

基于生态足迹模型的辽宁土地生态承载力评价

周晓彤, 赵小汎*, 张元通, 王国超 (沈阳师范大学管理学院, 辽宁沈阳 110034)

摘要 [目的]研究分析辽宁省生态环境承载力现状,以期改善其生态环境,提高可持续发展能力。[方法]通过生态足迹法,计算和分析辽宁省2017年生态足迹和生态承载力。[结果]2017年辽宁省人均生态足迹为4.583 27 hm²/人,人均生态承载力为0.595 24 hm²/人,出现生态赤字3.988 03 hm²/人,且化石燃料能源日均消耗量呈增长趋势。[结论]针对辽宁省生态问题,结合其污染环境治理现状,提出加强生态生产性土地的保护和管理,倡导绿色消费观,减少不可再生能源消耗量等对策。

关键词 生态足迹;生态承载力;辽宁省

中图分类号 S181 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)03-0054-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.03.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Evaluation of Land Ecological Capacity in Liaoning Province Based on Ecological Footprint Model

ZHOU Xiao-tong, ZHAO Xiao-fan, ZHANG Yuan-tong et al (School of Management, Shenyang Normal University, Shenyang, Liaoning 110034)

Abstract [Objective] To study and analyze the current situation of capacity of ecological environment in Liaoning Province, in order to improve the ecological environment of Liaoning Province and improve the ability of sustainable development. [Method] The ecological footprint and ecological capacity of Liaoning Province in 2017 were calculated and analyzed by using the ecological footprint method. [Result] In 2017, it indicated that Liaoning's ecological footprint, ecological carrying capacity and ecological deficit were 4.583 27, 0.595 24 and 3.988 03 hm²/cap, and the daily consumption of fossil fuel energy showed an increasing trend. [Conclusion] According to the ecological problems, the pollution and environmental control situation of Liaoning Province, we proposed to strengthen the protection and management of ecological productive land, advocate green consumption concept, reduce non-renewable energy consumption.

Key words Ecological footprint; Ecological capacity; Liaoning Province

生态环境的可持续发展与社会发展息息相关。近年来,国家相继出台了一系列相关法规政策,旨在强化资源环境承载力评价在国土空间开发过程中的基础性地位^[1]。生态承载力是资源环境承载力评价和国土空间开发适宜性评价的基础,也是国土空间规划编制的重要组成部分,衡量一个区域发展水平高低,不仅要看生产模式是否环保健康,也要看生态承载力是否盈余。

辽宁省是老工业生产基地,传统生产模式造成了“三废一噪”污染问题并破坏其生态格局。正确估算生态承载力,不仅可以帮助测量城市生态程度,还可以调节不合理的生产结构。生态足迹模型由 Wackernagel 等^[2]提出,指维持一个地区发展所需要的能够容纳人类排放废物所需的生态面积。国内外学者主要运用生态足迹分析法对不同空间、时间尺度的生态安全进行评价。张令等^[3]在计算和分析辽宁省2002年生态足迹和生态承载力生态足迹的基础上,对土地生态安全评价研究;赵先贵等^[4]、田玲玲等^[5]、李辉等^[6]运用生态足迹分析法评价陕西省、湖北省、安徽省的生态安全;张威等^[7]运用生态足迹的方法,对辽宁省2005—2007年的生态足迹进行计算,纵向分析生态足迹的变化规律;曹淑艳等^[8]、靳相木等^[9]、周涛等^[10]提出生态足迹模型的准确性和完整性有

待进一步完善。该研究以辽宁省为例,构建生态足迹模型,选取相关指标分析该省生态环境承载力现状,结合污染环境治理情况进行分析,旨在改善辽宁省生态环境,提高可持续发展能力。

1 数据与方法

1.1 概况与数据来源

1.1.1 辽宁省概况。辽宁省位于我国东北地区的南部,地理坐标为118°53'~125°46' E、38°43'~43°26' N。辽宁省北与吉林省相接,南邻渤海和黄海,西北与内蒙古自治区为邻,西南与河北省相连。全省土地总面积14.59万 km²,平原面积较大,占总面积的61%,丘陵和山地分别占16%和23%。2017年辽宁省地区生产总值64.1亿元,年末户籍总人口4 196.5万人。

1.1.2 数据来源。该研究数据来源于两个方面:第一,粮食、水果等产量数据以及煤炭原油能源数据来源于《辽宁省统计年鉴》^[11];第二,目前采用的均衡因子依据 Mathis Wackernagel 对我国产量因子取值的算法^[12]。

1.2 2017年辽宁省生态平衡可持续性评估

1.2.1 土地生态承载力计算模型。

1.2.1.1 生态足迹计算模型。生态足迹是指在特定的时间条件下供给区域内人口所消费的自然资源与燃料能源需求的生产性土地的面积,生态足迹越大则表示产生的生态负荷越多。生态足迹的计算公式为:

$$EF = ef \cdot n = n \cdot \sum_{j=1}^6 (r_j ef_j)$$

1.2.1.2 土地承载力计算模型。一个地区的生态承载力是指该地区所能提供的生物生产性面积总和,其计算公式如下:

基金项目 辽宁省教育厅高等学校基本科研课题(WNQ201701);辽宁省科协科技创新智库项目(LNKX2017C11);辽宁省社会科学规划基金项目(L17BGL012);沈阳市科协科技创新智库决策咨询课题(SYKX201819);沈阳师范大学研究阐述党的十九大精神专项课题(201805)。

作者简介 周晓彤(1995—),女,辽宁抚顺人,硕士研究生,研究方向:土地生态。*通信作者,副教授,博士,从事土地生态管理与保护研究。

收稿日期 2019-07-27; **修回日期** 2019-08-07

$$EC = N \cdot ec = N \cdot r_j \times y_i \times \sum a_i$$

1.2.1.3 生态盈余和赤字。当 $EC > EF$ 为生态盈余;当 $EC < EF$ 为生态赤字;当 $EC = EF$ 为生态均衡。

1.2.2 生态平衡可持续性评估。生物资源消费分为粮食产

品、动物产品、林业产品等,将辽宁省的消费总量转化为提供这些消费需要的生物生产面积,2017 年辽宁省生物资源消费足迹账户见表 1。

表 1 2017 年辽宁省生态足迹生物资源账户

Table 1 Ecological footprint biological resource account of Liaoning Province in 2017

类型 Type	全球平均产量 Global average production kg/hm ²	总消耗量 Total consumption t	人均消费量 Per capita consumption kg/(人·a)	人均生态足迹 Per capita ecological footprint hm ² /人	土地生产类型 Land production type
稻谷 Rice	2 744	4 220 000.0	100.56	0.036 65	耕地
小麦 Wheat	2 744	13 000.0	0.31	0.000 11	耕地
玉米 Corn	2 415	17 894 000.0	426.40	0.176 56	耕地
豆类 Bean	1 856	210 000.0	5.00	0.002 70	耕地
油料 Oil	1 856	815 000.0	19.42	0.010 46	耕地
花生 Peanut	1 856	800 000.0	19.06	0.010 27	耕地
油菜籽 Rapeseed	1 856	1 302.0	0.03	0.000 02	耕地
芝麻 Sesame	1 500	588.5	0.01	0.000 01	耕地
棉花 Cotton	1 000	76.4	0.00	0.000 00	耕地
麻类 Bast fibre plants	1 500	423.0	0.01	0.000 01	耕地
甜菜 Beet	1 800	106 986.0	2.55	0.001 42	耕地
烟叶 Tobacco	1 548	26 255.0	0.63	0.000 40	耕地
小计 Subtotal				0.238 61	
猪肉 Pork	74	2 209 000.0	52.64	0.711 34	草地
牛肉 Beef	33	251 000.0	5.98	0.181 25	草地
羊肉 Mutton	33	70 000.0	1.67	0.050 55	草地
奶类 Milk	502	1 207 000.0	28.76	0.057 29	草地
山羊毛 Goat wool	15	2 374.8	0.06	0.003 77	草地
绵羊毛 Sheep wool	15	9 036.5	0.22	0.014 36	草地
羊绒 Cashmere	15	1 049.5	0.03	0.001 67	草地
禽蛋 Poultry egg	400	270.4	0.01	0.000 02	草地
小计 Subtotal				1.020 24	
水产品 Aquatic products	29	4 794 000.0	114.24	0.393 92	水域
园林水果 Garden fruit	3 500	5 885 000.0	140.24	0.004 01	林地

注:2017 年辽宁省常住人口 4 196.5 万人

Note: In 2017, the resident population of Liaoning Province was 41.965 million

在能源消费账户的计算中,各种能源项目的全球平均能量产出率和折算系数参考文献[13]中的数据。计算能源足迹时,参考世界化石燃料生产平均能源足迹,将实际消耗的

能源热量折算成相应的化石燃料面积,2017 年辽宁省能源消费足迹账户见表 2。

表 2 2017 年辽宁省能源消费足迹账户

Table 2 Energy consumption footprint account of Liaoning Province in 2017

能源消费类型 Energy consumption type	平均能源足迹 Average energy footprint GJ/hm ²	折算系数 Convert coefficient GJ/t	消费量 Consumption t	人均消费量 Per capita consumption GJ/人	人均生态足迹 Per capita ecological footprint/hm ² /人	生物生产性面积类型 Bio-productive area type
煤炭 Coal	55	20.934	175 857 000	41.905 6	1.595 00	化石燃料用地
焦炭 Coke	55	28.470	30 879 000	7.358 2	0.380 89	化石燃料用地
原油 Crude oil	93	41.868	71 321 000	16.995 3	0.765 12	化石燃料用地
燃料油 Fuel oil	71	50.200	3 066 000	0.730 6	0.051 66	化石燃料用地
汽油 Gasoline	93	43.124	7 920 500	1.887 4	0.087 52	化石燃料用地
煤油 Kerosene	93	43.124	438 000	0.104 3	0.004 84	化石燃料用地
柴油 Diesel	93	42.705	10 329 500	2.461 5	0.113 03	化石燃料用地
天然气 Natural gas	93	38.978	62.05 ^①	1.478 6	0.006 20	化石燃料用地
小计 Subtotal					3.004 26	
电力 Electric power	1 000	11.840	2 171.75 ^②	5.175 0	0.006 13	建设用地

注:①单位为亿 m³;②单位为亿 kW·h,分别根据能源换算系数换算为能量

Note:① the unit was 100 million m³;② the unit was 100 million kW·h, which were converted into energy according to energy conversion factor

2 结果与分析

2.1 人均生态足迹指标分析 表 3 综合了辽宁省 2017 年生

态足迹与生态承载力的计算结果。目前采用的均衡因子是全球一致的:林地和化石燃料用地为 1.1;耕地和建筑用地为

2.8; 草地为0.5; 海域为0.2。同时出于谨慎性考虑, 计算辽宁省生态承载力时扣除12%的生物多样性的保护面积。2017年辽宁省人均生态足迹为4.583 27 hm²/人, 人均生态承载力为0.595 24 hm²/人, 出现生态赤字3.988 03 hm²/人, 人口对环境的压力远大于其生态承载力, 生态足迹是生态承载力7.7倍, 土地生态承载力被严重透支。

通过分析以上6种生物生产面积得出, 生态足迹中化石

能源消费部分在辽宁省总生态足迹里所占比重最大, 约占72%。高耗传统重工业是辽宁生产主体, 煤炭和石油等不可再生能源占比较大, 增加化石燃料用地的需求。耕地的人均生态足迹需求为0.668 11 hm²/人, 而耕地人均生态承载力为0.259 45 hm²/人, 耕地生态承载力范围并不能满足人们对耕地的足迹需求。

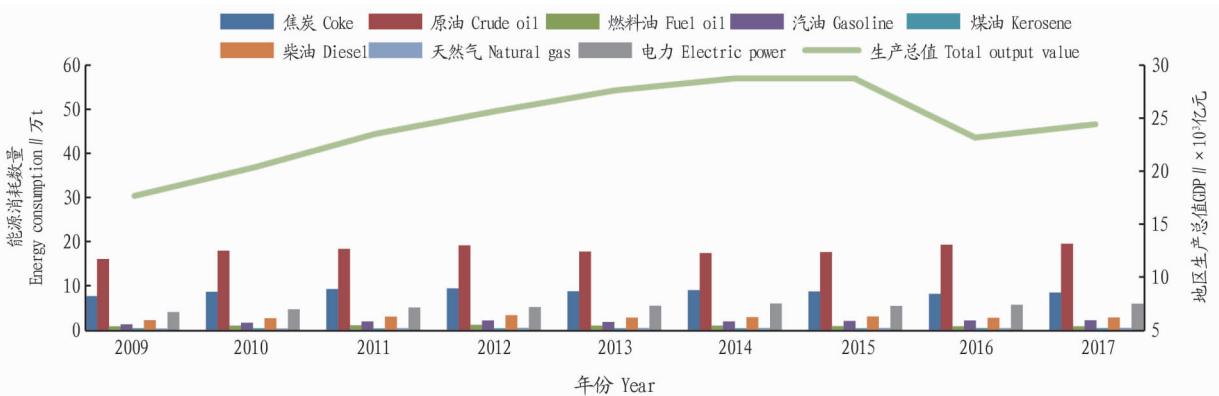
表3 2017年辽宁省生态足迹与生态承载力计算结果

Table 3 Calculation results of ecological footprint and ecological carrying capacity of Liaoning Province in 2017

类型 Type	生态足迹(需求) Ecological footprint(demand)			类型 Type	生态承载力(供给) Ecological carrying capacity(supply)		
	总面积 Total area hm ² /人	均衡因子 Equilibrium factor	均衡面积 Equilibrium area/hm ² /人		总面积 Total area hm ² /人	均衡因子 Equilibrium factor	均衡面积 Equilibrium area/hm ² /人
耕地 Cultivated land	0.238 61	2.8	0.668 11	耕地 Cultivated land	0.118 47	2.19	0.259 45
草地 Grassland	1.020 24	0.5	0.510 12	草地 Grassland	0.000 08	0.19	0.000 1
林地 Forest land	0.004 01	1.1	0.004 41	林地 Forest land	0.133 79	0.91	0.121 75
建筑用地 Building land	0.006 13	2.8	0.017 16	建筑用地 Building land	0.039 18	2.19	0.085 80
化石燃料用地 Fossil fuel land	3.004 26	1.1	3.304 69	化石燃料用地 Fossil fuel land	0	0.00	0
海域 Sea area	0.393 92	0.2	0.078 78	海域 Sea area	0.209 39	1.00	0.209 39
总生态足迹 Total ecological footprint			4.583 27	总供给面积 Total supply area			0.676 41
				生物多样性保护(12%) Biodiversity protection(12%)			0.120 00
				总生态承载力 Total ecological carrying capacity			0.595 24

2.2 化石燃料用地评价分析 结合化石燃料平均每天能源消耗量以及废气中主要污染物排放, 对2009—2017年的能源足迹需求进行分析。从图1可以看出, 辽宁能源消费结构有所改善, 但以煤炭为主的能源消费结构尚未根本改变, 煤

炭和原油的消耗呈增长趋势, 而且原油所占比重最高, 燃料油、煤油所占比重较小, 天然气比例微乎其微, 新兴能源消费严重不足。由此可见, 辽宁应增加新能源、清洁能源消费与供给比重。



注: 图上所标为天然气能源消耗量

Note: Natural gas energy consumption was on the chart

图1 辽宁省化石燃料平均每天能源消耗量(2009—2017)

Fig. 1 Average daily energy consumption of fossil fuels in Liaoning Province(2009-2017)

“十三五”以来, 辽宁省积极优化能源结构, 控制煤炭消费总量, 推动太阳能多元化利用, 提高天然气、煤层气等清洁能源在消费中的比例, 节能减排效果明显。辽宁省还发展循环经济、推广低碳节能产业、实施节能减排工程、进一步优化产业和能源结构。同时, 经济增长是能源可持续发展的前提条件, 随着辽宁省生产总值逐年增长, 天然气消耗量逐年增加。经济增长也在推动能源发展, 经济增长不仅促进能源的开发和利用, 而且需要能源提供生产动力。

由表4可知, 2017年辽宁环境污染治理取得一定实效, 工业废水、二氧化硫和烟尘排放量等指标明显好转。但目前有些指标仍在持续增长, 废水排放量、废气排放量分别比2009年增加9.59%、100.32%, 而废水治理设施较2009年减少87套, 废水治理设施较少, 导致废水排放量增加, 废气治理设施虽增加2972套, 但仍处于较低水准, 废气治理水平有待提高。

表 4 辽宁省污染环境治理情况的变化与比较

Table 4 Change and comparison of pollution control in Liaoning Province

年份 Year	废水排放量 Wastewater discharge 万 t	工业废水 排放量占比 Proportion of industrial wastewater discharge//%	废气排放量 Tailpipe emission 亿 m ³	二氧化硫 排放量占比 Proportion of sulfur dioxide emission//%	烟尘排放量 Soot emission 万 t	工业烟尘 排放量占比 Proportion of industrial soot emission//%	固体废弃物 产量 Solid waste production 万 t	工业固体废弃物 利用率占比 Proportion of industrial solid waste utilization ratio//%	废水治理 设施 Wastewater treatment facilities 套	废气治理 设施 Waste gas treatment facilities 套
2009	217 154. 68	75 158. 6	25 211. 2	105. 1	61. 3	40. 2	17 221. 4	47. 2	1 798	10 067
2017	237 970. 98	51 284. 1	50 501. 9	39. 0	55. 7	42. 1	27 465. 6	39. 1	1 711	13 039
变化 Change //%	9. 59	-31. 77	100. 32	-62. 89	-9. 14	4. 73	59. 49	-17. 16	-4. 84	29. 52

3 小结与建议

通过计算 2017 年辽宁省生态足迹和生态承载力得知,辽宁省目前的生态消费情况远远超过生态承载力,出现生态赤字问题,处于不可持续状况。“绿水青山才是金山银山”,经济发展不应以生态破坏为代价。基于此,笔者提出以下建议。

第一,加强生态生产性土地的保护和管理。研究区草地人均足迹需求为 0. 510 12 hm²/人,草地人均承载力为 0. 000 10 hm²/人,草地数量严重退化,这与气候变暖、全球干旱等自然因素密不可分。可通过科技手段对草地生态进行恢复和重建,按地域分异规律,通过封山育林、分区轮牧、种植优良牧草等技术措施,保护生态性草地,发展人工草地和高科技农业,充分发挥草地资源的生态功能。同时要加大林业生态屏障,禁止乱砍滥伐、毁林开荒等行为,改变“沙进人退”的被动局面。

第二,倡导绿色消费观,提高居民环保意识。可利用媒体等多种方式改变传统生活消费观念,宣传可持续消费观念的重要性。同时,扶持新兴产业发展,提高资源的综合利用率,改造设备技术,有效降低资源浪费率和污染物排放量,以减少对环境的污染。

第三,减少不可再生能源消耗量,增加新兴能源比重。促进传统企业转型升级,提高环保能效、产品技术等水平,严格把控煤炭质量,禁止使用散煤,对不达标企业,依法有序退出。同时,在严格把控环境标准的同时,结合重点领域开

展清洁生产,包括工业、建筑、交通、农业、商贸等产业。如在交通上,提高新能源汽车的比例,鼓励客运、公交、旅游公司购买配置天然气等清洁能源车辆。从源头减轻生态环境污染,为生态文明建设提供有效后盾。

参考文献

- [1] 岳文泽,代子伟,高佳斌,等. 面向省级国土空间规划的资源环境承载力评价思考[J]. 中国土地科学,2018,32(12):66-73.
- [2] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P. Ecological footprints of nations [R]. Toronto: International Council for Local Environment Initiatives, 1997.
- [3] 张令,项学敏,周集体. 辽宁省可持续发展定量研究——生态足迹方法应用[J]. 大连理工大学学报(社会科学版),2004,25(2):10-15.
- [4] 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.
- [5] 田玲玲,罗静,董莹,等. 湖北省生态足迹和生态承载力时空动态研究[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(2):316-325.
- [6] 李辉,李淑杰,姬冬梅,等. 吉林省生态足迹的计算与动态分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(23):12706-12707.
- [7] 张威,张恒庆. 生态足迹方法:辽宁省 2005-2007 年生态足迹计算与分析[J]. 环境科学与管理,2010,35(6):150-153,156.
- [8] 曹淑艳,谢高地. 表达生态承载力的生态足迹模型演变[J]. 应用生态学报,2007,18(6):1365-1372.
- [9] 靳相木,柳乾坤. 自然资源核算的生态足迹模型演进及其评论[J]. 自然资源学报,2017,32(1):163-176.
- [10] 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.
- [11] 辽宁省统计局,国家统计局辽宁调查总队. 辽宁统计年鉴 2018[M]. 北京:中国统计出版社,2018.
- [12] WACKERNAGEL M, YOUNT J D. The ecological footprint: An indicator of progress towards regional sustainability [J]. Environmental monitoring and assessment, 1998, 51: 511-529.
- [13] HAMILTON C. The genuine progress indicator methodological developments and results from Australia [J]. Ecological economics, 1999, 30(1): 13-28.
- [4] 石明亮,薛林,胡加如,等. 玉米和特用玉米的营养保健作用及加工利用途径[J]. 中国食物与营养,2011,17(2):66-71.
- [5] 高云,郭新宇,矫健. 国内外玉米价格变动关系研究[J]. 价格月刊,2019(4):29-36.
- [6] 佟屏亚. 中国玉米种质资源的整理与成就[J]. 中国种业,2001(3):7-8.
- [7] 彭泽斌,张世煌,刘新芝. 我国玉米种质的改良创新与利用[J]. 玉米科学,1997,5(2):5-8.
- [8] 蒙成,周倍庆. 东南亚热带玉米种质的鉴定与评价[J]. 现代农业科技,2018(3):50-52.
- [9] 赵吉春,毕长海,张太俊,等. 基于我国玉米的瓶颈效应论拓宽种质资源的重要性[J]. 现代农业科技,2011(21):104,107.
- [10] 赵福成,谭不平,卢德生,等. 美国特用玉米种质的引进与鉴定[J]. 浙江农业科学,2011(3):565-568.
- [11] 戴明宏,赵久然,杨国航,等. 不同生态区玉米产量及农艺性状比较[J]. 中国农学通报,2010,26(11):127-131.
- [12] 郑飞,孔令杰,刘瑞响,等. 江苏省玉米新品种丰产性和稳产性及应用前景分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(2):42-45.
- [13] 霍仕平,许明陆,晏庆九. 纬度和海拔对西南地区中熟玉米品种灌浆期和粒重及株高的效应[J]. 中国农业气象,1997,18(4):26-27.

(上接第 38 页)

产量较低的主要原因可能是全生育期较短,仅为 118 d,比对照早熟 7 d,苏玉 27 产量较低的主要原因可能是出籽率最低,仅为 85. 36%。但该试验结果仅局限于 1 年鉴定,各品种性状年度间差异稳定性还缺乏进一步调查。因此,应根据各参试品种产量、抗逆性、生育期等表现,进一步鉴定各品种在不同年度间种植表现,以期在生产上指导农民选择适宜春玉米品种。

参考文献

- [1] 杨慧莲,韩旭东,郑风田. 全球主产国(地区)玉米生产、贸易、消费及库存状况对比:基于 1996/1997-2016/2017 产季数据测算[J]. 世界农业,2017(6):28-35,236.
- [2] SU Y J, WU F F, AO Z R, et al. Evaluating maize phenotype dynamics under drought stress using terrestrial lidar[J]. Plant methods, 2019, 15: 1-16.
- [3] 许世卫,王禹,潘月红,等. 全球主要粮食生产与贸易格局演变分析及展望[J]. 农业展望,2018,14(3):73-87.