

吉林省限制开发区域资源环境承载力综合评价

孙永胜^{1,2}, 佟连军^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102;

2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 综合运用P-S-R模型、熵权TOPSIS模型与障碍度模型等方法,以吉林省限制开发区域为研究对象,分析了2008—2016年吉林省限制开发区域资源环境承载力时空格局特征及其影响因素。结果表明:(1)研究期内吉林省限制开发区域资源环境承载力呈不断下降态势,资源环境承载力状况不尽理想;相反,吉林省限制开发区域资源环境承载力变异系数却逐步提升,区域差异逐渐扩大。(2)吉林省限制开发区域资源环境承载力空间上总体呈现出自西向东不断升高的特点。其中,压力指数空间上呈现中部高、东西两翼低的格局;状态指数则呈现中部低、东西两端高的空间格局;而响应指数东西空间分异特征显著,东部明显高于中、西部地区。(3)农村居民人均纯收入、人均粮食产量、人口密度、工业废水中COD去除率、森林覆盖率、城镇化率是阻碍吉林省限制开发区域资源环境承载力水平提升的关键因素。

关键词: 资源环境承载力;时空格局;限制开发区域;吉林省

改革开放以来,随着中国工业化、城镇化进程的加速,国土空间开发利用方面出现了无序乃至失控的局面,由此引发了一系列资源枯竭、环境恶化、生态破坏等问题。如何科学应对现实区域开发和资源环境保护之间的矛盾,促进国土空间高效、协调、可持续发展已然成为社会各界关注的核心议题。作为衡量人地关系协调发展程度的重要判据之一^[1]——资源环境承载力,是指一定时期内在保证自然环境不受损害并维系生态系统良好的前提下,特定区域的资源禀赋和环境容量所能承载的经济社会活动规模^[2],是科学引导人类活动在资源集约、环境保护的基础上实现可持续发展的关键所在。国外关于资源环境承载力研究最早于1972年梅多斯等在《增长的极限》中有关著名的“世界模型”——DYNAMO模型的论述中出现^[3]。此后,联合国教科文组织和粮农组织先后提出了一系列有关承载力定义和量化的方法^[4,5],如人口承载力^[6]、文化承载力^[7]、资源(土地、水、矿产等)承载力^[5]、环境承载力^[8]、生态承载力^[9]等一系列外延概念和量化模型,进一步引发了学界对资源环境承载力相关问题的广泛关注。自此,国内学界在学习借鉴国外相关研究的基础上,结合中国的实际情况也进行了大量的研究与实践,目前研究主要集中于以下几方面:(1)资源环境承载力概念与内涵。蒋辉等^[10]、封志明等^[11]和刘文政等^[12]分别基于可持续发展视角、资源环境视角、地理学综合视角等重新审视资源环境承载力的概念源起与发展历程,藉此提升资源环境承载力在国民经济社会发展中的

收稿日期: 2020-01-15; 修订日期: 2020-05-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771138, 41771161)

作者简介: 孙永胜(1992-),男,河南洛阳人,博士研究生,研究方向为区域规划与绿色发展。

E-mail: sunyongsheng@iga.ac.cn

通讯作者: 佟连军(1960-),男,吉林长春人,博士,研究员,博士生导师,研究方向为生态经济。

E-mail: tonglj@neigae.ac.cn

科学价值和现实意义。(2) 资源环境承载力框架构建与评估。董文等^[13]、许明军等^[14]和陈晓雨婧等^[15]主要从资源要素和环境要素两个角度构建了资源环境承载力的评价指标体系; 秦成等^[16]、雷勋平等^[17]、杨亮洁等^[18]和刘金花等^[19]从“资源—环境—社会—经济”复合系统的结构和功能出发, 构建了资源环境承载力普适性评价体系。(3) 资源环境承载力时空分异。张燕等^[20]、杨亮洁等^[18]、段佩利等^[21]、刘金花等^[19]、许明军等^[14]、于广华等^[22]运用相关计量模型与空间分析手段, 分别对全国、省域、市域行政尺度和平原、山区以及沿海地区等尺度进行时空动态变化规律分析。(4) 资源环境承载力影响因素识别。吴大放等^[23]、段佩利等^[21]、郭轲等^[24]、雷旭平等^[17]、周侃等^[25]主要探讨了经济发展、资源禀赋、开发强度、人口问题、环境退化、技术手段、社会选择和价值观念等不同要素与区域资源环境承载力的相互关系。总体而言, 以上探索已经取得了较为丰富的研究成果, 但是相关研究多以跨省级和省级为主, 且研究区域多集中于西部欠发达地区、东部沿海地区 and 城市群地区, 然而对于“开发”与“保护”两种地域功能冲突尖锐典型地区——限制开发区域始终缺少足够的重视。

限制开发区域作为国家重要的农产品主产区和重点生态功能区, 由于不适宜进行大规模高强度的工业化、城镇化开发, 因此必须根据资源环境承载能力确定相应的人口规模以及经济规模。吉林省作为我国重要的商品粮基地和生态功能区域, 限制开发区域占据全省面积的 86.43%。因此, 厘清吉林省限制开发区域资源环境承载力时空演化格局特征, 并揭示其作用机制, 对于缓解吉林省限制开发区域资源利用、环境保护和经济发展之间的矛盾显得尤为重要。为此, 本文以 2008 年、2012 年、2016 年为时间截面, 采用数理计量方法开展吉林省限制开发区域资源环境承载力综合评价研究, 以期对吉林省限制开发区域可持续发展战略制定提供方法支撑和现实依据。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

研究区域特指《吉林省主体功能区规划》确定的限制开发区域, 区域开发名录共包含吉林省的 41 个县(市、区), 区域面积为 165679.11 km², 占吉林省总面积的 86.43%。鉴于数据的可得性和完整性, 本文划定的研究区域暂不考虑洮北区、浑江区、江源区、东昌区等 4 个市辖区。2016 年研究区域 GDP 为 7530.17 亿元, 总人口为 1717.49 万人, 分别占吉林省 GDP 与总人口的 50.96% 和 64.92%。

1.2 研究方法

1.2.1 评价指标体系构建

“压力—状态—响应”(P-S-R) 模型可以用来阐述人类—自然复合生态系统可持续性变化的因果关系^[26], 即人类活动对生态环境施加压力, 导致生态环境状态发生变化, 同时人类社会通过对生态环境变化作出响应, 进而恢复生态环境质量^[27]。目前该模型已被广泛应用于人地关系、可持续发展、生态与环境安全评价等领域。区域资源环境承载力作为连接人类经济社会系统与自然资源环境系统之间的纽带^[12], 实质就是研究经济—社会—资源—环境之间的相互耦合关系, 而 P-S-R 模型则恰好揭示出人地相互作用的因果关系^[27]。为此, 本文将 P-S-R 模型应用到资源环境承载力的相关研究之中, 以此科学、合

理地反映区域资源环境承载力的状况及其演变过程。在遵循科学性、系统性、可操作性以及典型代表性等原则上，借鉴前人研究成果^[18,22,27-29]，结合研究区域实际情况，分别从经济、社会、资源、环境四个方面构建基于P-S-R模型的吉林省限制开发区域资源环境承载力综合评价指标体系（表1）。其中，“压力”层指标反映的是人类活动对生态环境造成的负荷，主要包含社会经济压力和资源环境压力两方面，选取人口密度等8项指标表征；“状态”层指标反映的是生态环境以及人类活动的实际状况，主要包含环境本底状况、资源禀赋条件和社会经济发展现状三方面，选取森林覆盖率等7项指标表征；“响应”层指标反映的是人类社会为保持生态环境稳定和提高区域承载力而采取的响应措施，主要为环保（工业和生活）相应措施，选取环境保护支出占GDP比例等6项指标表征。

表1 吉林省限制开发区域资源环境承载力评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of resources and environment carrying capacity in restricted development zone of Jilin province

目标层	准则层	指标层	作用方向	权重 (2008年)	权重 (2012年)	权重 (2016年)
资源环境 承载力	压力（P）	X_1 人口密度/(人/km ²)	-	0.0333	0.0347	0.0351
		X_2 地均GDP/(万元/km ²)	+	0.0736	0.0667	0.0749
		X_3 固定资产投资密度/(万元/km ²)	+	0.0874	0.0487	0.0772
		X_4 万元GDP电耗/(kW·h/万元)	-	0.0085	0.0083	0.0133
		X_5 万元GDP水耗/(m ³ /万元)	-	0.0144	0.0112	0.0169
		X_6 万元工业增加值废水排放量/(t/万元)	-	0.0215	0.0108	0.0100
		X_7 万元工业增加值废气排放量/(万标m ³ /万元)	-	0.0072	0.0160	0.0178
		X_8 化肥使用强度/(t/hm ²)	-	0.0222	0.0144	0.0181
	状态（S）	X_9 森林覆盖率/%	+	0.1008	0.1021	0.1014
		X_{10} 人均耕地面积/(hm ² /人)	+	0.0509	0.0619	0.0630
		X_{11} 人均水资源量/(m ³ /人)	+	0.1225	0.1293	0.1305
		X_{12} 人均粮食产量/(t/人)	+	0.0612	0.0639	0.0597
		X_{13} 非农产业产值占GDP比例/%	+	0.0232	0.1202	0.0143
		X_{14} 城镇化率/%	+	0.0534	0.0597	0.0603
		X_{15} 农村居民人均纯收入/元	+	0.0382	0.0369	0.0477
	响应（R）	X_{16} 环境保护支出占GDP比例/%	+	0.0725	0.0624	0.0987
		X_{17} 工业废水中COD去除率/%	+	0.0611	0.0367	0.0244
		X_{18} 工业废气中烟粉尘去除率/%	+	0.0215	0.0089	0.0224
		X_{19} 工业固体废物综合利用率/%	+	0.0280	0.0211	0.0212
		X_{20} 人均社会消费品零售总额/(元/人)	+	0.0495	0.0389	0.0402
		X_{21} 财政自给率/%	+	0.0490	0.0472	0.0529

1.2.2 熵权TOPSIS模型

TOPSIS模型是一种运用距离作为评价标准的综合评价法，主要用于解决有限方案的多目标决策问题^[17]。该方法通过定义目标空间中的某一测度，并以此计算目标靠近（远离）正（负）理想解的程度来评估区域资源环境承载力^[18]，但由于评估过程中对各指标的权重确定过于粗略，导致在实际应用中容易出现偏差。为此，本文引入熵权TOPSIS模

型, 它可以有效消除主观因素带来的影响, 科学客观地反映区域资源环境承载力水平。熵权TOPSIS模型具体计算步骤如下^[17,18]:

(1) 构建标准化评价矩阵: 设原始评价矩阵为 $\{x_{ij}\}_{m \times n}$, 为了消除指标量纲对评价结果的影响, 首先对其进行标准化处理, 形成标准化评价矩阵 $\{y_{ij}\}_{m \times n}$ 。

其中, 正向指标计算处理为:

$$y_{ij} = (x_{ij} - \min x_j) / (\max x_j - \min x_j) \quad (1)$$

负向指标计算处理为:

$$y_{ij} = (\max x_j - x_{ij}) / (\max x_j - \min x_j) \quad (2)$$

式中: x_{ij} 、 y_{ij} 、 $\min x_j$ 、 $\max x_j$ 分别代表第 i 个指标第 j 年的原始值、标准化值、最小值和最大值; $i=1, 2, \dots, m$, m 为指标数 (个); $j=1, 2, \dots, n$, n 为年份数 (年)。

(2) 确定指标权重: 熵权法能够有效兼顾指标的变异程度, 客观反映指标的重要性, 适合对多元指标进行综合评价, 其具体计算公式为:

$$w_i = \frac{1 - E_i}{m - \sum_{i=1}^m E_i} \quad (3)$$

$$E_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, \quad p_{ij} = y_{ij} / \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (4)$$

式中: w_i 、 E_i 、 p_{ij} 分别代表指标的权重、信息熵以及特征比例; $\ln 0 = 0$ 。

(3) 计算权重规范化矩阵: 运用熵权 w_i 构建加权规范化矩阵 $\{Y_{ij}\}_{m \times n}$ 。

$$\{Y_{ij}\}_{m \times n} = \{y_{ij} \times w_i\}_{m \times n} \quad (5)$$

(4) 确定正 (负) 理想解: 设 S_j^+ 和 S_j^- 分别为评价数据中第 i 个指标在 j 年内的最大值和最小值, 即正理想解和负理想解。

$$S_j^+ = \{\max Y_{ij} | i=1, 2, \dots, m\} = \{Y_1^+, Y_2^+, \dots, Y_m^+\} \quad (6)$$

$$S_j^- = \{\min Y_{ij} | i=1, 2, \dots, m\} = \{Y_1^-, Y_2^-, \dots, Y_m^-\} \quad (7)$$

(5) 计算与正 (负) 理想解的欧式距离: 令 D_j^+ 为第 i 个指标与 S_j^+ 的距离, D_j^- 为第 i 个指标与 S_j^- 的距离。

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (S_j^+ - Y_{ij})^2} \quad (8)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (S_j^- - Y_{ij})^2} \quad (9)$$

(6) 计算贴近度: 令 T_j 为第 j 年评价对象接近最优理想解的程度。

$$T_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (10)$$

式中: T_j 取值 (0, 1), 其中, T_j 越大, 说明该年评价对象越优, 反之, 则越劣。

1.3 数据来源

以吉林省限制开发区域 37 个县 (市、区) 为研究单元, 所需数据均来源于 2009 年、2013 年、2017 年的《中国城市统计年鉴》《吉林省统计年鉴》以及各县市统计年鉴和相关年份国民经济和社会发展统计公报等。

2 结果分析

2.1 资源环境承载力时序演化特征分析

根据前文确定的指标体系，利用熵权TOPSIS模型，对吉林省限制开发区域进行了资源环境承载力的单因子和综合评价，得出吉林省限制开发区域总体评价结果（图1）。

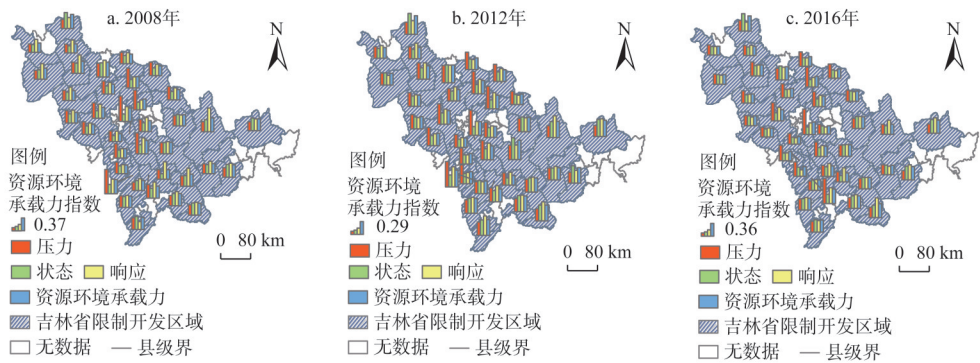


图1 吉林省限制开发区域资源环境承载力指数

Fig. 1 Index of resources and environment carrying capacity in restricted development zone of Jilin province

从具体数值来看，吉林省限制开发区域资源环境承载力呈逐步下降趋势，2008年、2012年和2016年资源环境承载力平均值分别为0.3220、0.3109和0.3079。究其原因，吉林省限制开发区域作为全省重要的耕地占补平衡区域，承担着维持耕地总量动态平衡的任务，但是由于人口外流现象比较严重，使得人均资源占有量略有增加，如人均耕地面积从2008年的0.22 hm²/人上升为2016年的0.30 hm²/人；同时超负荷的社会经济活动对资源、环境产生的干扰与破坏等问题日益加剧，如化肥使用强度从2008年的0.70 t/hm²上升为2016年的0.75 t/hm²，森林覆盖率从37.71%下降为34.50%，使得吉林省限制开发区域资源环境承载力状况呈不断下降态势。从县（市、区）层面来看，除蛟河、桦甸、公主岭、东丰、通化、柳河、梅河口、扶余、镇赉、大安、临江、长白、和龙以及汪清的资源环境承载力处于平稳并略微上升趋势外，其余23个县（市、区）资源环境承载力均呈下降趋势，其中敦化、磐石、永吉以及梨树的资源环境承载力下降幅度最明显，资源环境承载力指数分别由2008年的0.4020、0.3853、0.3153和0.2842降至2016年的0.2899、0.2969、0.2395和0.2450，年均递减率分别为4.01%、3.21%、3.38%和1.84%。这主要是因为区域较快的经济发展速度，导致多数县（市、区）没有从根本上考虑生态系统脆弱性、资源环境容量以及污染防治与治理等问题；同时由于忽视长远的科学规划，缺乏必要的环保要素投入，最终造成资源环境压力超限，社会经济发展受阻，资源环境承载力面临巨大挑战。

从差异程度来看（表2），吉林省限制开发区域资源环境承载力变异系数由2008年的0.1489波动上升至2016年的0.1691，表明吉林省限制开

表2 吉林省限制开发区域资源环境承载力变异系数
Table 2 Variation coefficient of resources and environment carrying capacity in restricted development zone of Jilin province

年份	压力	状态	响应	资源环境承载力
2008	0.3365	0.2406	0.2308	0.1489
2012	0.2604	0.2856	0.2204	0.1844
2016	0.3135	0.2387	0.2689	0.1691

发区域资源环境承载力地区差异从“小差距高水平”特征逐渐向“大差距低水平”特征转变。从目标层构成要素来看，准则层中响应指数的变异系数呈波动上升态势，这意味着各县（市、区）在环境管理、节能减排以及生态建设等方面存在差距扩大的态势，同时也说明响应指数是造成目标层资源环境承载力差异逐渐扩大的首要因素。相反，准则层中压力指数和状态指数的变异系数均呈波动下降态势，其中状态指数的变异系数变化幅度最小，说明各县（市、区）间的差异情况并未得到有效改善；而压力指数的变异系数始终保持最高或次高，是目标层资源环境承载力存在差异的主导因素。

2.2 资源环境承载力空间分异特征分析

为直观地显示吉林省限制开发区域资源环境承载力空间分异情况，采用标准差分级法，将资源环境承载力的单因子指数和综合指数进行分级，共划分为四个等级（低水平、中水平、较高水平、高水平）。

由压力指数分析可知（图2），其空间上呈现出中部高、东西两翼低的格局。中部的德惠、九台、双阳、磐石、梅河口以及公主岭由于区位优势比较优越，人口活动与经济发展相对活跃，工业“三废”的持续排放以及土壤持久性有机物污染等问题日益凸现，致使其生态环境遭受破坏，资源环境压力程度相对较高；东、西部地区则由于生态环境呈多样性和整体性的特征，因而在社会经济发展过程中更加注重保护耕地、林地、草地、湿地等生态系统，协调好资源利用、环境保护和经济发展之间的矛盾，减少对区域生态环境的污染破坏。另外，压力指数低水平、中水平、较高水平以及高水平区数量分别由2008年的0个、25个、7个、5个演化为2012年的2个、22个、7个、6个和2016年的0个、25个、8个、4个。总体来看，研究期内吉林省限制开发区域压力指数不同类型区的数量基本没有发生变化，且空间上也始终呈现中间高、东西低的“凸”字型格局特征。

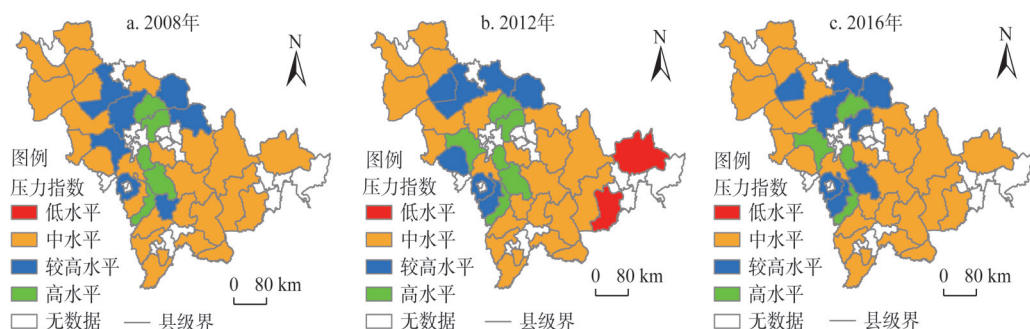


图2 吉林省限制开发区域压力指数空间分异

Fig. 2 Spatial differentiation of pressure index in restricted development zone of Jilin province

由状态指数分析可知（图3），其空间上总体呈现出中部低、东西两端高的格局特征，东部地区的汪清、和龙、长白、临江、集安、敦化和西部地区的镇赉、前郭为高水平区，这是因为东、西部地区后备资源较丰富，如未利用地开发、农用地调整、农村闲置地以及工矿废弃地复垦潜力较大，有利于承载适度规模的工业化、城镇化开发。相反，中部地区伴随社会经济的快速发展，多数县（市、区）开始出现能源资源匮乏，水资源短缺等资源紧张问题，同时紧缺的资源亦难以满足区域经济社会快速发展的需要。

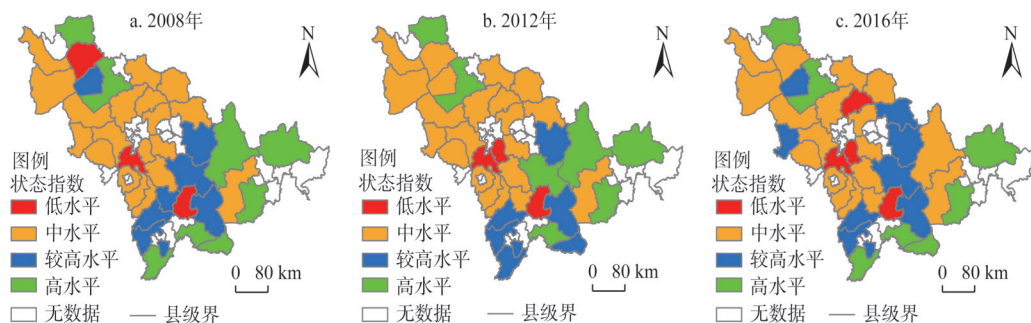


图3 吉林省限制开发区域状态指数空间分异

Fig. 3 Spatial differentiation of state index in restricted development zone of Jilin province

另外, 状态指数低水平、中水平、较高水平以及高水平区数量分别由2008年的3个、19个、7个、8个演化为2012年的3个、21个、6个、7个和2016年的4个、18个、8个、7个。总体来看, 研究期内吉林省限制开发区域状态指数高水平区数量略微减少, 低水平区数量略有增加, 区域生态环境状态有恶化的趋势; 空间上状态指数高水平区呈现出由东部集聚发展向东部边缘发展的转变, 较高水平以及中水平区则呈现出连片集聚发展的特点, 低水平区呈现出由随机分布向中部集聚分布的特征。

由响应指数分析可知(图4), 其东西空间分异特征显著, 东部明显高于中、西部地区。这是因为东部地区的汪清、和龙、长白、敦化、靖宇、抚松以及集安大都为生态功能重要区, 生态系统比较复杂, 为保持必要的耕地、林地、湿地等绿色生态空间, 地方政府往往需要通过生态补偿、财政转移支付等政策措施推动生态恢复重建, 改善生态环境状况, 促进生态环境响应水平提升。另外, 响应指数低水平、中水平、较高水平以及高水平区数量分别由2008年的4个、18个、10个、5个演化为2012年的5个、15个、11个、6个和2016年的5个、14个、12个、6个。总体来看, 研究期内吉林省限制开发区域响应指数高水平、较高水平以及低水平区数量略有增加, 中水平区数量明显减少, 区域生态环境响应水平不断趋好; 空间上响应指数高水平区呈现出由东西部集聚发展向东部扩散发展的转变, 较高水平区呈现出由中西部集聚发展向东部集聚发展的特征, 中水平区则呈现出由中部连片集聚发展向西部连片集聚发展的特征, 低水平区呈现出由随机分布向中部集聚分布的转变。

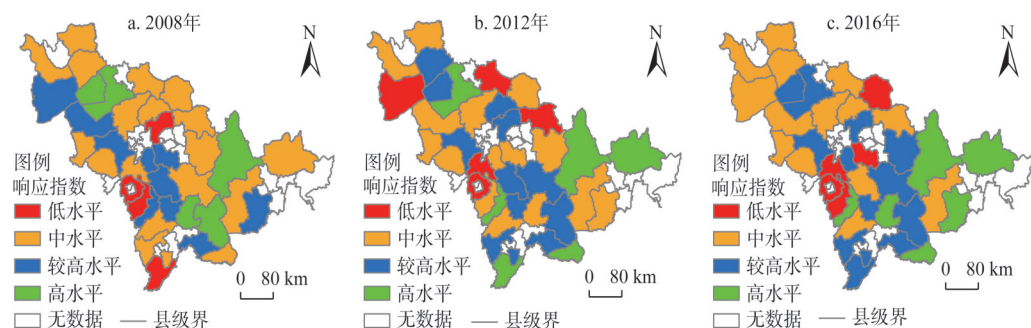


图4 吉林省限制开发区域响应指数空间分异

Fig. 4 Spatial differentiation of response index in restricted development zone of Jilin province

由资源环境承载力指数分析可知(图5),其空间上总体呈现出自西向东不断升高的特点,东部的汪清、敦化、和龙以及长白均为国家重点生态功能区,由于不具备进行大规模、高强度的工业化、城镇化活动,故而难以承载较多的经济和人口集聚,区域人口密度偏低。同时为积极引导产业和人口向发展条件适宜的城镇集聚,增强基础设施服务功能,调整自然社会经济关系,地方政府在财政方面也给予了大力支持,有效地提升了东部县市的资源环境承载力水平。另外,资源环境承载力低水平、中水平、较高水平以及高水平区数量分别由2008年的6个、14个、11个、6个演化为2012年的5个、15个、11个、6个和2016年的4个、18个、9个、6个。总体来看,研究期内吉林省限制开发生态资源环境承载力高水平数量基本保持不变,较高水平以及低水平区数量均呈不同程度的减少,而中水平区数量则不断增加,区域资源环境承载力状况不尽理想;空间上资源环境承载力高水平区呈现出由中部集聚发展向东部边缘发展的转变,较高水平区分布并未发生明显变化,中水平区则呈现出连片集聚发展的特点,低水平区呈现出由中西部集聚分布向随机分布的特征。

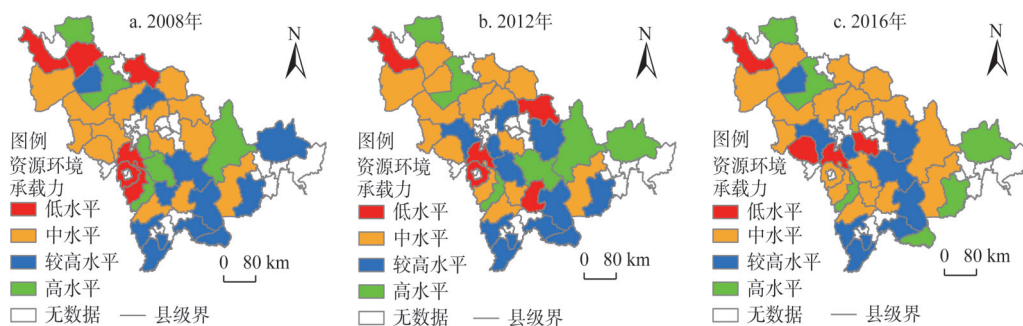


图5 吉林省限制开发生态资源环境承载力空间分异

Fig. 5 Spatial differentiation of resources and environment carrying capacity in restricted development zone of Jilin province

2.3 资源环境承载力影响因素分析

为了深层次揭示造成上述时空分布的原因,挖掘吉林省限制开发生态资源环境承载力的制约因素,需进一步对资源环境力水平进行病理诊断分析,具体方法是引入障碍度模型,计算公式见文献[30]。经计算,可以得出2008年、2012年、2016年吉林省限制开发生态区域各县(市、区)排名前六的障碍度因素(表略)。

根据障碍度的频次统计结果显示,2008年资源环境承载力前六位的障碍因素作用强弱排序依次为 $X_{15}>X_{17}>X_{12}>X_{19}>X_9>X_1$,2012年则为 $X_{15}>X_{17}>X_{12}>X_2>X_9>X_{14}$,2016年则为 $X_{15}>X_{17}>X_{12}>X_9>X_{14}$ 。可以发现, X_{15} (农村居民人均纯收入)、 X_{12} (人均粮食产量)、 X_1 (人口密度)、 X_{17} (工业废水中COD去除率)、 X_9 (森林覆盖率)、 X_{14} (城镇化率)是影响吉林省限制开发生态资源环境承载力的关键因素。其中, X_{15} 始终是首要障碍因素,对区域资源环境承载力的影响具有相对稳定性,今后可能会成为吉林省限制开发生态资源环境承载力优化提升的重中之重; X_{17} 、 X_1 是仅次于 X_{15} 的第二大障碍因子,这意味着人口聚集程度和环境治理能力很可能会成为限制区域社会经济发展的瓶颈,同时也将对今后吉林省限制开发生态资源环境承载力的优化提升形成巨大压力; X_{12} 、 X_9 分别是第三、第五大障碍因,对区域资源环境承载力的影响同样具有相对稳定性。不难发现,吉林省限制开发生态区域作为我国重要的商品粮基地和生态功能区,保障粮食安全、生态安全不仅是其社

会经济发展的物质基础,更是今后其资源环境承载力优化提升的主要着力点。另外, X_{14} 作用强度也逐渐显现,出现频次由2008年的15次增加至2016年的18次,由第九障碍因素上升至第四障碍因素,说明城镇化率对区域资源环境承载力的影响程度也在不断提升,今后理应加强重视城镇化发展给吉林省限制开发区域资源环境承载力带来的社会问题。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文选取吉林省限制开发区域为研究对象,构建基于P-S-R模型的资源环境承载力指标体系,介入时空双向视角,结合空间分析法、熵权TOPSIS模型以及障碍度模型等方法,可视化吉林省限制开发区域资源环境承载力时空格局特征及其影响因素,得出以下结论:

(1) 2008—2016年吉林省限制开发区域资源环境承载力呈不断下降态势,资源环境承载力状况不尽理想。同时受地理位置、经济基础、社会发展以及政府政策影响,吉林省限制开发区域资源环境承载力变异系数却逐步提升,区域差异逐渐扩大。

(2) 吉林省限制开发区域压力指数空间上呈现中部高、东西两翼低的格局;状态指数则呈现中部低、东西两端高的空间格局;而响应指数东西空间分异特征显著,东部明显高于中、西部地区。究其原因,中部地区多为城镇开发适宜区和农业生产适宜区,人口活动与经济发展相对活跃,工业“三废”的持续排放以及土壤持久性有机物污染等问题日益凸现,致使其生态环境遭受破坏,资源环境压力程度相对较高;东、西部地区则由于地处生态功能重要区和生态系统脆弱区,故而在社会经济发展过程中需更加注重保护耕地、林地、草地、湿地等生态系统,协调好资源利用、环境保护和经济发展之间的矛盾,减少对区域生态系统的破坏。

(3) 吉林省限制开发区域资源环境承载力空间上总体呈现出自西向东不断升高的特点,这表明不同国土空间开发适宜类型下的吉林省限制开发区域资源环境承载力存在明显差异。东部的汪清、敦化、和龙以及长白均为生态功能重要区,由于不具备大规模高强度工业化城镇化开发的条件,地方政府往往需要通过生态补偿、财政转移支付等政策措施推动生态恢复重建、改善生态环境状况、调整社会经济关系,促进东部县市资源环境承载力水平优化提升。

(4) 根据障碍度模型的计算结果显示,农村居民人均纯收入(X_{15})、人均粮食产量(X_{12})、人口密度(X_1)、工业废水中COD去除率(X_{17})、森林覆盖率(X_9)、城镇化率(X_{14})是阻碍吉林省限制开发区域资源环境承载力水平提升的关键因素,这说明了未来亟需将促进“生产—生活—生态”空间协同发展作为吉林省限制开发区域资源环境承载力与可持续发展能力提升的首要任务。

3.2 讨论

从某种意义上讲,限制开发区域作为我国四类主体功能区中人地关系协调的难点与问题地区,对其开展资源环境承载力综合评价研究,不仅是适应限制开发区域保护性开发的发展要求,更是促进区域可持续发展的重大科学需求。因此,针对上述研究,建议从以下几方面来提高吉林省限制开发区域资源环境承载力:一是,加快转变现有的经济

增长模式, 严格限制“三高”产业发展, 通过实现工、农业固体废物减量化、资源化和无害化处理, 切实提高区域资源环境供给能力。二是, 采取因地制宜、分类指导的发展策略, 积极发展与资源环境相适应的特色产业, 切实提高区域综合生产能力, 如中部地区要依托优越的区位条件, 在有序承接长吉城市群产业转移过程中, 重点提升新兴产业和高技术产业比例; 东部地区要依托丰富的生物资源和旅游资源, 大力发展医药健康产业和生态旅游产业; 西部地区要依托丰富的农业生产与绿色生态空间, 抓紧建立一批绿色产业生态经济示范园区。三是, 充分考虑区域特定时期可承载的人口、经济以及开发空间规模的需要, 完善社会、经济和生态综合效益导向机制, 切实引导人类社会形态由“工业文明”向“生态文明”转型发展, 进而实现区域社会、经济、资源、环境的全面协调发展。

参考文献(References):

- [1] 封志明, 杨艳昭, 闫慧敏, 等. 百年来的资源环境承载力研究: 从理论到实践. 资源科学, 2017, 39(3): 379-395. [FENG Z M, YANG Y Z, YAN H M, et al. A review of resources and environment carrying capacity research since the 20th century: From theory to practice. Resources Science, 2017, 39(3): 379-395.]
- [2] 邱鹏. 西部地区资源环境承载力评价研究. 软科学, 2009, 23(6): 66-69. [QIU P. The appraisal of the resource and environmental carrying capacity of the west. Soft Science, 2009, 23(6): 66-69.]
- [3] MEADOWS D H, MEADOWS D L, RANDERS J, et al. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York: Universe Books, 1972.
- [4] UNESCO, FAO. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya: A resource accounting methodology for exploring national options for sustainable development. Paris and Rome, 1985.
- [5] FAO. Potential population supporting capacities of lands in developing world. Paris and Rome, 1982.
- [6] BERNARD F E, THOM D J. Population pressure and human carrying capacity in selected locations of Machakos and Kitui districts. Journal of Developing Areas, 1981, 15(3): 381-406.
- [7] HARDIN G. Cultural carrying capacity: A biological approach to human problems. BioScience, 1986, 36(9): 599-604.
- [8] ARROW K, BOLIN B, COSTANZA R, et al. Economic growth, carrying capacity and the environment. Science, 1995, 268(1): 89-90.
- [9] MONTE-LUNA P D, BROOK B W, ZETINA-REJO M J, et al. The carrying capacity of ecosystems. Global Ecology and Biogeography, 2004, 13(6): 485-495.
- [10] 蒋辉, 罗国云. 可持续发展视角下资源环境承载力: 内涵、特点与功能. 资源开发与市场, 2011, 27(3): 253-256. [JIANG H, LUO G Y. Research of resource environmental bearing capacity based on sustainable development: Content, characteristics and functions. Resource Development & Market, 2011, 27(3): 253-256.]
- [11] 封志明, 李鹏. 承载力概念的源起与发展: 基于资源环境视角的讨论. 自然资源学报, 2018, 33(9): 1475-1489. [FENG Z M, LI P. The genesis and evolution of the concept of carrying capacity: A view of natural resources and environment. Journal of Natural Resources, 2018, 33(9): 1475-1489.]
- [12] 刘文政, 朱瑾. 资源环境承载力研究进展: 基于地理学综合研究的视角. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(6): 75-86. [LIU W Z, ZHU J. Research progress of resources and environmental carrying capacity: From the perspective of the comprehensive study of geography. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(6): 75-86.]
- [13] 董文, 张新, 池天河. 我国省级主体功能区划的资源环境承载力指标体系与评价方法. 地球信息科学学报, 2011, 13(2): 177-183. [DONG W, ZHANG X, CHI T H. Index system and evaluation methods of resources and environment carrying capacity in principal function area division at provincial level. Journal of Geo-Information Science, 2011, 13(2): 177-183.]
- [14] 许明军, 杨子生. 西南山区资源环境承载力评价及协调发展分析: 以云南省德宏州为例. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1726-1738. [XU M J, YANG Z S. The evaluation and analysis of coordinated development on resources and environment carrying capacity in southwestern mountainous area of China: A case in Dehong Dai-Jingpo Autonomous Pre-

- lecture, Yunnan province. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(10): 1726-1738.]
- [15] 陈晓雨婧, 吴燕红, 夏建新. 甘肃省资源环境承载力监测预警. *自然资源学报*, 2019, 34(11): 2378-2388. [CHEN X Y, WU Y H, XIA J X. Dynamic monitoring and early warning of resources and environment carrying capacity in Gansu, China. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(11): 2378-2388.]
- [16] 秦成, 王红旗, 田雅楠, 等. 资源环境承载力评价指标研究. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(12): 335-338. [QIN C, WANG H Q, TIAN Y N, et al. Study on evaluation indexes of resources and environmental carrying capability. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(12): 335-338.]
- [17] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权TOPSIS模型的区域资源环境承载力评价实证研究. *环境科学学报*, 2016, 36(1): 314-323. [LEI X P, QIU G H. Empirical study about the carrying capacity evaluation of regional resources and environment based on entropy-weight TOPSIS model. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(1): 314-323.]
- [18] 杨亮洁, 杨永春. 甘肃省资源环境承载力时空分异. *生态学报*, 2017, 37(20): 7000-7017. [YANG L J, YANG Y C. The spatiotemporal variation in resource environmental carrying capacity in the Gansu province of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(20): 7000-7017.]
- [19] 刘金花, 郑璐, 董光龙, 等. 平原地区资源环境承载力评价与短板要素分析: 以山东省平原县为例. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(2): 79-88. [LIU J H, ZHENG L, DONG G L, et al. The evaluation and analysis of restrictive factors on resources and environment carrying capacity in plain area: A case of Pingyuan county. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(2): 79-88.]
- [20] 张燕, 徐建华, 曾刚, 等. 中国区域发展潜力与资源环境承载力的空间关系分析. *资源科学*, 2009, 31(8): 1328-1334. [ZHANG Y, XU J H, ZENG G, et al. The spatial relationship between regional development potential and resource & environment carrying capacity. *Resources Science*, 2009, 31(8): 1328-1334.]
- [21] 段佩利, 刘曙光, 尹鹏, 等. 中国沿海城市开发强度与资源环境承载力时空耦合协调关系. *经济地理*, 2018, 38(5): 60-67. [DUAN P L, LIU S G, YIN P, et al. Spatial-temporal coupling coordination relationship between development strength and resource environmental bearing capacity of coastal cities in China. *Economic Geography*, 2018, 38(5): 60-67.]
- [22] 于广华, 孙才志. 环渤海沿海地区土地承载力时空分异特征. *生态学报*, 2015, 35(14): 4860-4870. [YU G H, SUN C Z. Land carrying capacity spatiotemporal differentiation in the Bohai Sea Coastal Areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(14): 4860-4870.]
- [23] 吴大放, 胡悦, 刘艳艳, 等. 城市开发强度与资源环境承载力协调分析: 以珠三角为例. *自然资源学报*, 2020, 35(1): 82-94. [WU D F, HU Y, LIU Y Y, et al. Empirical study on the coupling coordination between development intensity and resources-and-environment carrying capacity of core cities in Pearl River Delta. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(1): 82-94.]
- [24] 郭珂, 王立群. 京津冀地区资源环境承载力动态变化及其驱动因子. *应用生态学报*, 2015, 26(12): 3818-3826. [GUO K, WANG L Q. Change of resource environmental bearing capacity of Beijing-Tianjin-Hebei region and its driving factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(12): 3818-3826.]
- [25] 周侃, 樊杰. 中国欠发达地区资源环境承载力特征与影响因素: 以宁夏西海固地区和云南怒江州为例. *地理研究*, 2015, 34(1): 39-52. [ZHOU K, FAN J. Characteristics and influence factors of resources and environment carrying capacity in underdeveloped areas of China. *Geographical Research*, 2015, 34(1): 39-52.]
- [26] 彭建, 吴健生, 潘雅婧, 等. 基于PSR模型的区域生态持续性评价概念框架. *地理科学进展*, 2012, 31(7): 933-940. [PENG J, WU J S, PAN Y J, et al. Evaluation for regional ecological sustainability based on PSR model: Conceptual framework. *Progress in Geography*, 2012, 31(7): 933-940.]
- [27] 王奎峰, 李娜, 于学峰, 等. 基于P-S-R概念模型的生态环境承载力评价指标体系研究: 以山东半岛为例. *环境科学学报*, 2014, 34(8): 2133-2139. [WANG K F, LI N, YU X F, et al. Eco-environmental carrying capacity evaluation index system based on the concept of P-S-R model: A case study in Shandong Peninsula. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, 34(8): 2133-2139.]
- [28] 皮庆, 王小林, 成金华, 等. 基于PSR模型的环境承载力评价指标体系与应用研究: 以武汉城市圈为例. *科技管理研究*, 2016, 36(6): 238-244. [PI Q, WANG X L, CHENG J H, et al. Environment carrying capacity evaluation system and applied research based on PSR model: A case study of Wuhan Metropolitan Area. *Science and Technology Management*

Research, 2016, 36(6): 238-244.]

- [29] 狄乾斌, 顾宸. 中国县级海岛综合承载水平测度及时空差异分析. 地域研究与开发, 2019, 38(3): 6-11, 17. [DI Q B, GU C. Measurement and spatial-temporal differences of comprehensive carrying capacity level at county islands in China. Areal Research and Development, 2019, 38(3): 6-11, 17.]
- [30] 黄天能, 李江风, 许进龙, 等. 资源枯竭城市转型发展绩效评价及障碍因子诊断: 以湖北大冶为例. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1417-1428. [HUANG T N, LI J F, XU J L, et al. The rational assessment of developing transformation and obstacle diagnosis for resources exhausted cities: A case study of Daye, Hubei. Journal of Natural Resources, 2019, 34 (7): 1417-1428.]

Comprehensive evaluation of resources and environment carrying capacity in restricted development zone of Jilin province

SUN Yong-sheng^{1,2}, TONG Lian-jun^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130102, China; 2. Institute of Resources and Environment, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the PSR model, the entropy weight TOPSIS model and the obstacle degree model, taking the restricted development zone of Jilin province as the research area, this paper analyzes the spatial-temporal pattern characteristics and the influencing factors of resources and environment carrying capacity in this province from 2008 to 2016. The results indicate that: (1) During the study period, resources and environment carrying capacity in restricted development zone of Jilin showed a gradual downward trend, and the resources and environment carrying capacity was not high. On the contrary, the variation coefficient of resources and environment carrying capacity in the study area continued to increase, and the difference of resources and environment carrying capacity of each county (city, district) gradually expanded. (2) The spatial differentiation of resources and environment carrying capacity in the restricted development zone is generally widening from west to east. In addition, the pressure index is high in the middle and low in the east and west, and the state index is low in the middle and high on both sides, and the response index east-west spatial differentiation is remarkable, and the difference in the east part is obviously higher than that of the central and western parts. (3) The per capita net income of rural residents, per capita food production, population density, removal rate of COD in industrial wastewater, forest coverage and urbanization rate are the key influencing factors that hinder the improvement of resources and environment carrying capacity in the study area.

Keywords: resources and environment carrying capacity; spatial-temporal pattern; restricted development zone; Jilin province