

基于生态足迹的沿海城市可持续发展能力评价及 预测分析

——以江苏盐城为例

朱高立¹, 饶芳萍¹, 李发志², 邹伟²

(1.南京财经大学 公共管理学院, 南京 210023; 2.南京农业大学 公共管理学院, 南京 210095)

摘要:为衡量区域生态系统的压力大小,综合运用生态足迹模型、生态足迹多样性指数、生态系统发展能力、灰色预测GM(1,1)模型评价了江苏省盐城市2005—2018年的生态系统可持续发展能力,并预测了其未来10 a的生态可持续性。结果表明:2005—2018年盐城市生态足迹组分以水域和耕地为主,占足迹总量的64%~72%;14 a间,盐城市的生态足迹多样性指数保持稳定,但生态系统发展能力增加了70%;盐城市的生态承载力14 a间仅增加了25%,明显低于生态足迹的63%,生态赤字呈逐年扩大趋势,其中,2018年的生态足迹为当年生态承载力的7.8倍;如果继续当前的消费模式,预计到2028年,盐城市生态赤字较2018年增长44.6%,区域可持续发展状况将越发严重。研究认为区域可持续发展的实现应该从减少生态足迹、提高生态承载力和生态足迹多样性指数三方面着手,以求达到提高资源利用率、发展循环经济的效果。

关键词:生态足迹;可持续发展;生态系统发展能力;生态赤字预测;沿海城市

中图分类号:X22

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)02-0360-07

Assessment and Prediction of Sustainable Development of Coast City Based on Ecological Footprint Method — An Application to Yancheng City in Jiangsu Province

ZHU Gaoli¹, RAO Fangping¹, LI Fazhi², ZOU Wei²

(1.School of Public Administration, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210023, China; 2.College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to measure the pressure of ecological system, the dynamic variation of ecological footprint, capacity, deficit (surplus) was calculated by using ecological footprint method, and then the indicators of ecological footprint diversity and ecosystem development capacity were introduced to consummate the calculation results. Above all, the equation about ecological deficit and per capita ecological deficit was built by using gray system model GM(1,1) and then the sustainable development of Yancheng City in Jiangsu Province from 2019 to 2028 was predicted. The results showed that water body and arable land account for 64%~72% of ecological footprint between 2005 and 2018 compared with different land types; the ecological carrying capacity only increased 25% in 14 years, far below the ecological footprint; the ecological footprint of Yancheng City was 7.8 times of the ecological carrying capacity in 2018; the ecological footprint diversity kept stable in 14 years, it meant there was no obvious changes in different land types, the ecological economic system kept relatively stable. If the pattern of consumption continues, the ecological deficit of Yancheng City is expected to increase 44.6% in 2028. It is suggested that the realization of regional sustainable development should start from three aspects: reducing ecological footprint, improving ecological carrying capacity and ecological footprint diversity index, so as to improve the utilization rate of resources and develop circular economy.

收稿日期:2020-04-29

修回日期:2020-06-04

资助项目:教育部人文社科规划项目“土地税收政策对工业企业土地需求影响研究——基于江苏省不同区域的调查”(17YJA790104)

第一作者:朱高立(1989—),男,江苏徐州人,讲师,博士,主要从事城镇经济、资源与环境经济学研究。E-mail:zhugaoli1989@126.com

通信作者:邹伟(1972—),男,四川渠县人,博士,教授,主要从事土地经济与制度研究。E-mail:zw@njau.edu.cn

Keywords: ecological footprint; sustainable development; capacity of ecosystem development; ecological deficit prediction; coast city

中国经济的快速发展和城镇化率的迅速提升使得经济、资源、环境间的矛盾日益突出,如何协调三者间的矛盾,实现区域经济与生态环境的可持续发展已经成为全社会亟待解决的问题。实现城市可持续发展的要求是在保证城市社会经济正常发展的前提下,城市生态环境所受到的破坏可以被控制在合理范围内^[1]。生态足迹模型最早由 Rees 提出,其主要作用是定量测算人类活动对生态系统的压力^[2]。依托其科学完善的理论基础,生态足迹方法在国内外学术界得到了广泛应用,这主要表现在以下几个方面:第一,研究尺度由早年的城市^[3]、地区^[4]、国家^[5]、全球^[6]等大尺度逐渐向学校^[7]、家庭^[8]等小尺度演进。第二,尝试着将研究区域细分,从地理学的角度考察不同经纬度地区的生态足迹变化状况,有学者如吉力力·阿不都外力等^[9]利用生态足迹压力指数模型分析了亚洲内陆四国的生态安全状态;另一些学者如袁仲杰等^[10]研究了沿海地区旅游资源开发规模的评估方法,并评估了大连旅顺的沿海旅游资源;杨木壮等^[11]研究发现,与珠三角同等内陆城市肇庆相比,作为沿海城市的汕头生态足迹相对较低,但生态赤字相对较高。第三,近年来,国内外学者通过不断补充完善以往的生态足迹方法,逐渐将其研究领域由土地拓展到旅游^[12]、水资源^[13]、能源消费^[14]、建筑^[15]等各个方面。其中,在旅游生态足迹研究方面,国内学者甄翌等^[16]将生态足迹分为可转移、不可转移两类,并提出了根生态盈余/赤字的概念;在水资源生态足迹研究方面,王俭等^[17]构建了由生活用水、生产用水、公共服务用水和生态用水 4 类账户组成的水资源生态足迹核算模型;在碳生态足迹研究方面,张清等^[18]定量分析了中国能源碳足迹生态压力的动态变化。第四,从研究方法的改进与评价^[19-21]等方面对生态足迹相关问题进行了深入系统的研究。第五,一些学者还就可持续发展与生态足迹的关系进行了研究,例如李翔^[22]以长株潭为对象,分析了生态承载力和可持续发展的辩证关系;王云霞^[23]理论分析了生态承载力和可持续发展之间的关系;韦晓宏^[24]将生态承载力与可持续经济发展研究有机结合起来,对生态承载力的理论基础、定量模式和时间动态模型进行了系统的综合性研究。

通过对国内外相关研究的梳理可以发现,以往研究大部分以静态为主,对生态足迹动态变化过程关注较少,且对沿海地区未来可持续发展能力的预测研究

不多。因此,本文以地处江苏沿海的盐城市为例,通过生态足迹模型测算盐城市 2005—2018 年的生态足迹动态变化情况,并引入生态足迹多样性指数与生态系统发展能力对测算结果进行补充,最后预测盐城市未来 10 a 的生态可持续发展状况。本研究旨在为盐城市制定可持续发展方案提供理论支持。

1 研究区概况

盐城市地处江苏省中东部,长江三角洲北翼,位于 32°34′—34°28′N, 119°27′—120°54′E,市域面积 1.7 万 km²。2018 年,盐城市户籍人口 826.15 万人,人均地区生产总值 75 987 元,人均可支配收入 29 488 元,其中,城镇常住居民人均可支配收入 35 896 元,人均消费支出 19 731 元,农村常住居民人均可支配收入 20 357 元,人均消费支出 14 515 元。自然资源消耗量和生产生活废弃物增加累积的诸多负面效应已经成为盐城市区域可持续发展的主要障碍。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文采用的生物资源消费、能源资源消费和各类土地面积数据来源于《盐城统计年鉴》。

2.2 研究方法

2.2.1 生态足迹模型 生态足迹模型的应用需要两个步骤:首先,计算出人口的自然资源消费量和吸纳这些人口产生的废弃物所需的生物生产性土地面积;其次,需要将各类资源消费和能源消费项目折算为耕地、草地、林地、建筑用地、水域、化石能源用地等土地类型,详细项目见表 1。需要指出的是,由于不同生物生产性土地的生产力存在差异,在计算过程中,需要通过均衡化处理将不同类型的土地面积转化为具有相同生产力的生物生产面积^[25]。

本文的均衡因子来自《National Footprint Account》(2010)中的结果。由于江苏省各区域自然条件差别不大,所以本文的产量因子采用包正君^[26],张佳琦^[27]等在计算南京、苏州生态足迹时所统一采用的产量因子。具体计算公式如下:

$$Ef = \sum r_j A_i = \sum r_j C_i / (Y_i N) \quad (1)$$

$$EF = Ef \times N \quad (2)$$

式中:EF 为总生态足迹(hm²);Ef 为人均生态足迹(hm²/人);*i* 为消费项目的类别;*j* 为土地类型;*A_i* 为第 *i* 种消费项目折算的人均生物生产性土地面积;

r_j 为 i 类商品对应的土地类型 j 的均衡因子; C_i 为 i 种生物资源的消费量; Y_i 为 i 种生物资源的世界平均产量(kg/hm^2); N 为人口数。在计算能源消费项目的生态足迹时,需要通过转化系数将不同的能源消费项目折算成化石能源用地面积,不同能源的折算系

数如下:原煤为 $20.9 \text{ GJ}/\text{t}$,洗精煤为 $26.3 \text{ GJ}/\text{t}$,焦炭为 $28.5 \text{ GJ}/\text{t}$,原油为 $41.9 \text{ GJ}/\text{t}$,汽油为 $43.1 \text{ GJ}/\text{t}$,煤油为 $43.1 \text{ GJ}/\text{t}$,柴油为 $42.7 \text{ GJ}/\text{t}$,燃料油为 $50.2 \text{ GJ}/\text{t}$,液化石油气为 $50.2 \text{ GJ}/\text{t}$,液化天然气为 $51.5 \text{ GJ}/\text{t}$,天然气为 $39.0 \text{ GJ}/\text{t}$,电力为 $0.003 6 \text{ kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

表 1 生态足迹账户类型

土地类型	消费项目	生态足迹 均衡因子	生态承载力 产量因子
耕地	粮食、棉花、蔬菜、油料、蚕茧	2.51	1.66
草地	猪肉、牛肉、羊肉、禽蛋、禽肉、奶类	0.46	0.19
林地	园林水果、木材	1.26	0.91
建筑用地	电力	2.51	1.66
水域	水产品	0.37	1
化石能源用地	原煤、洗精煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、液化天然气、天然气	1.26	0

生态承载力为地区所能提供给人类所需的生物生产性土地面积,其计算公式如下:

$$\text{Ec} = \sum a_i \times r_j \times y_i \quad (j=1,2,\cdots,6) \quad (3)$$

$$\text{EC} = \text{Ec} \times N \quad (4)$$

式中:Ec 为人均生态承载力面积;EC 为区域总生态承载力; a_i 为人均生物生产性土地面积; r_j 为均衡因子; y_i 为产量因子; N 为人口数。计算结果应扣除 12% 的生物多样性保护面积。

2.2.2 生态系统可持续发展评价 生态足迹模型的生态偏向性特征不能全面反映社会经济与资源环境的关系,而且可能会忽略土地的多样性功能及发展能力。为此,本文引入了生态足迹多样性指数与生态系统发展能力等指标。其中,生态足迹多样性指数主要用来描述区域内各种消费所需生物生产性土地面积的均衡程度^[28],不同地类生态足迹分配越平等表明生态经济系统的多样性越高。生态系统发展能力可以很好地反映区域生态经济系统发展状况,生态足迹多样性指数越大,其能力越强。上述 3 种指标都可以用来衡量区域可持续发展水平,它们的综合应用可以更加科学地评价区域生态系统可持续发展能力,增强区域土地可持续发展的对比性^[29]。

(1) 生态足迹多样性指数。生态足迹多样性指数借鉴杨青等^[30]的研究,计算公式为:

$$H = - \sum (R_i \ln R_i) \quad (5)$$

式中: H 为生态足迹多样性指数; i 为生物生产性土地类型; R_i 为第 i 种土地类型足迹在总生态足迹中占有的比例。

(2) 生态系统发展能力。从系统组织角度推算出生态系统多样性指数,然后将其乘以区域人均生态足迹就可以得出区域生态系统发展能力,具体可借鉴 Ulanowicz^[31]的研究,计算公式为:

$$C = \text{Ef}[- \sum (R_i \ln R_i)] \quad (6)$$

式中: C 为生态系统发展能力; Ef 为地区人均生态足迹。

2.2.3 灰色预测 GM(1,1)模型 灰色预测 GM(1,1)模型是灰色系统理论的核心内容,主要用于预测系统行为特征值的变化。其分析步骤如下:首先通过部分已知数据,将抽象的信息量化后进行模型化,然后进行模型预测部分未知数据^[32],它具有不需要大量样本、样本无需规律分布、计算工作量小、定性定量分析结果一致、准确性高等优点。该方法现已被广泛应用于工业、农业、物流等诸多领域。具体方法可参见相关文献^[33]。本文利用此方法模拟盐城市 2005—2018 年的生态赤字和人均生态赤字变化,并对盐城市未来 10 a 的生态赤字和人均生态赤字进行预测。数据的分析处理采用 DPS 7.05 软件。

3 结果与分析

3.1 人均生态足迹动态变化

图 1 为 2005—2018 年盐城市各地类人均生态足迹变化图。由图 1 可知,2005—2018 年,盐城市各地类人均生态足迹整体上呈上升趋势,这主要是由于区域经济快速发展、人均资源消耗量增加、消费结构与产业结构发生调整等原因。具体分析,林地和建筑用地人均生态足迹随时间的推进呈小幅度上升趋势,14 a 间变化不大;水域和耕地人均生态足迹随时间的推进呈大幅度上升趋势。以耕地为例,耕地的人均生态足迹以 2012 年为节点,在这之前上升趋势明显,之后趋于平缓。通过相关分析可以发现,盐城耕地人均生态足迹与区域常住人口呈极显著负相关,这说明人口变化显著影响区域耕地人均生态足迹;草地人均生态足迹的变化处于波动状态,2005—2008 年呈下降趋势,2008—2012 年呈快速上升趋势,2012—2018 年上升趋势趋于平缓;化石能源用地人均生态足迹在 2014

年以前虽然出现波动,但起伏变化不大,在 2014 年以后,该地类人均生态足迹呈快速上升趋势,这可能与该地区经济发展水平有关。通过对区域化石能源用地的人均生态足迹与区域 GDP 进行相关性分析可以发现,两者之间呈极显著正相关,从而间接印证了本文的推断。由图 1 还可以发现,水域是盐城市人均生态足迹的主要贡献者,其中,2018 年的水域人均生态足迹占总足迹的 40%。

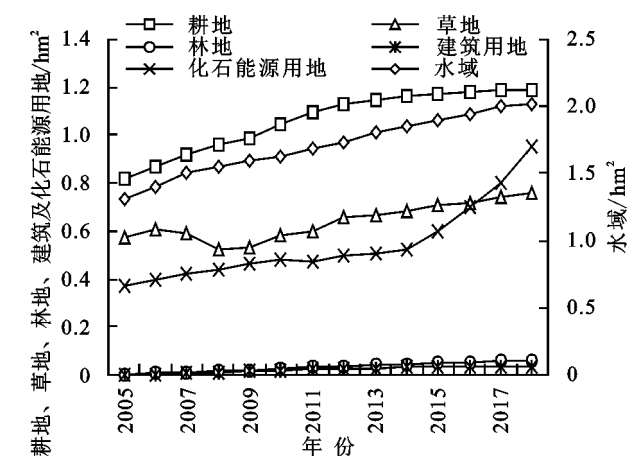


图 1 2005—2018 年盐城市各地类人均生态足迹动态变化

3.2 人均生态承载力和生态赤字(盈余)动态变化

图 2 为 2005—2018 年盐城市不同地类的人均生态承载力变化图。由图 2 可知,耕地、草地、林地和建筑用地的人均生态承载力 14 a 间整体呈上升趋势,这得益于生产效率的提高。其中,耕地人均生态承载力从 2005 年的 0.41 hm^2 上升到 2018 年的 0.48 hm^2 ,草地人均生态承载力从 2005 年的 $2.5 \times 10^{-5} \text{ hm}^2$ 上升到 2018 年的 $1.6 \times 10^{-4} \text{ hm}^2$,林地人均生态承载力从 2005 年的 $1.4 \times 10^{-2} \text{ hm}^2$ 上升到 2018 年的 $5.2 \times 10^{-2} \text{ hm}^2$,建筑用地人均生态承载力从 2005 年的 0.12 hm^2 上升到 2018 年的 0.16 hm^2 。与上述土地类型不同,水域的人均生态承载力从 2005 年的 $3.9 \times 10^{-2} \text{ hm}^2$ 下降到 2018 年的 $3.6 \times 10^{-2} \text{ hm}^2$,14 a 间整体呈下降趋势,这可能与水域面积的减少,水产品养殖结构的调整有关。从结构上看,耕地的人均生态承载力比重维持在 66%~71%,这表明耕地是保障区域可持续发展的关键要素,应加强对耕地资源的保护。

图 3 为 2005—2018 年不同地类的人均生态盈余(赤字)变化图。可以发现,耕地、草地、水域和化石能源用地 14 a 间一直处于生态赤字状态,且赤字水平呈逐年上升趋势。具体分析,耕地人均赤字从 2005 年的 0.40 hm^2 上升到 2018 年的 0.73 hm^2 ,草地人均赤字从 2005 年的 0.57 hm^2 上升到 2018 年的 0.76 hm^2 ,水域人均赤字从 2005 年的 1.27 hm^2 上升到 2018 年的 1.98 hm^2 ,化石能源用地人均赤字从 2005

年的 0.37 hm^2 上升到 2018 年的 0.95 hm^2 。从结构上看,水域人均赤字所占比重较大,2005—2018 年维持在 47%~56%,耕地、草地和化石能源用地人均赤字所占比重大致相当,维持在 14%~23%。与上述 4 种土地类型处于生态赤字状况不同,林地和建筑用地 14 a 间一直处于生态盈余状态,且盈余水平呈上升趋势,其中,林地人均盈余从 2005 年的 $8.4 \times 10^{-3} \text{ hm}^2$ 上升到 2018 年的 $2.8 \times 10^{-2} \text{ hm}^2$,建筑用地人均盈余从 2005 年的 0.11 hm^2 上升到 2018 年的 0.12 hm^2 ,这两种土地类型可以满足区域经济发展的需求。

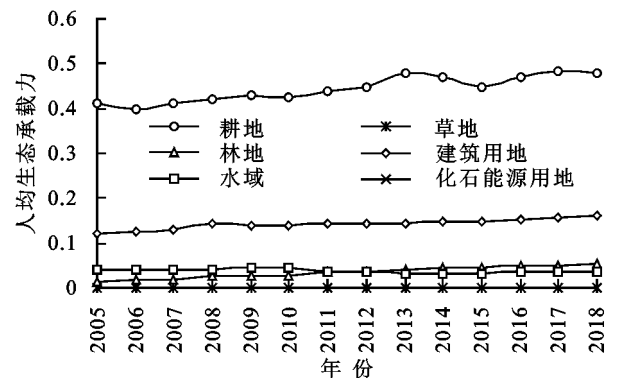


图 2 2005—2018 年人均生态承载力

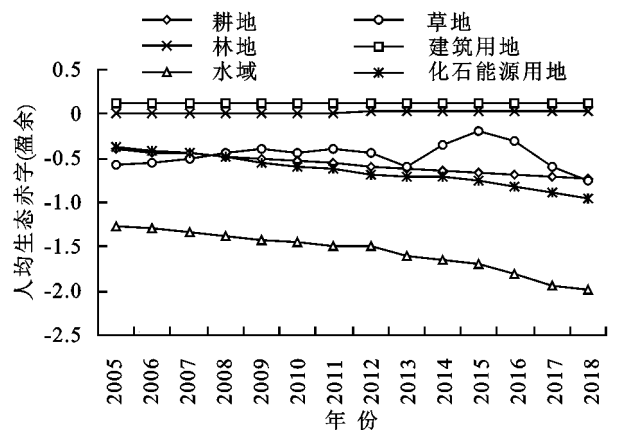


图 3 2005—2018 年人均生态赤字(盈余)

3.3 总生态足迹、生态承载力、生态赤字动态变化

由图 4 可知,2005—2018 年间,盐城市总生态足迹与生态赤字变化趋势相对一致,整体上呈上升趋势。具体分析,2005 年,盐城市的生态足迹为 $3.07 \times 10^7 \text{ hm}^2$,生态赤字为 $2.57 \times 10^7 \text{ hm}^2$,2018 年盐城市的生态足迹为 $5.00 \times 10^7 \text{ hm}^2$,生态赤字为 $4.35 \times 10^7 \text{ hm}^2$,2018 年盐城市的生态足迹和生态赤字分别为 2005 年的 1.63,1.69 倍。另外,相比较生态足迹与生态赤字的快速上升,2005—2018 年盐城市生态承载力处于缓慢上升趋势,从 2005 年的 $5.1 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 上升到 2018 年的 $6.4 \times 10^6 \text{ hm}^2$,原因可能是作为江苏的欠发达地区,盐城市对外来人口的吸引力不足,加上本地人口外流等原因,使得盐城市人口增加的速度小于资源与能源耗损的速度。

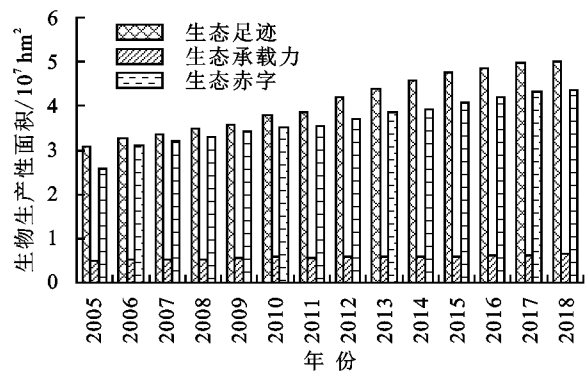


图 4 盐城市总生态足迹、生态承载力、生态赤字(盈余)动态变化

需要指出的是,虽然盐城市 14 a 来生态承载力略有上升,但仅增加了 25%,明显低于生态足迹的 63%和生态赤字的 69%。2005 年盐城市的生态足迹是生态承载力的 6.1 倍,到了 2018 年,盐城市的生态足迹增加到了生态承载力的 7.8 倍,这表明该年盐城市常住居民所消费的资源需要 7.8 个盐城市地域面积来提供,这已经远超出其生态承载力的范围。

3.4 生态系统发展评价

图 5 为盐城市 2005—2018 年生态足迹多样性指数与生态系统发展能力对比图。可以发现,盐城市生态足迹多样性指数 14 a 来基本保持稳定,这说明该段时间内不同土地类型无较大变化,区域生态足迹构成没有逐渐趋于平衡,未来需要通过土地利用结构的调整、产业结构的优化等手段不断优化区域足迹的构成。生态系统发展能力整体上呈上升趋势,从 2005 年的 4.03 增加到 2018 年的 6.86,14 a 间增加了 70%,主要原因是人均生态足迹需求的增加,尤其是耕地、草地、水域和化石能源用地的人均生态足迹的增加所导致的区域自然资源的供需失衡,使得区域对外部资源的依赖程度显著提高。需要指出的是,虽然适度增加生态足迹

的需求可以提高生态系统的利用率,但这样做的前提是存在生态盈余,如果现阶段区域处于生态赤字状态,则此种方法不适用。此时,需要通过提高生态足迹多样性指数来增加生态系统的发展能力。

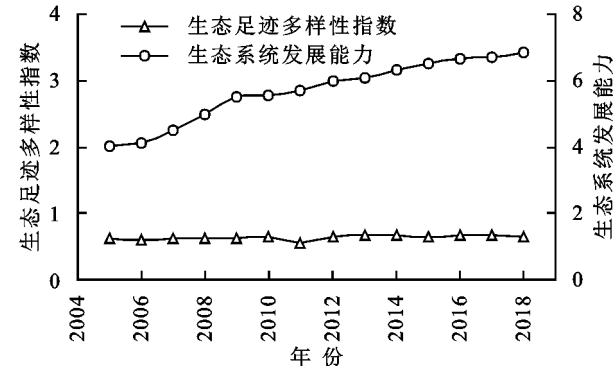


图 5 2005—2018 年盐城市生态系统发展评价指标对比

3.5 生态赤字与人均生态赤字发展趋势预测

生态赤字为生态足迹与生态承载力之间的差值。本文通过利用灰色预测 GM(1,1) 模型对盐城市 2005—2018 年的生态赤字和人均生态赤字变化进行了模拟,模拟方程如下:

$$ED(t+1)=427786788.331616e^{0.048006t}-406261140.331616 \tag{7}$$

$$ED_p(t+1)=45.147294e^{0.058500t}-42.451770 \tag{8}$$

方程(7)为生态赤字模拟方程,方程(8)是人均生态赤字模拟方程。式中:ED 为总生态赤字;ED_p 为人均生态赤字;t 为时间。灰色模型误差检验结果见表 2,可以发现,除个别年份以外,大部分年份的相对误差都在 5%以下。利用模型自带的评价指标对新构建的模型进行评价:C=0.4238 好,p=0.8889 好;人均生态赤字模型评价:C=0.3393 很好,p=0.8889 好。由此可以认为,建立的两个模型精度较高,可以用来进行预测。

表 2 盐城市生态赤字与人均生态赤字拟合与误差检验

年份	生态赤字				人均生态赤字			
	观察值	拟合值	误差	相对误差	观察值	拟合值	误差	相对误差
2005	2.15×10 ⁷	2.05×10 ⁷	1.03×10 ⁶	4.32	2.63	2.66	-0.03	0.21
2006	2.22×10 ⁷	2.10×10 ⁷	1.15×10 ⁶	5.20	2.76	2.72	0.04	1.37
2007	2.12×10 ⁷	2.21×10 ⁷	-9.20×10 ⁵	-4.35	2.79	2.88	-0.09	-3.33
2008	2.29×10 ⁷	2.32×10 ⁷	-2.21×10 ⁵	-0.96	3.05	3.06	-0.01	-0.28
2009	2.50×10 ⁷	2.43×10 ⁷	6.60×10 ⁵	2.64	3.34	3.24	0.09	2.81
2010	2.64×10 ⁷	2.55×10 ⁷	9.20×10 ⁵	3.48	3.64	3.44	0.20	5.47
2011	2.68×10 ⁷	2.67×10 ⁷	7.49×10 ⁴	0.28	3.71	3.64	0.06	1.66
2012	2.44×10 ⁷	2.81×10 ⁷	-3.69×10 ⁶	-15.14	3.38	3.86	-0.49	-14.41
2013	2.99×10 ⁷	2.94×10 ⁷	4.45×10 ⁵	1.49	4.14	4.10	0.04	1.04
2014	3.26×10 ⁷	3.09×10 ⁷	1.71×10 ⁶	5.24	4.51	4.34	0.17	3.76
2015	3.43×10 ⁷	3.12×10 ⁷	3.15×10 ⁶	3.78	4.87	4.58	0.29	2.37
2016	3.68×10 ⁷	3.39×10 ⁷	2.96×10 ⁶	1.72	5.01	4.87	0.14	0.87
2017	3.52×10 ⁷	3.22×10 ⁷	3.18×10 ⁶	2.27	5.18	4.69	0.49	10.37
2018	3.95×10 ⁷	3.57×10 ⁷	3.87×10 ⁶	4.17	5.59	5.12	0.47	8.25

为进一步验证模型的可靠性,计算得到 2019 年盐城市的实际生态赤字为 $4.05 \times 10^7 \text{ hm}^2$,人均生态赤字为 4.95 hm^2 ,实际值与预测值的相对误差较小,满足要求。

生态环境保护、技术改造、消费模式改变等因素可能会导致生态承载力的提升及生态足迹的下降,使得生态赤字未如预期那样变化,因此本文进行预测的假设前提是区域没有大的市场波动及政策性变化,在此情况

下,灰色系统模型可以较为准确的预测盐城市未来生态赤字的变化趋势。盐城市 2019—2028 年的生态赤字与人均生态赤字的预测值见表 3。由表 3 可知,如果不改变盐城市的消费模式与土地利用方式,其生态赤字与人均生态赤字将继续呈扩大态势,区域不可持续状况将越发严重。预测到 2028 年,盐城市生态赤字相较 2018 年增长 44.6%,人均生态赤字增长 49.2%,总生态赤字的增长将大大增加盐城市生物生产性土地的负荷。

表 3 盐城市生态赤字与人均生态赤字预测

年份	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
生态赤字	4.03×10^7	4.12×10^7	4.38×10^7	4.41×10^7	4.67×10^7	4.82×10^7	5.10×10^7	5.33×10^7	5.56×10^7	5.71×10^7
人均生态赤字	4.92	5.09	5.36	5.78	6.18	6.45	6.71	7.50	7.83	8.34

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1) 6 类用地类型中水域生态足迹对足迹增长贡献率最大,原因可能是国内经济的持续增长使得个人收入增加,居民对水产品的需求量大增加,盐城作为省内外水产品的重要供应地,水产品生产量增加迅速;水域的人均生态承载力整体呈下降趋势,原因可能是人类活动导致的水域面积的缩小。

(2) 盐城市生态足迹整体上呈逐年上升趋势,增长的主要原因是良好的区位条件,较好的经济发展基础,中央和地方政府的政策扶持所带来的本地区经济的快速发展以及居民消费能力的上升。盐城市的生态赤字随着时间的推移逐年扩大,这说明当年盐城市需要通过消耗大量的能源资源来弥补生态承载力的不足,社会可持续发展能力较弱。研究认为如果不改变现有的发展模式,盐城市的生态赤字与人均生态赤字将继续保持增长态势,未来盐城市的不可持续发展状况将越来越严重。

研究认为实现区域的可持续发展应该从减少生态足迹、提高生态承载力和生态足迹多样性指数三方面着手。在减少生态足迹方面,一方面可以将其纳入到各级政府的考核目标之中,作为政府相关部门和主要负责人考评时的重点项;另一方面大力支持生产性服务业,如金融业、环境管理行业、信息技术行业的发展,这些行业的发展不仅可以降低资源消耗量,还可以促进产业价值链的升级,有利于生态足迹的降低。在提高生态承载力方面,可以通过改造传统产业,推广节能环保技术,积极开发清洁能源,构建生态产业体系来实现。在提升生态足迹多样性指数方面,可以通过增加土地利用类型,提高低占比地类、降低高占比地类的生态足迹来实现,就盐城市而言,其林地、

建筑用地的生态足迹占比较小,而水域占比较大,因此提高林地及建筑用地的比重,降低水域比重是增加盐城市生态足迹多样性的重要措施。

4.2 结论

(1) 2005—2018 年间盐城林地和建筑用地人均生态足迹基本保持稳定,耕地、草地、水域和化石能源用地呈上升趋势;6 类用地类型中,水域生态足迹对足迹增长贡献率最大;(2) 不同用地类型中,耕地、草地、林地和建筑用地的人均生态承载力 14 a 间整体上呈上升趋势,但水域的人均生态承载力整体呈下降趋势;(3) 盐城市生态足迹多样性指数 14 a 来变化幅度较小,生态系统发展能力整体上呈上升趋势;(4) 盐城市生态足迹整体上呈逐年上升趋势,2005—2018 年,地区总生态足迹增长了 $1.93 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。

需要指出的是,本文在计算盐城市人均生态足迹时可能会存在一些偏差,这主要体现在以下两个方面:(1) 由于数据资料来源受限,在计算资源和能源消费时未包含两者消费额中的贸易部分;(2) 在计算生态足迹时未覆盖全部自然资本类型。尽管如此,本文仍然可以在宏观上对盐城市的可持续发展现状进行合理评判,并为盐城市可持续发展方案的制定提供理论支持。

参考文献:

[1] 王纪武,韦亚平.基于生态足迹分析的城市规模预测:杭州城市人口规模研究[J].浙江大学学报:工学版,2008,42(9):1520-1525.

[2] 周静,管卫华.基于生态足迹方法的南京可持续发展研究[J].生态学报,2012,32(20):6471-6480.

[3] Mathur P, Sharma K, Sharma S K. Calculation and analysis of the urban ecological footprint: A case study of Ajmer City, India[J]. Indian Journal of Ecology,2016,43(1):50-52.

[4] 赵兴国,潘玉君,丁生,等.中国省域土地利用可持续性评价及时空格局特征[J].农业工程学报,2014,30(3):196-204.

- [5] 林永钦,齐维孩,祝琴.基于生态足迹的中国可持续食物消费模式[J].自然资源学报,2019,34(2):338-347.
- [6] Galli A, Giampietro M, Goldfinger S, et al. Questioning the ecological footprint[J]. Ecological Indicators, 2016,69:224-232.
- [7] Gottlieb D, Kissinger M, Vigoda-gadot E, et al. Analyzing the ecological footprint at the institutional scale: The case of an Israeli high-school[J]. Ecological Indicators, 2012,18:91-97.
- [8] Sánchez-chóliz J, Duarte R, Mainar A. Environmental impact of household activity in Spain[J]. Ecological Economics, 2007,62(2):308-318.
- [9] 吉力力·阿不都外力,木巴热克·阿尤普.基于生态足迹的中亚区域生态安全评价[J].地理研究,2008,27(6):1308-1320.
- [10] 袁仲杰,高范,孙岳,等.基于生态足迹模型沿海旅游资源开发规模评估:以大连旅顺口区为例[J].海洋开发与管理,2015(2):106-110.
- [11] 杨木壮,吴涛,谢鸿宇.基于生态足迹的沿海地区生态承载力评价:以汕头市为例[J].国土与自然资源研究,2013(2):34-36.
- [12] Ozturk I, Al-mulali U, Saboori B. Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis: the role of tourism and ecological footprint[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016,23(2):1916-1928.
- [13] 朱光磊,赵春子,朱卫红,等.基于生态足迹模型的吉林省水资源可持续利用评价[J].中国农业大学学报,2020,25(9):131-143.
- [14] 曹威威,孙才志,杨璇业,等.基于能值生态足迹的长山群岛人地关系分析[J].生态学报,2020,40(1):89-99.
- [15] González-vallejo P, Marrero M, Solís-guzmán J. The ecological footprint of dwelling construction in Spain[J]. Ecological Indicators, 2015,52:75-84.
- [16] 甄翌,康文星.生态足迹模型在区域旅游可持续发展评价中的改进[J].生态学报,2008,28(11):5401-5409.
- [17] 王俭,张朝星,于英谭,等.城市水资源生态足迹核算模型及应用:以沈阳市为例[J].应用生态学报,2012,23(8):2257-2262.
- [18] 张清,郑丹,许宪硕.中国能源碳足迹生态压力变动的因素分解研究[J].干旱区资源与环境,2015,29(4):41-46.
- [19] 田龙,张青峰,张翔,等.基于改进生态足迹模型的西北地区生态可持续性评价[J].干旱区资源与环境,2015,29(8):76-81.
- [20] Tian L, Zhang Q F, Zhang X, et al. Assessment of ecological sustainability in northwest region based on improved ecological footprint model[J]. Journal of Arid Land resources and Environment, 2015,29(8):76-81.
- [21] 周涛,王云鹏,龚健周,等.生态足迹的模型修正与方法改进[J].生态学报,2015,35(14):4592-4603.
- [22] 李翔.基于河流承载力的长株潭可持续发展研究[D].长沙:中南大学,2010.
- [23] 王云霞.北京市生态承载力与可持续发展研究[D].北京:中国矿业大学,2010.
- [24] 韦晓宏.可持续经济发展视野中的生态承载力研究[D].兰州:兰州大学,2010.
- [25] 田杰,姚顺波.基于生态足迹模型的陕西省可持续发展动态研究[J].中国科技论坛,2014(1):114-120.
- [26] 包正君,赵和生.基于生态足迹模型的城市适度人口规模研究:以南京为例[J].华中科技大学学报:城市科学版,2009,26(2):84-89.
- [27] 张佳琦,段玉山,伍燕南.基于生态足迹的苏州市可持续发展动态研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(2):177-184.
- [28] 杨屹,加涛.21世纪以来陕西生态足迹和承载力变化[J].生态学报,2015,35(24):7987-7997.
- [29] 张晓娟.蓝色经济战略下的黄河三角洲湿地生态保护研究[D].山东青岛:中国海洋大学,2013.
- [30] 杨青,逯承鹏,周锋,等.基于能值—生态足迹模型的东北老工业基地生态安全评价:以辽宁省为例[J].应用生态学报,2016,27(5):1594-1602.
- [31] Ulanowicz R E. Growth and Development: Ecosystems Phenomenology[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012.
- [32] 杨华龙,刘金霞,郑斌.灰色预测 GM(1,1)模型的改进及应用[J].数学的实践与认识,2011,41(23):39-46.
- [33] 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.