

DOI: 10.5846/stxb201903120470

胡书玲, 余斌, 卓蓉蓉, 张向敏, 王明杰. 中国陆域地表人类活动与自然环境的空间关系研究. 生态学报, 2020, 40(12): 3935-3943.

Hu S L, Yu B, Zhuo R R, Zhang X M, Wang M J. The spatial relationship between human activities and natural environment in the continent of China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(12): 3935-3943.

中国陆域地表人类活动与自然环境的空间关系研究

胡书玲^{1,2}, 余 斌^{1,3,*}, 卓蓉蓉¹, 张向敏¹, 王明杰¹

1 华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 武汉 430079

2 贵州大学旅游与文化产业学院, 贵阳 550025

3 华中师范大学武汉城市圈研究院, 武汉 430079

摘要:在人类活动主导人地矛盾的当代背景下,从空间关联角度测度人类活动与自然环境相互作用是推动区域可持续发展的基本前提。以 2015 年数据为基础,通过选取特征变量构建综合测度指标体系,利用小波多尺度分析、双变量局域空间自相关、人地系统耦合协调度模型等方法多层次刻画中国陆域地表人类活动与自然环境的空间相关关系、空间匹配关系、空间耦合关系。研究表明:①人类活动与自然地理基础的空间相关关系随着地域尺度增大而趋于增强,说明自然环境条件对人类活动格局的基础性作用;②人类活动与自然资源支撑的空间匹配关系呈现非均衡性特征,华北地区人类活动规模与自然资源支撑空间错位显著、区域可持续发展面临严峻挑战;③人类活动与自然环境承载的空间耦合协调度从东南向西北递减,调整人类活动的结构与方式是化解区域人地矛盾的理性选择。

关键词:人类活动;自然环境;空间相关关系;空间匹配关系;空间耦合关系

The spatial relationship between human activities and natural environment in the continent of China

HU Shuling^{1,2}, YU Bin^{1,3,*}, ZHUO Rongrong¹, ZHANG Xiangmin¹, WANG Mingjie¹

1 Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation of Hubei Province & Central China Normal University, Wuhan 430079, China

2 College of Tourism and Culture Industry, Guizhou University, Guiyang 550025, China

3 Academy of Wuhan Metropolitan Area & Central China Normal University, Wuhan 430079, China

Abstract: In the context of human activities have become the primary factor in the contradiction between human and land, examining the interaction between human activities and natural environment from spatial correlation perspective is an essential premise for promoting regional sustainable development. Using data in 2015, this paper has constructed a comprehensive evaluation index system composed of natural environment and human activities. We have employed wavelet multiscale analysis, bivariate local spatial autocorrelation analysis, and man-land system coupling harmonious degree model to explore spatial correlation, spatial matching, and spatial coupling relationships between human and land in the continent of China. The results are as follow: (1) The higher the scale of territory, the stronger the spatial correlation between human activities scale and natural geographic foundation is, which indicates the natural environment impacts on human activities at a fundamental level. (2) The spatial matching between human activities scale and the natural resource support shows an unbalanced characteristic. In particular, the north China has being confronted with severe challenges of regional sustainable development, which results from the significant mismatch relationship between human activities scale and the natural resource support. (3) The spatial coupling harmonious degree of the relationship between human activities effect and natural

基金项目:国家自然科学基金项目(41671179)

收稿日期:2019-03-12; 网络出版日期:2020-04-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yupeize@126.com

environment carrying capacity decreases from the southeast to the northwest in China. It is a rational choice to defuse the regional contradiction between human and land by adjusting the structure of and the way in which human carry out activities.

Key Words: human activities; natural environment; spatial correlation; spatial matching; spatial coupling

当代中国面临可持续发展的严峻挑战,协调人地关系是综合解决区域可持续发展问题的根本途径^[1-2]。人地关系涉及人类活动对地理环境的作用和环境变化对人类活动的影响两个方面^[3-5]。进入 21 世纪以来,人类改造自然界的力度和规模不断增强,人类活动与自然环境的关系是否协调抑或矛盾,不再决定于地而决定于人^[2]。中国近 40 年高速度发展和高强度开发,引发了“人”与“地”之间的频繁冲突,二者之间物质循环和能量转换的广度和深度已经超越了以往的任何时期,人类活动作用与自然环境承载失衡日益凸显,人地关系进入全面紧张期。缓解乃至遏制人地关系日趋紧张的趋势,保障人地和谐与推动可持续发展成为人们认识和实践人地关系的必然选择^[3-4]。

然而,在保障人地和谐发展的资源环境基础被撼动以及人地关系愈发纷繁复杂的背景下,综合认知和科学评价中国陆域地表人地关系依然面临着理论和方法上的诸多挑战。长期以来,人类对自然环境的过度“蹂躏”及其累积效应充分暴露,调控人类活动结构与方式、创新发展模式、增加资源环境承载能力是协调人地关系的根本思想和实践根基^[3-4],定量测度人类活动与自然环境的空间关系是揭示人地关系特征、阐释作用机理的理论基础。据此,本文以 2015 年数据为基础,选择特征变量构建人类活动与自然环境相互作用的指标体系,探寻人地核心要素之间的作用机理,旨在为调控人类生产生活方式、将“人”“地”要素的作用模式纠正到可持续演进的路径上来提供决策依据^[5-6],并为认知和评价中国陆域地表人地关系提供借鉴和参考。

1 研究思路与方法

1.1 研究思路

人地关系中的人类活动和地理环境是一对矛盾的统一体(图 1)。人类需求的满足通过人类活动而获得,人类活动作用于地理环境而改变环境状态,环境供给的实现通过环境变化而完成,人类活动与环境变化构成人地关系的直接表现形式^[7-8]。人类活动对自然环境的作用取决于三个方面:人类活动规模、结构和方式,人类社会通过活动规模(内容)直接与自然环境发生相互作用,通过活动结构、方式选择放大或缩小其对自然环境的作用力,实际形成的作用力是活动规模、结构、方式匹配作用的结果。随着人类活动主体与自然环境之间融合程度不断加深,“纯”自然环境经人类利用后演变为自然资源,最终演化为综合性环境,自然、资源、环境呈现依次递进的关系。自然环境变化是人类活动作用结果,环境变化过程中形成的环境承载反过来制约人类活动结构、方式,自然环境承载是调控人类活动结构与方式的依据。人地关系在人类活动与环境变化的对立统一运动中不断变化发展。

由于地理空间的空间属性和环境承载力的有限特性,人类社会的经济理性驱动着人类活动的空间展布,客观上形成了人地关系的地域分异。定量刻画人类活

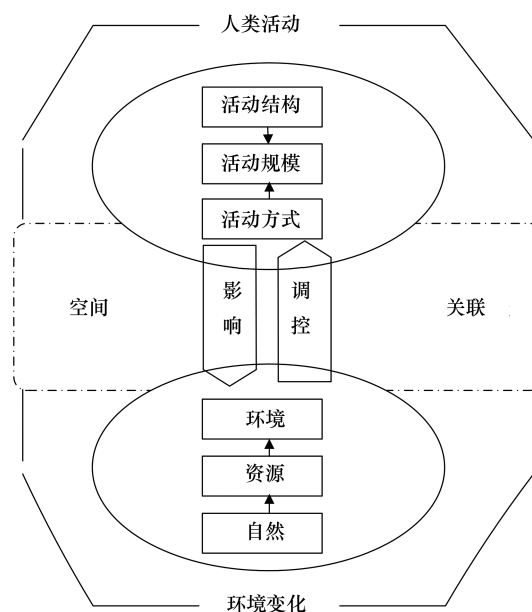


图 1 人类活动与自然环境空间关联研究框架

Fig. 1 Research framework of the correlation between human activities and natural environment

动与自然环境的空间关系是揭示人地关系的空间格局与影响机理的必要途径,是通向理解和协调人地关系的桥梁。因此,本文采用人类活动规模、结构、方式表征人类活动,采用自然地理基础、自然资源支撑、自然环境承载多层次表征自然环境从自然-资源-环境的演变过程。以人类活动与自然环境空间关系的数理表达阐释人地系统核心要素之间的作用机理。

1.2 研究方法

1.2.1 综合指标体系构建

在借鉴已有研究成果的基础上,基于人地关系地域系统理论,按照科学性、可获得性、层次性、可比性等原则选取评价指标,构建综合指标评价体系(表 1)。各具体指标选取和数据处理过程分述如下:

表 1 中国陆域地表人类活动及自然环境定量指标体系

Table 1 Evaluation index system of human activities and natural environment in the continent of China

目标层 Target layer	准则层 Criteria layer	标准层 Standard layer	单位 Unit
自然地理基础 Natural geographic foundation		平均海拔	m
		年均降水	mm
		年均气温	℃
自然环境承载 Natural environment carrying capacity	土地资源	适宜利用土地	km ²
	水资源	水资源总量	m ³
	环境资源	空气质量指数	
	生态资源	生态用地	km ²
人类活动作用 Human activities effect	活动规模	相对人口密度	
		相对经济密度	
		城镇人口占比	
	活动结构	三产占比	
		创新指数	
		绿色指数	
		开放指数	

自然环境指标:根据人类活动与自然环境相互作用的程度与逻辑关系,自然地理基础决定自然资源以何种方式和数量来支撑人类活动,人类活动与自然资源的相互作用过程中逐渐形成自然环境承载,因此,将自然环境采取多层次表征方式,分为自然地理基础-自然资源支撑-自然环境承载 3 个层次。选取 2015 年全国市级行政区的平均海拔、年均降水、年均气温表征自然地理基础;自然资源具有很强的短板效应,即决定区域整体资源荷载能力的大小可以是某个制约发展的关键要素,而“水”、“土”正是这样的关键要素,根据“短板原理”选取适宜利用土地和水资源总量表征自然资源支撑。适宜利用土地的计算主要参考《GB/T 21010-2007 土地利用现状分类标准》、TD/T 1014-2007《第二次全国土地调查技术规程》、《2002 中国土地分类系统(试行)》等相关标准,主要包括耕地、园地、林地、牧草地、城镇村及工矿用地、交通运输用地、水域及水利设施用地、其他土地(设施农用地、田坎)^[9],数据来源于自然资源部土地调查成果共享应用服务平台。

自然环境承载力具有很强的集成效应,采用自然资源组合表征自然环境承载^[10-11],主要包括可利用土地资源(适宜利用土地)、可利用水资源(水资源总量)、可利用环境资源(空气质量指数 AQI, Air Quality Index)和可利用生态资源(生态用地),前两者为支撑性资源,后两者为限制性资源。可利用环境资源采用 AQI 在 100 以下的天数占比表征,可利用生态资源根据龙花楼等界定的生态用地涵义作为测算的依据^[12]。

人类活动指标:根据已有研究基础^[13-16],在指标选取上,力求能精简和核心表征人类活动;在计算方法上,由于人类活动为一个非线性系统,人类活动作用指数由人类活动规模、人类活动结构与人类活动方式的乘积得出。其中权重采取层次分析法与专家赋值法相结合,取 a、c 为 0.4, b、d 为 0.6, f 为 0.5, e、g 为 0.25。

人类活动规模:选取人口密度和经济密度分别反映人口集聚特征及经济效率,人类活动规模 = a × (地区人

口密度/全国人口密度)+b×(地区经济密度/全国经济密度)。

人类活动结构:选取城镇人口占比和三产占比表征人类活动结构,人类活动结构= $c \times [1 - (\text{地区城镇人口占比} / \text{全国城镇人口占比})] + d \times [1 - (\text{地区三产占比} / \text{全国三产占比})]$ 。

人类活动方式:选取创新指数、绿色指数、开放指数表征人类活动方式^[17-19],其中创新指数为全员劳动生产率、R&D经费占比、高新技术产业增加值占比加权求和,绿色指数为人均能耗、人均污水处理量(排放量×处理率)、人均垃圾处理量(人均垃圾排放量×处理率)加权求和,开放指数为货物进出口总额、实际利用外资、国际旅游外汇收入加权求和,人类活动方式= $e \times (1 - \text{创新指数}) + f \times (1 - \text{绿色指数}) + g \times (1 - \text{开放指数})$ 。

1.2.2 小波分析

小波分析是一种新兴的多尺度分析方法,它能够有效地分析和处理多尺度、多层次、多分辨率的问题,近年来被较多地应用于地学和生态学等领域。小波分析的核心是小波变换,小波变换是将母小波函数 $\psi(t)$ 作位移 τ 后,再在不同尺度 a 下与待分析函数 $f(t)$ 作内积,形如^[20]:

$$C(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi \left[\frac{t - \tau}{a} \right] dt \quad a > 0 \quad (1)$$

式中, a 为尺度因子, τ 为平移因子, C 为小波系数。经过基本小波与待分析函数作内积之后,可分解得到不同尺度下的近似系数和细节系数(尺度必须为 2^n)。把小波变换应用到空间分布信号检测也是可行的,即通过简单的变换,将时间域变量 t 替换为空间变量 x ^[21]。

小波变换将数据分解为低频信息和高频信息。低频信息是数据变量的近似,是全局变换态势;高频信息是数据变量的细节,反映了数据在特定时空位置上的细节。随着分析尺度增大,细节信息会被逐渐过滤,逐渐得到研究区域的全貌信息。为了从多分辨率视角认识高程、降水、气温与人类活动的多尺度相关关系,在参考相关文献的基础上,选择 db7 为小波函数,进行 7 级分解,采用 Matlab 编写代码提取低频信息(近似系数)和低频信息(细节系数)进行相关分析,其相关系数的公式如下^[22-23]:

$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

式中, r 为 Person 相关系数, X 为变量 1, $\bar{X}$ 为变量 1 的均值, Y 为变量 2, $\bar{Y}$ 为变量 2 的均值。在 Matlab 中编写代码提取人类活动规模、平均海拔、年均降水、年均气温的细节系数和近似系数,测算平均海拔、年均降水、年均气温与人类活动规模的相关系数。

1.2.3 双变量局域空间自相关

双变量局域空间自相关分析可用来探讨空间单元的同一指标在不同时期的空间格局变动或空间单元的指标 A 与相邻空间单元指标 B 的空间匹配模式。本文采用双变量局域空间自相关分析方法刻画人类活动规模与自然资源支撑空间匹配关系,结合 LISA 集聚图,将局部差异的空间格局可视化。对于某个空间单元 i ,有^[24]:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{j=1, j \neq i}^n x_j^2 / (n-1) - \bar{x}^2} \quad (3)$$

式中, I_i 为局部空间自相关指数, n 为参与分析的空间单元数; x_i 、 x_j 分别为人类活动规模与自然资源支撑在空间单元 i 和 j 上的观测值, ω_{ij} 为研究对象 i 和 j 之间的空间邻接矩阵, $\bar{x}$ 为观测值均值。运用 ArcGIS 和 Geoda 软件对 2015 年人类活动规模与自然资源支撑数据进行双变量局域空间自相关分析,得到双变量 LISA 集聚图^[24-26],根据集聚图识别人类活动强度与支撑性资源等级的空间匹配关系。

1.2.4 人地系统耦合协调度模型

人地关系耦合协调是指人类活动与自然环境两大子系统通过人类经济社会活动与资源、生态、环境之间

的相互作用与复杂的反馈机制而形成彼此影响的动态关联关系。通过耦合协调度模型揭示人地系统中各要素之间的多重互馈过程和胁迫约束机制,从而达到对人地系统进行优化调控的目的。耦合度模型为:

$$c_n = \left\{ (u_1 \times u_2 \times \cdots u_n) / \left[\prod (u_i + u_j) \right] \right\}^{1/n}, n = 1, 2, 3 \cdots i, j = 1, 2, i \neq j \quad (4)$$

式中, C_n 为耦合度; u 代表子系统对总系统的有序贡献。

耦合协调度模型为^[27-28]:

$$D = (C \times T)^{1/2}, T = a \times U_1 + b \times U_2 \quad (5)$$

式中, D 为耦合协调度, C 为耦合度; T 为子系统综合评价指标; U_i 为子系统的函数, a 、 b 为待定参数。本文中 U_1 为人类活动作用指数, U_2 为自然环境承载指数, a 、 b 均取 0.5。 D 值越高表明人类活动与自然环境的质量空间关系越密切。

1.3 数据来源

本文以市域为基本空间单元(尚未统计中国台湾、中国香港和中国澳门特别行政区)、基于 2015 年数据开展研究。为了保持研究单元空间连续性,将 4 个直辖市及少数省直辖县级行政区(河南省济源市、湖北省潜江、天门市、仙桃市和神农架林区等)也作为研究单元纳入分析研究范畴。另外,海南省除了海口市、三亚市、儋州市外,其余属于省直辖的县、县级市统一合并为一个空间单元,由此得到 343 个空间单元作为研究对象。研究中资源环境数据来源于自然资源部、生态环境部及各地级市水资源统计公报;社会经济数据主要来源于各省统计年鉴、《中国区域统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》;市级行政边界等相关空间数据以及平均海拔、年均降水、年均气温等数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心,基础地理信息数据来源于国家基础地理信息中心提供的 1:400 万全国矢量地图。

2 人类活动与自然环境空间关系

随着可持续发展成为当代中国的科学命题和基本任务,重视人类活动与自然环境的相互影响、响应适应研究,重视学科交叉综合解决可持续发展问题等越来越成为共识^[5]。研究人地关系是综合解决区域可持续发展问题的重要途径之一。人地关系必须通过与此有关的多变量识别指标来体现,建立系统的变量识别指标可以从地(自然环境)与人(人类活动)两个方面来建立,自然环境方面的指标包括自然地理基础、自然资源支撑、自然环境承载,多层次体现人类活动与自然环境相互作用的程度与逻辑关系;人类活动方面包括人类活动规模以及人类活动作用两个层次;由于人类活动结构与人类活动方式是对人类活动作用强度起到放大或缩小的作用,因此在第一层次和第二层次的空间关系探讨中选择人类活动规模更能揭示空间关系的本质^[29-30]。根据上述研究思路,本文主要揭示人类活动规模与自然地理基础、人类活动规模与自然资源支撑(水、土支撑性资源)、人类活动作用与自然环境承载三个依次递进的空间关系。

2.1 人类活动规模与自然地理基础空间相关关系

从平均海拔与人类活动规模、年均降水与人类活动规模、年均气温与人类活动规模小波变换后的低频系数的相关系数来看(表 2),随着分析尺度的增加,三者与人类活动规模的相关系数绝对值趋于增大,说明三者趋向在宏观尺度上制约人类活动的空间展布。这与 Krugman 的第一地理本性理论是一致的,即人类活动的第一地理本性(自然禀赋特别是高程、降水、气温)对人类活动作用基本格局具有锁定作用^[31],尺度越大,高程、降水、气温对人类活动格局锁定作用越大,即其相关性会愈发显著。通过表 2 的分析结果可知,高程是在第三个尺度以后锁定作用开始显现,且锁定作用越来越大,而降水、气温是在第四个尺度以后锁定作用开始凸显;Krugman 在定性上给出了高程、降水、气温与人类活动的锁定关系,而小波多尺度相关分析在定量上给出了锁定的作用尺度,即在某个尺度转换后其相关性会越来越显著。

从三者与人类活动规模高频系数的相关系数来看(表 3),随着分析尺度的增大,三者与人类活动规模相关性相对不显著;整体上近似系数的相关系数比细节系数的相关系数绝对值大,且增速更快,说明在小范围内,三者与人类活动规模相关性不显著。

比较平均海拔、年均降水、年均气温与人类活动规模的相关系数,平均海拔与人类活动规模的相关系数>年均气温与人类活动规模相关系数>年均降水与人类活动规模相关系数。为了增加对比性,测算得出单尺度平均海拔、年均降水、年均气温与人类活动规模的相关系数分别为-0.76、0.51、0.53。单尺度相关分析结果与小波多尺度相关分析揭示的大致趋势基本一致,但没有多尺度特性。

表 2 基于小波低频系数的高程、降水、气温与人类活动规模多尺度相关分析结果

Table 2 Results of multiscale correlation analysis between elevation, precipitation, temperature, and human activities scale based on wavelet approximation coefficients

近似系数 Approximation coefficients	尺度 Scale	高程 Elevation	降水 Precipitation	气温 Temperature
a ₁	1	-0.142	0.007	0.0469
a ₂	2	-0.3635	0.0873	0.1129
a ₃	4	-0.7918	0.2846	0.3573
a ₄	8	-0.7965	0.5325	0.6318
a ₅	16	-0.8968	0.6893	0.7624
a ₆	32	-0.9688	0.8327	0.8463
a ₇	64	-0.992	0.9644	0.9364

表 3 基于小波高频系数的高程、降水、气温与人类活动规模多尺度相关分析结果

Table 3 Results of multiscale correlation analysis between elevation, precipitation, temperature, and human activities scale based on wavelet detail coefficients

细节系数 Detail coefficients	尺度 Scale	高程 Elevation	降水 Precipitation	气温 Temperature
d ₁	1	-0.0449	0.117	0.0813
d ₂	2	-0.0875	0.0411	0.1117
d ₃	4	-0.0089	-0.0695	0.0699
d ₄	8	-0.6488	-0.1609	-0.1815
d ₅	16	-0.2508	-0.5076	-0.6148
d ₆	32	-0.4701	0.1047	-0.4125
d ₇	64	-0.699	0.2013	0.3808

2.2 人类活动规模与自然资源支撑空间匹配关系

空间相关关系在一定程度上反映了人类活动规模与自然地理基础空间关系的密切程度,但尚难反映在自然地理基础上形成的不同等级自然资源和人类活动规模的空间关系。随着人地关系进入全面紧张期,研究高等级资源与低强度人类活动规模或者逐渐趋向低等级的资源与高强度的人类活动规模的空间匹配是缓解人地关系紧张状态的关键。人类活动规模与自然资源支撑的双变量局域空间自相关分析可以揭示人类活动规模与自然资源数量、等级的空间匹配关系。

根据人类活动规模与自然资源支撑的局域空间自相关结果(图 2)可知:①人类活动规模强度强而周边自然资源支撑等级高的区域较少,主要分布在东南沿海,中部湖南长沙、西南部以成都为中心的城市群。此类区域应该以优化人地关系为主要目的,适当调节人类活动结构与方式,保障资源环境基础。②人类活动规模强度低且周边自然资源支撑等级低,主要位于西部、东北部、中部的山西。③人类活动规模高而周边自然资源支撑等级低于华北地区集聚,以辽东半岛为中心、从河北的唐山到河南的许昌经安徽和江苏北部,集聚了多达 52 个人类活动规模与支撑性自然资源空间错位显著的空间单元。表明在这一空间单元集群中人类活动规模已经远远超过资源环境的荷载,进入高度预警状态。华北地区应该成为可持续发展重点关注区域,需要大力调节人类活动结构与方式,遏制日益紧张的人地关系。④人类活动规模强度较低而周边自然资源支撑等级高主要分布于东南地区(除了沿海一带)以及中部的湖南、江西、安徽,这类地区尚有一定发展空间。

根据自然资源支撑与人类活动规模的局域空间自相关结果(图3)可知:自然资源支撑等级高而周边人类活动规模强度低占比较少,主要分布在广西南部与湖南西南部,在湖北、西藏、云南呈点状分布;自然资源支撑等级低且周边人类活动规模强度低的空间单元以及人类活动规模强度低且周边自然资源支撑等级低重合率较高,在内蒙古、山西、广西、云南等地出现分异;自然资源支撑等级低而周边人类活动规模高与人类活动规模强度高而周边自然资源支撑等级低重合率也较高,进一步说明华北地区可持续发展面临严峻挑战。

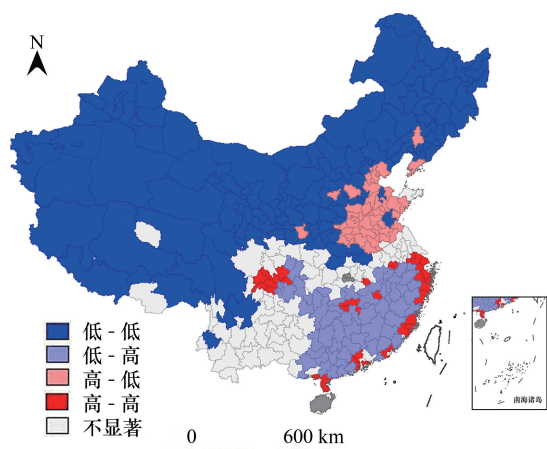


图2 人类活动规模与自然资源支撑双变量局域空间自相关分析结果

Fig.2 Results of bivariate local spatial autocorrelation analysis for the relationship between human activities scale and natural resource support

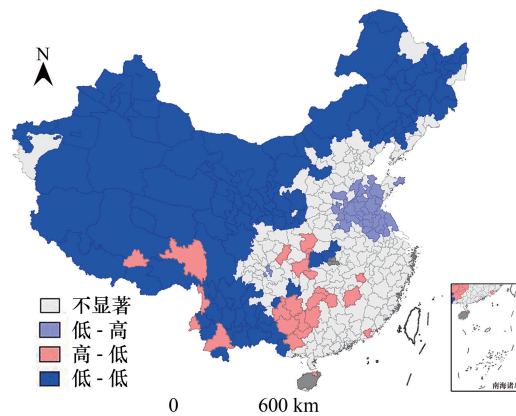


图3 自然资源支撑与人类活动规模双变量局域空间自相关分析结果

Fig.3 Results of bivariate local spatial autocorrelation analysis for the relationship between natural resource support and human activities scale

2.3 人类活动作用与自然环境承载空间耦合关系

引入人地系统耦合协调模型测度人类活动作用与自然环境承载空间耦合关系,一方面避免了自然环境与人类活动整体质量水平均较低,但两者协调性偏高的现象;另一方面从考察单要素之间的空间关系上升到刻画人地系统耦合关系,强调在组织上和空间上的多维度耦合,体现了更高的综合性、复杂性与非线性特征。

运用 ArcGIS 自然断点法将耦合协调度分为五个等级来揭示人类活动作用与自然环境承载的空间耦合关系,五个等级分别为人地系统空间耦合关系协调、较协调、中等协调、中度失调、失调。从图4的分析结果可知:①人类活动与自然环境承载耦合协调度呈现从东南向西北逐渐递减的空间格局,空间耦合关系的密切程度从东南到西北逐渐降低;人地系统空间耦合失调地区集聚于胡焕庸线西侧,人地系统耦合协调、较协调、中度协调、中度失调位于胡焕庸线东侧,并与之呈平行分布。

②人地系统耦合关系失调占空间单元总数的22.75%,于胡焕庸线西侧集聚;人地系统耦合关系中度失调占比22.73%,主要分布在东北、华北、中部的山西以及四川西南和云南的西部;人地系统耦合关系中度协调占比24.2%,于除山西以外的中部地区、西南地区集聚;人地系统耦合关系较协调占比22.16%,主要位于东南部

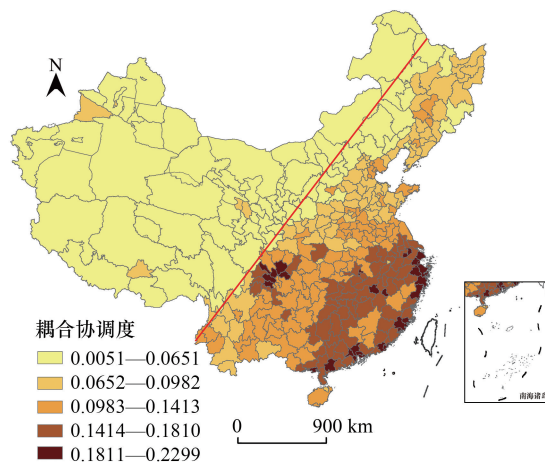


图4 人类活动作用与自然环境承载空间耦合关系分析

Fig.4 Spatial coupling coordination degree between human activities effect and natural environment carrying capacity in the continent of China

(除沿海城市以外)以及广西东部、湖南南部、江西中部的连片地带;人地系统耦合关系协调占比 8.16%,主要分布于东南地区沿海一带和四川的东北部。③人地系统耦合关系的协调、中度失调的格局与对应的人类活动规模与自然资源支撑的高-高匹配以及高-低匹配关系基本一致,说明在人地耦合系统中人类活动规模与自然资源支撑两大要素仍占主导地位,人类活动结构与方式的调节作用在现阶段尚不明显,人地关系进入“以质为主”的人地矛盾期,调整人类活动结构与方式应是保障资源环境基础、促进人地系统持续和谐演进的主要措施。

3 结论与讨论

3.1 结论

在当代中国“以人为主动因子”的人地关系中,刻画人地相互作用的人类活动与自然环境的空间关系是缓解人地关系紧张状态、协调人地矛盾的主要途径。基于人地关系地域系统理论,选取特征变量构建综合指标体系。在此基础上,运用小波多尺度分析、双变量局域空间自相关、人地系统耦合协调度模型等方法多层次测度人类活动规模与自然地理基础、人类活动规模与自然资源支撑、人类活动作用与自然环境承载的空间关系,主要结论如下:

(1)随着尺度的增大,平均海拔、年均降水、年均气温与人类活动规模的相关性趋于增强。表明以平均海拔、年均降水、年均气温为表征的自然地理基础与人类活动规模有着密切的空间相关关系,也与人类活动的第一地理本性(自然禀赋特别是高程、降水、气温)对人类活动作用基本格局具有锁定作用的理论内涵相契合。

(2)人类活动与支撑性自然资源空间匹配关系呈现非均衡特征,华北地区二者空间错位显著。中国人地关系进入全面紧张期后,华北地区人类活动规模远远超过资源环境荷载,应成为可持续发展重点关注区域;东南部及中部地区呈现良好的空间匹配关系,尚有一定的发展空间。

(3)人类活动作用与自然环境承载的空间耦合协调度从东南向西北逐渐递减。人地系统耦合失调主要于胡焕庸线西侧集聚,人地系统耦合协调、较协调、中度协调、中度失调与胡焕庸线呈平行分布;人地系统耦合协调度的空间格局表明纠偏人地关系演进路径的关键是调整人类活动的结构与方式。

3.2 讨论

(1)中国陆域地表人类活动与自然环境可以有不同表征方式。关于选取特征变量构建人类活动与自然环境综合指标体系,因学科领域和研究目标导向的不同,有不同的表征方式和测度方法。前文所述在人类活动规模的基础上引入人类活动结构与方式,强调了近年来以“以量为主”的第一代人地矛盾进入“以质为主”第二代人地矛盾期的时代特征^[3]。自然环境表征以“自然地理基础-自然资源支撑-自然环境承载”为逻辑主线,采用多层次表征方式,有助于抓住人地系统主要矛盾的主要方面。

(2)可以采用不同方法测算人类活动规模与自然资源基础的相关系数。不同的研究目标有不同的相关系数研究方法和应用软件。小波分析通过对信号整体特性的提取能够识别三者与人类活动规模相关性的多尺度特征,一般在小尺度范围内是无规则的,在一定范围内会出现周期性分布^[32-34],亦与第一地理本性理论内涵相契合。研究表明平均海拔、年均降水、年均气温与人类活动规模符合多尺度相关关系,并与指数函数拟合关系结果一致^[9],表明上述人类活动和自然环境的表征方式和测度方法是可行和有效的。

(3)有待进一步探讨的问题。研究中仅以 2015 年数据为基础测度人类活动与自然环境的空间关系,下一步可以进行具有时间跨度(10 年或以上)的人类活动与自然环境相互作用研究,精准揭示二者相互作用的时空演变规律;对于特定区域,科学界定人类活动结构与方式以及适宜的自然环境承载评价方法也是未来需要进一步研究的问题^[35],以期为特定区域发展提出及时的预警以及提供科学的应对措施。

参考文献(References):

- [1] 吴传钧. 论地理学的研究核心——人地关系地域系统. 经济地理, 1991, 11(3): 1-6.
- [2] 陆大道. 关于地理学的“人-地系统”理论研究. 地理研究, 2002, 21(2): 135-145.

- [3] 刘毅. 论中国人地关系演进的新时代特征——“中国人地关系研究”专辑序言. 地理研究, 2018, 37(8): 1477-1484.
- [4] 郑度. 21 世纪人地关系研究前瞻. 地理研究, 2002, 21(1): 9-13.
- [5] 樊杰. 人地系统可持续过程、格局的前沿探索. 地理学报, 2014, 69(8): 1060-1068.
- [6] 樊杰. “人地关系地域系统”是综合研究地理格局形成与演变规律的理论基石. 地理学报, 2018, 73(4): 597-607.
- [7] 朱鹤健. 地理学思维与实践. 北京: 科学出版社, 2018: 12-15.
- [8] 余斌, 罗静, 曾菊新. 当代中国村镇空间变化与管治. 北京: 科学出版社, 2016: 84-93.
- [9] 徐勇, 汤青, 樊杰, 刘若梅, 周艺. 主体功能区划可利用土地资源指标项及其算法. 地理研究, 2010, 29(7): 1223-1232.
- [10] 张雷, 杨波. 中国资源环境基础的空间结构特征分析. 地理研究, 2018, 37(8): 1485-1494.
- [11] 刁贝娣, 丁镭, 苏攀达, 成金华. 中国省域 $PM_{2.5}$ 浓度行业驱动因素的时空异质性研究. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(9): 52-62.
- [12] 龙花楼, 刘永强, 李婷婷, 王静, 刘爱霞. 生态用地分类初步研究. 生态环境学报, 2015, 24(1): 1-7.
- [13] 文英. 人类活动强度定量评价方法的初步探讨. 科学对社会的影响, 1998, (4): 56-61.
- [14] 张翠云, 王昭. 黑河流域人类活动强度的定量评价. 地球科学进展, 2004, 19(S1): 386-390.
- [15] 樊杰, 徐勇, 王传胜, 牛亚菲, 陈东, 孙威. 西藏近半个世纪以来人类活动的生态环境效应. 科学通报, 2015, 60(32): 3057-3066.
- [16] 徐勇, 孙晓一, 汤青. 陆地表层人类活动强度: 概念、方法及应用. 地理学报, 2015, 70(7): 1068-1079.
- [17] 周天勇, 旷建伟. 中国城市创新报告. 北京: 社会科学文献出版社, 2015: 94-101.
- [18] 北京师范大学经济与资源管理研究院, 西南财经大学发展研究院, 国家统计局中国经济景气监测中心. 2016 中国绿色发展指数报告——区域比较. 北京: 北京师范大学出版社, 2017: 2-16.
- [19] 国家发展和改革委员会国际合作中心. 中国区域对外开放指数研究. 北京: 人民出版社, 2016: 77-81.
- [20] 李双成, 高伟明, 周巧富, 刘逢媛. 基于小波变换的 NDVI 与地形因子多尺度空间相关分析. 生态学报, 2006, 26(12): 4198-4203.
- [21] 李双成, 赵志强, 高江波. 基于空间小波变换的生态地理界线识别与定位. 生态学报, 2008, 28(9): 4313-4322.
- [22] 胡云锋, 徐芝英. 蒙古高原地形与植被指数的特征尺度及多尺度耦合关系. 地理科学, 2014, 34(12): 1511-1517.
- [23] 于浩, 杨勤科, 张晓萍, 何浩. 基于小波多尺度分析的 DEM 数据综合及尺度转换. 地理与地理信息科学, 2009, 25(4): 12-16.
- [24] 肖琛, 陈雯, 袁丰, 李平星. 2000~2010 年无锡市职住空间关系变化及影响因素分析. 地理科学, 2014, 34(2): 137-146.
- [25] 潘竞虎, 郑凤娟, 杨东. 甘肃省土地集约利用与经济发展的时空差异分析. 资源科学, 2011, 33(4): 684-689.
- [26] 敖荣军, 梅琳, 梁鸽, 李家成. 湖北省县域人口迁入与工业集聚的空间关联性研究. 长江流域资源与环境, 2018, 27(3): 514-522.
- [27] 毛汉英. 人地系统优化调控的理论方法研究. 地理学报, 2018, 73(4): 608-619.
- [28] 黄松, 李燕林, 李如友. 桂西地区地质遗迹与民族文化资源的空间关系及成因机理. 地理学报, 2015, 70(9): 1434-1448.
- [29] 吴传钧. 人地关系地域系统的理论研究及调控. 云南师范大学学报: 哲学社会科学版, 2008, 40(2): 1-3.
- [30] 黄秉维. 论地球系统科学与可持续发展战略科学基础(I). 地理学报, 1996, 51(4): 350-354.
- [31] Krugman P. First nature, second nature, and metropolitan location. Journal of Regional Science, 1993, 33(2): 129-144.
- [32] 谢江波, 刘彤, 魏鹏, 贾亚敏, 骆郴. 小波分析方法在心叶驼绒藜 (*Ceratoides ewersmanniana*) 空间格局尺度推绎研究中的应用. 生态学报, 2007, 27(7): 2704-2714.
- [33] 宋长青, 程昌秀, 史培军. 新时代地理复杂性的内涵. 地理学报, 2018, 73(7): 1204-1213.
- [34] 蔡运龙, 叶超, 陈彦光, 阚维民. 地理学方法论. 北京: 科学出版社, 2011: 67-75.
- [35] 李扬, 汤青. 中国人地关系及人地关系地域系统研究方法述评. 地理研究, 2018, 37(8): 1655-1670.