基于生态足迹模型的资源型城市生态承载力评价
——以黑龙江省大庆市为例

赵 正[1,2], 宁 静[2], 周非飞[1], 杜 可[3], 荣国华[4]

(1. 福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007; 2. 东北农业大学 资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150036; 3. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 4. 西北农林科技大学 资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: [目的] 综合分析黑龙江省大庆市生态承载力时空变化及影响因素,为大庆市与同类资源型城市生态优化提供科学依据。[方法] 使用生态足迹模型,分析近 30 a 来大庆市及各行政区生态承载力时空变化。使用 PLS 模型定量筛选大庆市生态承载力影响因子。[结果] 1986—2016 年大庆市表征状态均为生态赤字,除市区外,各地区生态赤字均有不同程度升高;剔除能源消耗外部性造成的影响,大庆市生态安全等级较低的区域呈现扩大趋势;各地区生态协调系数均出现不同程度下降,除林甸县与杜尔伯特地区外,其他地区生态协调能力较差;研究期内,农业固定资产投入额度、GDP 年增长率、第三产业比重、社会消费品零售总额、农业总产值 5 种因子对大庆市生态承载力影响极显著。[结论] 当前大庆市生态承载力呈现出压力较大,空间分布不均,影响因素多样的特点,在制定提高生态承载力相关措施时,要注重因地制宜,切合实际。

关键词: 大庆市; 生态承载力; 生态足迹; 能源型成市

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2019)02-0281-07 **中图分类号**: X826

文献参数: 赵正, 宁静,周非飞, 等. 基于生态足迹模型的资源型城市生态承载力评价[J]. 水土保持通报, 2019,39(2):281-287. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.02.044; Zhao Zheng, Ning Jing, Zhou Feifei, et al. Evaluation of ecological carrying capacity of resource cities based on ecological footprint model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(2):281-287.

Evaluation of Ecological Carrying Capacity of Resource Cities Based on Ecological Footprint Model
—A Case Study at Daqing City, Heilongjiang Province

Zhao Zheng[1,2], Ning Jing[2], Zhou Feifei[1], Du Ke[3], Rong Guohua[4]

(1. *College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian* 350007, *China*; 2. *College of Natural Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang* 150036, *China*; 3. *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*; 4. *College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial changes of ecological carrying capacity and its influence factors in Daqing City of Heilongjiang Province were analyzed comprehensively in order to provide a scientific basis for the ecological environment management of Daqing City and similar resource cities. [Methods] The ecological footprint model was used to analyze the temporal and spatial changes of ecological carrying capacity in Daqing City and other administrative regions in nearly 30 a. The PLS model was applied to screen the influencing factors of ecological carrying capacity in Daqing City quantitatively. [Results] In the past 1986—2016 years, the ecological status of the study area showed an ecological deficit. Except for the urban area, the level of ecological deficit in all regions presented an upward trend. Although the influences of externality of energy consumption were eliminated, the area of low ecological security grade in Daqing City still showed expanding

收稿日期:2018-08-17 **修回日期**:2018-09-18

资助项目:黑龙江省重点实验室开放基金项目"不同耕作模式下黑土区水土流失空间胁迫程度分析"(ht2012-10); 黑龙江省教育厅项目(12531035)

第一作者:赵正(1993—),男(汉族),山东省济宁市人,硕士研究生,研究方向为区域生态地理。E-mail:460610026@qq.com。

通信作者:宁静(1978—),女,黑龙江省哈尔滨人,博士,副教授,主要从事土地生态环境方面的研究工作。E-mail:ningjing_today@163.com。

trend; the ecological coordination coefficient of each region has declined to varying degrees. Except for Lindian County and Dulbert, other regions were in a state of poor coordination. During the study period, five factors, including the amount of investment in agricultural fixed assets, the growth rate of GDP, the proportion of the total industry, the total retail sales of social consumer goods and the total output value of agriculture, had significant impacts on the ecological carrying capacity of Daqing City. [Conclusion] At present, the ecological carrying capacity of Daqing City is characterized by high pressure, uneven spatial distribution and diverse factors. When making measures to increase ecological carrying capacity, we must pay attention to local conditions and conform to reality.

Keywords: Daqing City; ecological carrying capacity; ecological footprint; resource cities

在大力倡导可持续发展战略的今天,是否拥有健康的生态生产模式和富余的生态承载能力,是衡量区域社会经济发展潜力的重要因素[1]。传统资源型城市的发展通常伴随着能源开采所导致的“三废”污染以及生态景观破坏等问题,而这些问题不可避免会对区域生态承载能力产生负面影响,进而限制了区域发展潜力[2-3],由此,科学的评估生态承载力,是该类城市生态测度的基础,也是区域产业结构调整的重要依据。生态足迹模型经 Mathis Wackernagel 建立后[4],因其科学的测算方法与区域普适性,迅速被研究者及相关机构采纳并应用于国家尺度[5-8]、城市及地区尺度[9-11]的生态承载力测算中。生态足迹模型的计算是基于区域的生态及能源物质消耗进行的,侧重于生态系统供给服务功能[12],这与当前资源型城市生态系统所面临的主要压力方向是相吻合的,适用于该类型区域生态承载力的评价。大庆市作为国家能源储备基地,其生态承载力的变化一定程度上限制了大庆市资源产出,进而对国家能源安全产生重要的影响[13]。随着生产力的发展,土地滥用、资源过度开采所造成的生态破坏的问题接踵而来,使得该市生态承载能力呈现劣化趋势[14]。本文结合资源型城市特点,构建生态足迹模型,测算黑龙江省大庆市总体及 5 个行政区域生态足迹、生态盈亏、生态压力指数、生态协调系数,揭示大庆市及各区域 1986—2016 年生态承载力状况及变化趋势,并通过偏最小二乘法探究了大庆市生态承载力影响因素,旨在为该市及同类城市生态改良及可持续发展提参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

大庆市位于黑龙江省西部、松辽盆地北部,该市行政区域总面积 2.11×10^4 km^2,经纬跨度为东经 123°45′—125°47′,北纬 45°23′—47°29′,辖林甸县、肇州县、肇源县和杜尔伯特县,处于大陆性温带季风气候区。该市地形总体为南北走向,南部较北部地势宽阔。高程特点为由东北地区至西南地区逐渐递减,高程范围 125～163 m。大庆地区自然资源丰富,以丰沛的石油和天然气资源闻名全国,据地质勘探预测,至少蕴藏着 8.00×10^9～1.00×10^{10} t 可开采石油储量。大庆地区石油黏度高,凝点高,含硫量少,是优质的石化原料,同时石油伴生天然气每立方米含有 75～130 g 凝析油,工业利用价值很高。大庆油田至 20 世纪 60 年代初正式投产至今,仍可以保证 4.00×10^7 t 左右的石油年产,属于典型的高产稳产油田。

1.2 数据来源

研究需获取大庆市研究期内不同生产性土地类型的利用面积,具体方法为:在地理空间数据云网站(www.gscloud.cn)下载大庆市 1986,1996,2007 年三期 TM 卫星遥感影像(分辨率:30 m)以及 2016 年 Lansat 8OLI_TRIS 影像数据(分辨率:15 m),经过几何校正、图像拼接、影像裁剪等处理后,进行地类解译与数据提取。其中 2016 年土地利用数据是通过已有年份(2014,2015 年)的解译矢量数据结合 2016 年遥感影像进行 LUCC 动态解析获得,1986,1996,2007 年三期土地利用数据为人工目视解译获得,并通过与相邻年土地利用状况进行比对,确保解译结果可靠性。解译精度为:①变化面状地类目标地物的最小单元应大于 4×4 个象元(120 m×120 m),线状地物图斑短边宽度最小为 2 个象元,长边最小为 6 个象元;屏幕解译线划描迹精度为 2 像元,并且保持圆润。②图斑要素判读精度为一级分类>90%,二级分类>85%。

其他所需计算数据均来自于《大庆市统计年鉴(1986,1996,2007,2016 年)》与《黑龙江省统计年鉴(1986,1996,2007,2016 年)》及黑龙江省国土资源厅公开资料。为保证后期计算口径的一致,数据中部分计量单位按照通行惯例进行折算并于文中注明。

2 研究方法

2.1 生态足迹模型

2.1.1 *计算方法* 生态足迹评价模型的核心是为假

定区域的生态物质消耗可以折合为生物生产性土地面积,进而为各类自然资源转换方式提供了一个统一的度量标准。其步骤为,从区域资源需求层面得出该区域生态足迹,从资源供给角度得出生态承载力,二者相比较后,根据产生的生态赤字或盈余来判断生态承载状况[15]。计算中均衡因子、产量因子与评价体系需要根据研究区做出调整。

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:

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

式中:EF——区域生态足迹;n——区域人口数;ef——区域人均生态足迹;j 取值为 1～6 的整数,分别代表 6 类生产性土地类型(耕地、林地、草地、水域、化石能源用地、建设用地);ef_j——不同类型土地的人均生态足迹;r_j——不同类型土地的均衡因子。

生态承载力是指内部的资源所能供养的最大负荷量。计算公式为:

$$BC=n\cdot bc=\sum_{j=1}^{5}(a_j r_j y_i)\cdot n$$

式中:BC——生态承载力;bc——人均生态承载力;j 取值为 1～5 的整数,代表除化石能源用地以外的 5 种生物生产性土地类型,原因为化石能源用地生态足迹是通过其他生态生产性土地吸收二氧化碳的面积进行折算,产量因子为 0,故在计算中不再考虑;a_j——各类土地利用类型面积;y_j——不同类型土地产量因子。

2.1.2　模型中的适应性调整

(1) 均衡因子的作用是对于不同类型土地的生产力进行无量纲标准化处理。计算通常基于联合国粮农组织全球农业生态区(GAZE)提供的不同土地类型的适宜性指数进行。目前使用较为广泛的有 Wackemagel 以及世界自然基金会(WWF)结合联合国粮农组织(FAO)公布数据所提出的全球均衡因子。在我国目前影响较广的有刘建兴[16]根据第三次全国农业普查数据计算的中国各土地类型的均衡因子,以及刘某承[17]基于植被净初级生产力得出的全国均衡因子 (表 1)。过去多年中全球均衡因子仅发生了细微的变化,刘建兴根据生产性土地产量表征生态生产力所得出的测算结果中,草地、耕地、建设用地均衡因子与其他明显偏差过大,而 NPP 测算法能够准确体现出植物群落在不同生产性土地中的真实生产力,因此在本研究中,考虑到我国土地生产状况与全球的差异性,采用刘某承提出的均衡因子进行测算。

表 1　各土地类型均衡因子

地 类	全球均衡因子				中国均衡因子	
	Wackemagel(1991 年)	Wackemagel(1999 年)	WWF(2001 年)	WWF(2003 年)	刘建兴(2004 年)	刘某承(2010 年)
建设用地	2.23	2.23	2.19	2.21	5.25	1.74
耕地	2.23	2.23	2.19	2.21	5.25	1.74
草地	0.47	0.47	0.48	0.49	0.09	0.44
林地	1.32	1.35	1.38	1.34	1.41	1.41
水域	0.36	0.35	0.36	0.36	0.35	0.35
能源用地	1.10	1.10	1.10	1.10	1.41	1.41

(2) 产量因子为某地区特定生态生产性土地的生产力与世界同种类型土地生产力的比值,受地区水热条件、土壤条件、生产技术等因素的影响很大。目前较为通行的产量因子为 Wackemagel 以及 WWF 所提出的全球产量因子,国内很多专家[17-18]也提出了中国产量因子 (表 2)。大庆市作为全国产粮大市,农业耕种技术积累深厚,土地生产力也通常优于全球平均水平,所以生产性土地的产量因子也略高于全球,为了保持研究区生产能力与供给能力测算的衔接,采用刘某承根据全国不同生态系统 NPP 测算出的中国产量因子进行计算。

表 2　各土地类型产量因子

生产性地类	全球产量因子		中国产量因子	
	Wackemagel (1996 年)	WWF	张桂宾 (2007 年)	刘某承 (2010 年)
建设用地	1.66	1.59	2.02	1.74
耕地	1.66	1.59	2.02	1.74
草地	0.19	0.20	0.19	0.51
林地	0.91	0.92	0.91	0.86
水域	1.00	0.97	1.00	0.74
能源用地	0.00	0.00	0.00	0.00

(3) 传统的生态足迹的指标是根据区域生物消费量给出的,然而当前许多研究核算中生产量与消费量混合使用,造成计算结果的混乱。大庆市人口密度低,居民生活消费生态足迹不高,然而作为全国知名的产粮大市与化石能源输出地,如果按照传统消费量进行评价,无疑会低估当地人类活动对生态系统造成的影响。从这个角度来看,研究使用大庆市生物生产量进行核算生态足迹,能够反映出贸易交流所流失的生态压力,更真实的体现当地承载状况与可持续性。在此理念的基础上,评价体系选取与 6 类生态生产性土地紧密相关的 22 个生物生产量指标,分属生物资源账户与能源账户,其中,生物资源账户包括除建设用地及化石燃料用地之外的所有生产性土地类型,关联 15 个生物生产量指标:猪肉、禽类、羊肉、牛奶、牛肉、蛋类、水产品、水稻、小麦、玉米、大豆、油料作物、瓜果、蔬菜、木材,指标统计单位为 t,其中木材原统计单位为 m^3,按照通行的每 1 m^3 等于 0.7 t 进行折算。能源账户设立 7 个指标:煤炭、原油、汽油、柴油、燃料油、液化石油气、电力,除电力归位建设用地外,其余指标归为化石能源用地,指标统计单位为 t。电力原统计单位为 kW·h,按照每 10^4 kW·h 为 1.299 t 标准煤进行折算。

2.2 生态赤字与生态压力指数

生态盈亏 ed 反映了资源消耗状况与生态系统承载能力的差额,为人均生态承载力(bc)与人均生态足迹(ef)之差,即:

$$ed=bc-ef$$

若 ed 为正数,表示区域处于生态盈余状态,生态资源供给可以满足消耗;若 ed 为负数,则表示产生了生态赤字,区域生态系统已经超载。

资源型城市的化石能源产出具有很强的外部性,在计算中能源账户生态足迹所产生的影响相较一般地区会更加明显。生态压力指数(ecological tension index, ETI)的引入则可以更好地反映出可再生能源的承载状况,与生态盈亏相互补充与印证,其计算公式为:

$$ETI=EF'/BC$$

式中:ETI——生态压力指数; EF′——可再生资源生态足迹; BC——生态承载力。

对生态压力计算结果进行分级有利于直观的表达区域中各类土地资源的安全状况,本研究以赵先贵等人根据 WWF2004 年世界各地区生态环境发展水平设立的生态压力评价系统为基础,结合大庆市生态状况经济结构实际情况,对生态压力指数等级进行了划分(表 3)。

表 3 大庆市生态压力指数等级划分标准

安全等级	生态压力指数	表征状态
1	0～0.5	很安全
2	0.5～1	安全
3	1～1.5	较安全
4	1.5～2	较不安全
5	>2	不安全

2.3 生态协调系数

生态协调系数作为衡量地区生态资源承载协调性的重要指标,已在多种土地生态利用研究中得到应用。该系数可以有效反映区域生态供给与需求间的协调程度,其计算公式为:

$$D=(ef+bc)/\sqrt{(ef^2+bc^2)}$$

式中:D——生态协调系数,D 值的变化区间为 1～1.414,越趋近于 1,表示生态协调性愈差,反之则越好。目前研究上通常以 1.2 作为土生态协调能力较好与较差的界定。

2.4 偏最小二乘

偏最小二乘(partial least squares, PLS)是 OLS 的延伸算法。生态足迹是整个地区生态系统状况的综合反映,各影响因子之间极易存在多重相关性。在 OLS 计算中,当自变量之间存在严重多重相关性时,会导致模型误差扩大,最终丧失模型的稳定性。PLS 算法相较于 OLS,突出优点为:能够在自变量存在多重相关性的条件下进行回归建模,对变量完整性保存与抗噪性能方面有更好的表现。具体计算步骤见文献[19]。

将研究期生态足迹作为 Y 序列,根据生态足迹的生产性特征,结合研究区数据完整性,以《大庆市统计年鉴》以及《黑龙江省统计年鉴》为数据来源,选取可能对生态足迹有密切影响的 14 个指标建立影响体系(表 4)。

表 4 生态足迹影响因子指标体系

指标编号	指标说明	指标编号	指标说明
X_1	人均 GDP/元	X_8	总人口数/万人
X_2	GDP 年增长率/%	X_9	城市化水平/%
X_3	工业总产值/亿元	X_{10}	居民人均可支配收入/元
X_4	农业总产值/亿元	X_{11}	社会消费品零售总额/万元
X_5	固定资产投资总额/万元	X_{12}	农业固定资产投入额度/万元
X_6	耕地面积/10^3 hm^2	X_{13}	能源消费总量/10^4 t 标准煤
X_7	第三产业比重/%	X_{14}	交通货运量/10^4 t

3　结果与分析

3.1　生态盈亏分析

对大庆市生态承载力与生态足迹的数据汇总,得到该市总体生态盈亏状况(图 1)。大庆市生态系统处于严重的生态赤字状态,1986—1996 年,大庆市生态赤字呈现出明显的上升趋势,涨幅为 18.1%;在之后的 10 a 中,赤字状况略所缓解,对比 1996 年,2007 年降幅为 5.4%,但仍然高出 1986 年赤字水平;但在接下来的 10 a 中,赤字水平并没有延续下降的趋势,反而呈现了剧烈的增长,截止 2016 年,生态赤字已经突破了 10 hm^2/人,达到了 30 a 中的峰值,相较于基期增长幅度高达 64.4%。

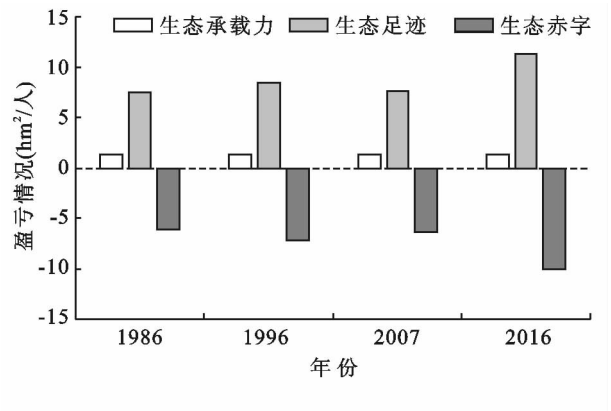


图 1　大庆市生态盈亏情况

通过观察,承载力水平在研究期内几乎恒定不变,生态赤字变化趋向与生态足迹呈较明显负相关。这种现象表明了大庆市目前土地开发潜力已经所剩无几,通过提高土地供给缓解当地生态承载压力的作用十分有限,显然生态足迹才是生态赤字变化的决定性因素。根据各地区生态足迹与生态承载力计算当地生态赤字(图 2)。大庆市各地区生态赤字变化趋势差异较大,这与不同地区土地资源结构与产业定位差异密不可分。肇源县与杜蒙县生态赤字呈不断上升趋势,且每一期上升速度较上期均有增加,两县土地构成以耕地与草地为主,是农产品对外输出大县,随着粮食及牲畜肉奶需求的增加,土地生产压力不可避免的随之上升。林甸与肇州县变化趋势相似,2007 年生态赤字较 1986 年均有所下降,但在 2007—2016 年出现明显反弹。两县林地与耕地所占比例很大,1996 年三北防护林第三期工程正式开展,林甸与肇州县作为东北防护体系的重点建设区域,林地生产压力快速下降,之后由于耕地生物产量的上升,生态赤字又随之增加。市区生态赤字变化态势分为 3 个阶段,在 1986—1996 年呈现上升态势,之后缓慢下降,2007—2016 年趋势表现平稳。市区是大庆市工业生产的重心与人口最为集中的地区,承担了绝大多数能源消耗所带来的生态压力,生态赤字快速增加的背后是能源生态足迹的增加与城市扩张所带来的大量垦荒,随着未利用地开垦殆尽,生态赤字增长趋势有所下降,但消耗需求依然不会减少,生产压力会通过生物产品输入转向于其他区域。

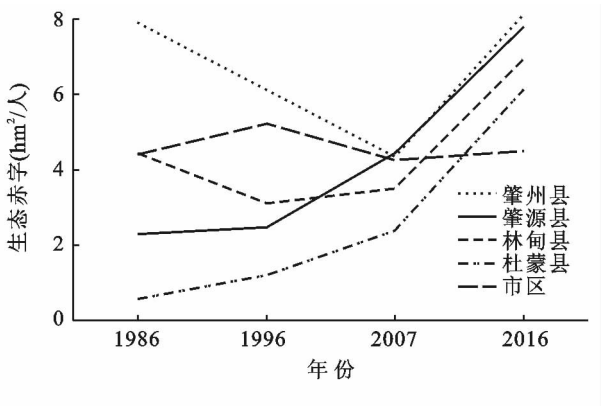


图 2　大庆市各地区生态赤字状况

3.2　生态压力分析

通过 ARCGIS 平台将大庆市各期土地利用图与生态压力计算结果结合,得到大庆市生态压力指数时空变化状况(图 3)。显然,在 1986—2016 年,大庆市生态压力呈现出劣化态势,低生态安全性土地面积不断扩大,全市各地区都面临着较大的供需失衡所造成的生态承载压力。1986 年研究区大部分地区生态压力较低,土地供需处于良性状态,压力等级较高的地区集中于杜蒙县林地区域。1996 年土地生态安全度下降明显,中部地区处于较不安全状态。2007 年与 2016 年,较高的生态压力遍布各地,整体土地生态承载压力较之前明显增加,生态安全度均处于不安全状态。

3.3　生态协调系数分析

通过计算,大庆市 1986,1996,2007,2016 年生态协调系数分别为 1.159,1.138,1.141 和 1.104,均未超过 1.2,说明大庆市生态协调能力均处于较低水平。大庆市作为农业与资源生产大市,其生态生产力不仅与本地社会发展消耗有关,更与区域乃至全国资源需求有着密切的联系,生产力分配的外部性很强。这就很容易造成生态资源的超载消耗,以及各生产类型的结构畸形。1986 年,肇州县、肇源县、林甸县、杜尔伯特、大庆市区的生态协调系数分别为1.13,1.28,1.27,1.41 与 1.13,显然肇源县、林甸县、杜尔伯特三县生态资源协调能力良好,其余两个地区生态协调度

则低于大庆市总体水平;1996 年 5 地区协调系数为 1.15,1.28,1.31,1.39 和 1.11,较之前并无明显变化;2007 年为 1.19,1.21,1.30,1.36,1.11 与 1996 年相比,大部分地区呈下降趋势,但肇源县、林甸县、杜尔伯特 3 县协调能力仍处于平均水平之上;在 2016 年各地区协调系数分别为 1.12,1.15,1.22,1.27 与 1.11,肇源县协调能力下调为较差水平,其他地区也出现了不同程度的下降。

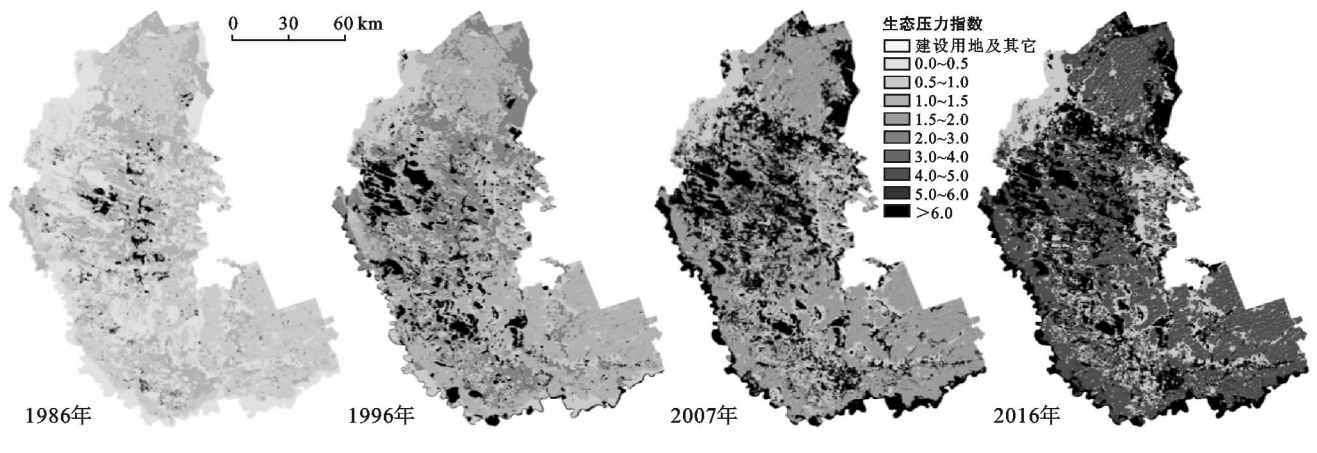


图 3 大庆市 1986—2016 年生态压力指数变化

3.4 影响因素分析

应用分析软件 SIMCA-P13.0 构建 PLS 模型,模型精度如(表 5)所示:$Q_1^2=0.67$,$Q^2(\text{cum})=0.928$,加入 t_2 后有利于提高模型精度。t_1,t_2 能够解释 97.4%的因变量 Y 的变异,而它们对 X 组变量的信息利用率为 98.1%,模型可靠性较强,精度较高。变量投影重要性(variable important in projection,VIP)是 PLS 模型选择主要影响变量的标准,表示自变量对因变量数据集合的解释力。在相关研究中,通常将 VIP 值大于 1 的因子定义为极显著影响因子,小于 0.9 的因子则影响力较弱,其余为较显著影响因子[19]。由各因子 VIP 值计算结果(表 6)可知,农业固定资产投入额度、GDP 年增长率、第三产业比重、社会消费品零售总额、农业总产值这 5 种因子属于对大庆市土地承载力具有极显著影响的因子,而居民人均年可支配收入、人均 GDP 值、固定资产投资总额、工业总产值、交通货运量、总人口数、城市化水平、能源消耗总量为较显著影响因子。

表 5 偏最小二乘计算精度

成分	RhX(cum)	RhY(cum)	Q^2(cum)
1	0.908	0.82	0.67
2	0.982	0.972	0.928

注:h 表示成分数,RhX 与 RhY 表示 h 对 X 及 Y 的解释度,Q^2 表示交叉有效性。

表 6 各因子 VIP 值

因子	X_12	X_2	X_7	X_{11}	X_4	X_{10}	X_1
VIP	1.214	1.196	1.140	1.094	1.012	0.951	0.941
因子	X_5	X_3	X_{14}	X_8	X_9	X_{13}	X_6
VIP	0.919	0.917	0.910	0.910	0.908	0.907	0.894

4 讨论与结论

(1) 大庆市生态承载压力呈现增长态势。在研究期内,大庆市土地生态压力与生态赤字不断扩大,生态协调系数不断降低。结合研究区实际分析,原因是有多方面的:随着城市化进程不断加快,农村人口涌入城市定居,耕地、园地等生态用地被建筑占用,数量不断减少的农用地却要供养越来越多的人口,这使得生产性土地承载压力随之增加;尽管各县消耗所造成的压力不如市区明显,但由于大庆市,乃至黑龙江在全国粮食格局中的定位,大庆市资源大量输出也是造成生态承载压力扩大原因;大庆市作为一个成熟型资源城市,第二产业占比居于主导地位,能源消耗量很大,化石能源生态足迹成为生态赤字重要贡献部分。

(2) 大庆市土地生态承载压力空间分布不均衡,这与不同地区土地类型配置及人口密度有关。总体而言,肇州县、肇源县、市区的生态压力指数较大,生

态协调度能力差,而林甸县与杜蒙县,尽管两县生态足迹水平也很高,但是由于生态资源较为宽裕,所以压力状况略好于其他地区。生态承载压力分布均衡在一定程度上也说明在制定相关优化措施时,要注重因地制宜,切合实际。

(3) 大庆市生态承载力影响因素多样,既包括了社会响应因子,也包含了经济方面的影响因素。由此可见,大庆市土地承载力恶化的原因是多方面的,而在日后改善土地承载状况的对策中,应对控制人口数量,加快产业结构优化调整,引导居民合理消费,提高土地资源集约利用水平,增加单位面积土地利用效益等措施重点加以考虑。

(4) 下一步的研究中,将通过增加研究期时间序列长度及减少研究期数间隔,更可靠地反映区域动态发展趋势,弥补模型的静态缺陷;进一步缩小研究的地域单元,使小区域生态问题得到更明显的体现;着眼于其他资源城市,与大庆市计算结果进行对比分析,深入探究该类城市生态承载力普遍规律。

[参 考 文 献]

[1] 李建春,袁文华. 基于 GIS 格网模型的银川市土地生态安全评价研究[J]. 自然资源学报,2017,32(6):988-1001.

[2] 徐君,李贵芳,王育红. 国内外资源型城市脆弱性研究综述与展望[J]. 资源科学,2015,37(6):1266-1278.

[3] 闫晓霞,张金锁,邹绍辉. 污染约束下可耗竭资源最优消费模型研究[J]. 系统工程理论与实践,2015,35(2):291-299.

[4] Wackernagel M, Rees W E. Our ecological footprint: Reducing human impaction on the earth[M]. Gabriola island: New Society Publishers,1996.

[5] 孙艳芝,沈镭. 关于我国四大足迹理论研究变化的文献计量分析[J]. 自然资源学报,2016,31(9):1463-1473.

[6] Simposon W, Petpoesehevsky. An ecological footprint analysis for Australia[J]. Australia Journal of Environment Management, 2011,18(7):1-18.

[7] Jason Venetoulis. Ecological Footprint of Nations2005 Update[R]. Oakland California USA: Redefming Progress, 2005.

[8] WWF. Living Planet Report 2006[R]. G1 and Switzerland: WWF-World Wide Fund for Nature, 2006.

[9] Folke C . The problem of fit between ecosystems and institutions[J]. Ecology & Society, 2007, 12(1):181-194.

[10] 蔺海明,领鹏. 甘肃省河西绿洲农业区生态足迹动态研究[J]. 应用生态学报,2004,15(05):827-832.

[11] Verma, Yadav, Tiwari. Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea(*Cicer arietinum*) under sustainable agriculture[J]. Ecological Engineering, 2013,51:282-286.

[12] 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.

[13] 陈珏,雷国平. 大庆市土地利用与生态环境协调度评价[J]. 水土保持研究,2011,18(3):116-120.

[14] 徐宝库. 黑龙江垦区人力资源管理现状改善措施[J]. 中外企业家,2015(6):136.

[15] 张桂宾,王安周. 中国中部六省生态足迹实证分析[J]. 生态环境,2007,16(2):598-601.

[16] 刘建兴,王青,顾晓薇,等. 投入产出法在我国生态足迹研究中的应用[J]. 东北大学学报:自然科学版,2007,28(4):592-595.

[17] 刘某承,李文华. 基于净初级生产力的中国各地生态足迹均衡因子测算[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(5):401-406.

[18] 刘某承,李文华,谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算[J]. 生态学杂志,2010,29(3):592-597.

[19] 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]. 上海:华东师范大学,2011.

(上接第 280 页)

[15] 许民,张世强,王建,等. 利用 GRACE 重力卫星监测祁连山水储量时空变化[J]. 干旱区地理,2014,37(3):458-467.

[16] 肖乾广,肖岚,李亚君. EOS/MODIS,FY-1D/MVISR,NOAA/AVHRR 的归一化植被指数的同化研究[C]// 全国遥感信息综合研究与深化应用交流研讨会. 2009.

[17] 周兆叶,宜树华,叶柏生,等. 疏勒河上游冻土区高寒草地 NDVI 分布特征及制约因素分析[J]. 草业科学,2012,29(5):671-675.

[18] 邹明亮. 基于 GRACE 的疏勒河流域水资源—生态环境时空耦合关系研究[D]. 甘肃 兰州:兰州大学,2018.

[19] 张建永,李扬,赵文智,等. 河西走廊生态格局演变跟踪分析[J]. 水资源保护,2015,31(3):5-10.

[20] 韦惠兰,罗万云. 沙化封禁区农田生态系统服务价值变化及其影响因素:以河西走廊 8 县市为例[J]. 水土保持通报,2017,37(6):189-196.

[21] 牛赟,陈斌,李秉新,等. 黑河中游荒漠植物生长与降水、土壤水和地下水的关系[J]. 水土保持通报,2016,36(3):98-104.