1106	1.2742	3.8364
2019	5.3983	1.2709	4.1274
2020	5.7022	1.2676	4.4346

4 结论与对策

通过对吉林省 1998-2010 年人均生态足迹与人均生态承载力的动态变化分析、生态经济系统可持续发展状况分析以及基于 GM(1,1)的灰色模型预测,可以得到以下的结论:

(1)1998-2010 年,吉林省人均生态足迹与人均生态承载力大致处于反方向变化,人均生态足迹增加 1.4172hm²/人,增长率为 79.44%。人均生态承载力减幅为 0.0682hm²/人,减少率为 4.97%。生态赤字从 1998 年的 0.4306hm²/人增大到 2010 年的 1.8985hm²/人,吉林省的发展处于一种逐渐加剧的不可持续状态。

(2)吉林省 1998-2010 年的生态协调系数都比较接近 1.414,属于基本不协调;生态足迹多样性整体呈下降趋势,对

生态经济系统的发展产生负面影响;同期吉林省的发展能力则从1998年的2.1429上升到2009年的3.2389,虽然在2010年下降到3.0902,但是整体发展能力还是呈现比较大的上升势头。万元GDP生态赤字大致表现为先升后降:1998-2002年,万元GDP生态赤字为一个平稳期和一个上升期,反映出1998-2002年资源能源的利用率比较低;2003-2010年,万元GDP生态赤字为一个平稳期和一个下降期,反映出人们对资源能源的利用效率正在逐年提高。

(3) 根据灰色预测模型:2020年人均生态足迹和人均生态承载力分别达到 $5.7022\text{hm}^2/\text{人}$ 和 $1.2676\text{hm}^2/\text{人}$,生态赤字达到 $4.4346\text{hm}^2/\text{人}$ 。因此必须采取一系列有效的措施,改变现有的经济发展模式、加大科技创新、提高人民素质,否则,吉林省的生态赤字将会不断地加大,可持续发展状况将进一步恶化。

为减小生态赤字,改善可持续发展状况,针对上述分析,未来吉林省应该在以下方面采取对策:转换经济增长方式,优化产业结构,合理工业布局,大力发展循环经济和低碳经济,建设循环经济型工业园区;改变能源结构,提高能源资源利用效率,减少化石能源消耗,优先发展风能、太阳能与生物质能;控制人口数量,减少生态过剩人口;加强舆论宣传与公众教育,改变现有生活消费方式,提倡节约节俭,拒绝铺张浪费;调整农业产业结构,加强技术手段更新,提高生产性土地单位面积生物产量;合理有效利用土地,提高土地利用类型的多样化,防止过度开荒,防治土地沙化、盐碱化与水土流失。

参考文献:

- [1] 陈英旭. 环境学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001: 416-417.
- [2] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. Environmental Urban, 1992, 4(2):121-130.
- [3] Wackernagel M, Rees W. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996: 61-83.
- [4] 张智全, 于爱忠, 罗珠珠, 等. 甘肃省庆阳市生态足迹和生态承载力动态研究[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 187-193.
- [5] 刘晓星, 贡璐, 吕光辉, 等. 阿克苏地区生态足迹分析与动态预测[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(6): 49-53.
- [6] Wackernagel M, Monfreda C, Schulz N B, et al. Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges [J]. Land Use Policy, 2004, 21(3):271-278.
- [7] 郭玲霞, 黄朝禧. “两型社会”城市生态足迹时间维变化及驱动研究——以武汉市为例[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(2): 217-221.
- [8] Wackernagel M, Yount J D. The ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1998, 51(1-2):511-529.
- [9] 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(6): 2382-2390.
- [10] 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.
- [11] 袁祯燕, 吕光辉, 贡璐, 等. 基于生态足迹模型对新疆可持续发展的动态分析[J]. 生态经济, 2008(6): 66-69.
- [12] 赖发英, 周春火, 肖远东, 等. 鄱阳湖流域生态足迹与生态环境协调度的计算与分析[J]. 中国农业生态学报, 2006, 14(4): 221-225.
- [13] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1949: 23.
- [14] 王国刚, 杨德刚, 乔旭宁, 等. 基于生态足迹模型的新疆区域生态经济可持续发展能力变化分析 [J]. 冰川冻土, 2009, 31(5): 969-975.
- [15] 吴健生, 李萍, 张玉清. 基于生态足迹的城市地域可持续发展能力评价——以深圳为例[J]. 资源科学, 2008, 30(6): 850-856.
- [16] 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.
- [17] 王书玉, 卞新民. 江苏省阜宁县生态经济系统综合评价[J]. 生态学杂志, 2007, 26(2): 239-244.
- [18] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 163.
- [19] 余慧容, 蒲春玲. 新疆人均生态足迹的演变及其计量测算探析[J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33(6): 543-547.
- [20] 马媛, 黄翀, 郑巍. 基于生态足迹的甘肃省可持续发展研究[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(6): 174-178.
- [21] 宫继萍, 潘竟虎, 石培基. 基于生态足迹和灰色关联度的甘肃省可持续发展研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 198-201.
- [22] 聂华林, 苏芳, 尚海洋. 甘肃省1990-2005年生态足迹与发展能力研究[J]. 甘肃社会科学, 2010(4): 92-94.
- [23] 杨海真, 李爱梅, 叶田. 基于修正的生态足迹区域可持续发展评价[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(8): 1188-1193.
- [24] 赵卫, 刘景双, 孔凡娥. 吉林省生态足迹时间序列计算与分析[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(2): 6-10.