

长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素

黄烈佳, 杨 鹏*

(湖北大学商学院, 湖北 武汉 430062)

摘要: 为了实现长江经济带“共抓大保护, 不搞大开发”的发展目标, 系统分析该地带土地生态安全问题是关键。通过构建土地生态安全 DPSIR 模型, 对 2006~2016 年长江经济带 110 个地级市的土地生态安全水平进行评价, 在此基础上, 运用探索性空间数据分析与地理探测器方法探究土地生态安全的时空演化特征及主要影响因素。研究得出: (1) 时间上, 2006~2016 年长江经济带土地生态安全水平呈现明显的增长趋势, 土地生态安全状况逐渐改善; 空间上, 土地生态安全水平从东向西逐渐递减, 但其空间差异正逐步缩小; 区域间, 长江三角洲城市群、长江中游城市群成为土地生态安全水平的增长热点区, 并向城市群外围逐步扩散。(2) 长江经济带土地生态安全存在着显著的正空间自相关, 呈现集聚分布特征: 土地生态安全高值(H-H)集聚区主要分布于长三角地区, 低值(L-L)集聚区主要分布于湖南、贵州二省的部分地区。(3) 经济社会发展水平、环境保护力度、土地利用效率、城市化水平为长江经济带土地生态安全的主导影响因素, 但不同区域的主导驱动因素存在显著差异, 这为改善土地生态安全, 提出有针对性的政策建议提供了理论依据。

关键词: 土地生态安全评价; 时空格局; 空间自相关; 地理探测器; 长江经济带

中图分类号: F301.2; X826 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2019)08-1780-11

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201908003

随着中国城镇化进程的加速发展, 人多地少的基本国情使自然资源的支撑力面临着严重的威胁, 其中, 土地资源作为城镇化发展的基本载体, 面临着巨大的压力^[1], 提高土地资源的利用效率, 实现土地资源的集约节约利用, 是促进中国城镇可持续发展的根本途径^[2], 然而在城市土地利用过程中, 出现了资源枯竭、交通堵塞、环境污染等一系列问题, 尤其是日益突出的生态环境问题直接威胁到中国城市的可持续发展。

探讨土地生态安全问题、评价土地生态安全状况等成为学术界和政府关注的重要问题。土地生态安全包括二个方面的内容: 一方面是土地生态系统具有稳定的结构, 对各类威胁和压迫具有可持续的恢复力, 能维持一个稳定、平衡的健康状态; 另一方面是土地生态系统能给居民提供必要的服务, 在安全的状态下保障居民的生产和生活需求^[3]。

学术界的研究主要集中在城市土地生态安全^[4-6]、耕地生态安全^[7,8]、干旱区土地生态安

全^[9-11]、河流库区土地生态安全^[12,13], 得出了土地生态安全状况具有明显的空间异质性与集聚性特征, 应根据各地的实际情况因地制宜的实施土地保护策略的结论。研究尺度主要包括城市群^[14]、省域^[15]、市域^[16]、乡镇^[17]等局部范围, 对于全国或者经济带等大范围的研究还处于起步阶段。评价模型主要包括压力-状态-响应(PSR)模型^[18]及其改进形式 DPSR^[19]、DPSIR^[20]; 同时也有从自然-经济-社会(NES)^[21]和经济-环境-社会(EES)^[22]等维度构造评价模型。其中, PSR 和 DPSIR 模型思路清晰、理论框架成熟, 广泛运用于土地相关评价^[23]。土地生态安全的评价方法也十分多样化, 主要包括综合指数法^[24]、神经网络^[25]、系统动力学(SD)^[26], 其中综合指数法运用的最为广泛也较为成熟。以上研究成果为进一步研究土地生态安全问题提供了坚实的理论基础, 但土地生态安全存在明显的空间相关性^[12], 仅仅利用传统计量模型进行影响因素分析, 无法揭示其地理空间的差异性。

收稿日期: 2019-03-19; 修回日期: 2019-04-15

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(71403083)

作者简介: 黄烈佳(1978~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为土地保护、土地资源经济. E-mail: huangliejia@hubu.edu.cn

* 通讯作者 E-mail: Elliotppy@qq.com

鉴于此, 文章选取中国发展的重要战略地带——长江经济带为研究区域, 分析该地带土地生态安全的时空演化特征, 并利用地理探测器等空间分析方法识别土地生态安全的主导影响因素, 为长江经济带土地生态系统的改进与优化提供理论依据与实践指导。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

长江经济带横跨中国东、中、西部三大区域, 覆盖上海、江苏、安徽、浙江、湖北、湖南、江西、重庆、四川、贵州、云南等 11 个省(直辖市), 面积约为 205 万 km², 至 2017 年末, 长江经济带以 21.4% 的国土面积, 集聚了全国 42.8% 的人口, 贡献了 45.2% 的 GDP, 是中国最具发展潜力的地区。按照区域自然本底和社会经济发展的阶段差异, 一般将长江经济带分为上、中、下游 3 个区域, 上游地区包括贵州、云南、四川和重庆; 中游地区包括湖南、湖北、江西; 下游地区包括安徽、江苏、浙江。该地带包含成渝城市群、长江中游城市群、长江三角洲城市群三大国家级城市群, 是中国成为世界经济强国的战略重点地带, 然而在实现经济高速发展的同时, 大规模能源重化工业生产的污染物大量排放, 农业生产中化肥与农药无节制的使用, 使土地资源受到严重污染, 导致土地生态系统失调, 严重威胁着城市的可持续发展^[27]。鉴于此, 本文以长江经济带 110 个地级市为研究单元, 分析其 2006~2016 年间土地生态安全状况, 揭示土地生态安全的时空演化特征及影响因素, 为长江经济带土地生态系统的优化与治理提供政策建议。

1.2 数据来源及标准化处理

数据主要来源于 2006~2016 年《中国城市建设统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《中国区域统计年鉴》, 部分数据根据以上资料整理取得。研究期间内, 部分城市由于行政区划调整而数据缺失, 例如安徽省撤销地级巢湖市, 因此, 巢湖市不在研究范围内。同时, 鉴于不同的评价指标具有不同的计量单位, 这里利用极差标准化对数据进行无量纲处理, 直接利用极差标准化方法将产生零数据, 为避免零数据, 采取以下调整系数将数据映射到 [0, 1] 内。

$$X_i^* = \frac{0.9(X_i - \min)}{(\max - \min)} + 0.1 \quad \text{正向指标} \quad (1)$$

$$X_i^* = \frac{0.9(\max - X_i)}{(\max - \min)} + 0.1 \quad \text{负向指标} \quad (2)$$

式中: X_i^* 为标准化后的数据; X_i 为标准化前的数据; min 为样本中的最小值; max 为样本中的最大值。

2 评价指标体系及研究方法

2.1 评价指标体系

土地生态系统作为生态系统的重要组成部分, 与环境资源问题、人口发展状况、社会经济发展水平、环境保护政策等息息相关。因此, 对于土地生态安全的评价, 需要综合考虑这些因素, 并且按照一定的逻辑关系进行综合评价^[20]。DPSIR 模型涵盖经济、社会、人文、资源利用、环境保护等各个方面, 为土地生态安全评价提供了基本框架, 其逻辑思路如图 1 所示, 经济社会发展与人口增长作为驱动因素(D), 促使城市土地不断扩张、产生工农业污染, 导致土地生态系统面临压力(P), 当土地生态系统长期面对压力时, 土地资源质量与土地生态系统的状态(S)将会发生改变, 土地生态系统的状态不断恶化, 会对人类社会产生一定的影响(I), 如人地矛盾、土地污染、土地生产力下降等问题, 当该类问题影响到土地质量及生态环境时, 政府和环境保护机构会加大对土地生态系统的保护力度与资金投入(R), 从而缓解土地生态安全问题, 提高土地要素的生产能力与利用效率, 最终促进经济社会与人口的发展。关于评价指标的选取, 在借鉴已

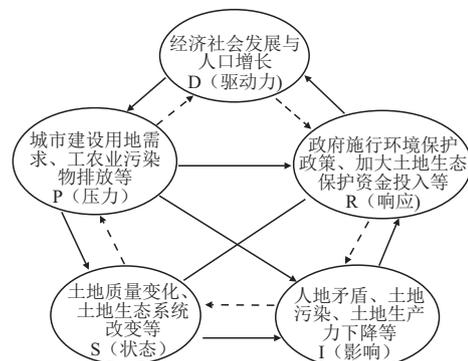


图 1 土地生态安全评价 DPSIR 模型框架

Fig. 1 Land ecological security DPSIR evaluation model framework

有成果^[20, 21]的基础上,从长江经济带的区域特性出发,参考《长江经济带生态环境保护规划》的具体指标,遵循科学性、全面性、数据可得性等原

则,基于 DPSIR 模型构建了长江经济带土地生态安全评价体系(表 1),其中指标权重由熵权法进行确定。

表 1 土地生态安全评价体系

Tab. 1 Evaluation system of land ecological security

目标层	系统层	指标层	客观权重	意义
土地生态安全	驱动力 (D)	C1 人口自然增长率(%)	0.002 4	表征人口增长对土地生态安全的驱动
		C2 城市化水平(%)	0.040 8	表征城市化对土地生态安全的驱动
		C3 人均 GDP(万元/人)	0.113 1	表征经济发展对土地生态安全的驱动
		C4 建成区面积比(%)	0.006 3	表征城市发展对土地生态安全的驱动
	压力 (P)	C5 人口密度(人/km ²)	0.007 0	表征人口对土地生态安全的压力
		C6 化肥使用量(t/hm ²)	0.052 9	表征农业对土地生态安全的压力
		C7 农药使用量(t/hm ²)	0.040 9	表征农业对土地生态安全的压力
		C8 地均 GDP(亿元/hm ²)	0.078 7	表征工业对土地生态安全的压力
		C9 单位面积货运量(万 t/hm ²)	0.008 9	表征交通运输业对土地生态安全的压力
	状态 (S)	C10 人均耕地(亩/人)	0.075 4	表征耕地资源人均状态
		C11 耕地面积比重(%)	0.119 8	表征耕地资源覆盖状态
		C12 建成区绿化覆盖率(%)	0.015 0	表征城市土地覆盖状态
		C13 森林覆盖率(%)	0.063 1	表征森林资源覆盖状态
	影响 (I)	C14 水土流失率(%)	0.003 2	表征城市水土资源状态
		C15 人均粮食产量(kg/人)	0.051 4	表征对土地生产效率的影响
		C16 耕地机械化程度(10 ⁴ kW/hm ²)	0.045 8	表征对农业现代化的影响
		C17 农村居民人均纯收入(万元/人)	0.087 2	表征对农民收入的影响
		C18 第三产业在 GDP 中的比重(%)	0.038 6	表征对产业结构的影响
		C19 人均居住面积(m ²)	0.038 6	表征对居住条件的影响
		C20 人均水资源(m ³)	0.072 8	表征对水资源状况的影响
响应 (R)	C21 城市生活垃圾无害化处理率(%)	0.008 6	表征对土地污染物的处理水平	
	C22 工业废弃物综合利用率(%)	0.007 2	表征对土地污染物的处理水平	
	C23 环保投资占 GDP 的比重(%)	0.031 8	表征对土地生态治理的投入水平	

2.2 研究方法

2.2.1 熵权法

熵权法是根据指标变异性来确定权重的客观赋权法,广泛运用于事物的综合性评价^[28],通过熵权法计算各指标的权重,具体公式如下:

$$H_i = - \frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \ln X_{ij} \quad (3)$$

$$W_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (4)$$

式中: H_i 为第 i 个指标的信息熵; W_i 为第 i 个指标的熵权; X_{ij} 为极差标准化值; m 、 n 分别为指标个数、研究单元个数。

2.2.2 综合指数法

综合指数法是土地生态安全评价中运用的最为广泛且成熟的评价方法,它根据各项评价指标数值的大小及对应权重来对土地生态安全进行评价,其模型如下所示:

$$S_i = \sum_{j=1}^m W_j \cdot P_{ij} \quad (5)$$

式中: S_i 为第 i 市的土地生态安全水平; W_j 为第 j 项指标的熵权; P_{ij} 为第 i 市第 j 项标准化的数值。

2.2.3 土地生态安全判别标准

利用时间序列中期 2011 年的评价结果,通过自然断点法将其从高到低分为五类,并推广至其它 10 个年份,将土地生态安全状况分为安全、较安全、临界安全、较不安全、不安全等 5 个安全等级,评价标准见表 2。

表 2 安全等级评价标准

Tab. 2 Safety grade evaluation standard

安全等级	安全程度	安全区间
I	安全	0.46 ~ 0.54
II	较安全	0.42 ~ 0.46
III	临界安全	0.38 ~ 0.42
IV	较不安全	0.32 ~ 0.38
V	不安全	0.00 ~ 0.32

2.2.4 空间自相关分析

空间自相关是用来分析研究区域范围内, 各空间位置与各自周围邻近位置的同一属性值是否显著的具有关联性, 可以分为全局自相关和局部自相关。全局自相关是指在研究区域范围内, 邻近位置同一属性相关性的综合水平, 通常用全局 Moran's I 指数来度量; 局部空间自相关是用来分析研究区域范围内, 各空间位置与各自周围邻近位置同一属性值的相关性水平, 局部空间自相关通常用局部 Moran's I 指数来度量, 在此基础上, 本研究采用 LISA(Local Indicators of Spatial Association) 聚类图分析土地生态安全在空间上的集聚特征。

2.2.5 地理探测器

地理探测器是用于测试空间分层性(SSH) 和进行空间归因的方法, 地理现象存在于特定的地理位置, 若某种因素与地理现象在空间上具有分布格局的一致性, 说明该因素对此地理现象具有解释力, 地理探测器较一般统计量更准确、强烈地揭示因果关系^[29]。由于长江经济带土地生态安全水平在空间上具有明显的分层性与异质性, 且影响因素众多, 因此, 利用地理探测器识别主导影响因素, 通过引入土地生态安全解释力 q 值来探测某因子 X 在多大程度解释属性 Y (土地生态安全水平), 具体模型如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (6)$$

式中: L 为因子 X 的分层(分类); N_h 和 N 分别为层 h 和城市个数; σ_h^2 和 σ^2 分别为层 h 和全局 Y 值的方差。解释力 q 的值域为 $[0, 1]$, q 值越大, 说明因子 X 对 Y 的解释力越强。

3 结果分析

3.1 土地生态安全时空特征分析

根据上述模型与方法, 测算 2006~2016 年长江经济带 110 个地级市的土地生态安全水平, 并利用 ArcGIS 绘制土地生态安全水平的时空格局分布图(图 2)。

时间尺度上, 长江经济带各市土地生态安全水平呈明显上升趋势(图 3), 2006~2016 年各市土地生态安全水平均值由 0.37 上升至 0.45, 累计增长率为 21.4%。2006 年各市土地生态安全水

平均未达到安全状态(土地生态安全水平值 < 0.46), 仅有 9 个城市处于较安全状态(0.42 < 土地生态安全水平值 < 0.46), 主要集中在安徽、浙江、江苏(7 个)等下游地区, 有 30 个城市处于临界安全状态(0.38 < 土地生态安全水平值 < 0.42), 主要分布于中下游地区, 有 71 个城市处于较不安全或不安全状态(土地生态安全水平值 < 0.38), 广泛分布于中上游地区; 2009 年仅有嘉兴市处于安全状态, 有 21 个城市处于较安全状态, 主要分布于长三角地区, 有 58 个城市处于临界安全状态, 广泛分布于中下游地区, 有 30 个城市处于较不安全或不安全状态, 主要分布于贵州、云南、四川等上游地区; 2012 年有 12 个城市处于安全状态, 分布于江苏省和浙江省的部分地区, 有 46 个城市较安全状态, 主要分布于成渝城市群、长江中游城市群、长江三角洲城市群, 有 51 个城市处于临界安全状态, 广泛分布于中上游地区, 仅有贵州省六盘水市处于较不安全状态; 2016 年有 45 个城市处于安全状态(土地生态安全水平值 > 0.46), 有 44 个城市处于较安全状态, 主要分布于成渝城市群、长江中游城市群、长江三角洲城市群, 有 21 个城市处于临界安全状态, 主要分布于贵州、湖南、云南等省份, 较不安全与不安全状态的城市数为零。2010~2016 年长江经济带上、中、下游土地生态安全水平均呈上升趋势, 累计增长率分别为 27.5%、18.8%、20.4%。上游地区土地生态安全水平最低, 但基数较小, 提升潜力大, 增速最快; 中游地区土地生态安全水平居中, 增长较慢; 下游地区土地生态安全水平最高, 增速较快。从图 2a-2k 可以看出, 长江经济带土地生态安全水平的整体差异在逐步缩小。

空间格局上, 土地生态安全水平呈条块状空间分布特征。总体上, 下游地区高于中游地区, 中游地区高于上游地区, 整体上呈现阶梯状分布特征, 但各区域间的差异较大。下游地区, 江苏省、浙江省、上海市的土地生态安全状况处于研究区域的最高水平, 这与该地区经济发展水平呈现出一定的相关性; 中游地区, 武汉、长沙、南昌等省会城市土地生态安全状况处于该区域的领先水平, 这与省会城市的环境保护力度与治理能力存在很大联系; 上游地区, 成渝城市群的土地生态安全整体水平优于周边地区, 经济社会发展与城市治理能力的提高在一定程度上改善了成渝

城市群的土地生态安全状况。综上可见，长江经济带土地生态安全状况存在着一定的空间关联

性，需进一步厘清土地生态安全集聚分布格局，为区域间土地生态系统保护与治理提供参考。

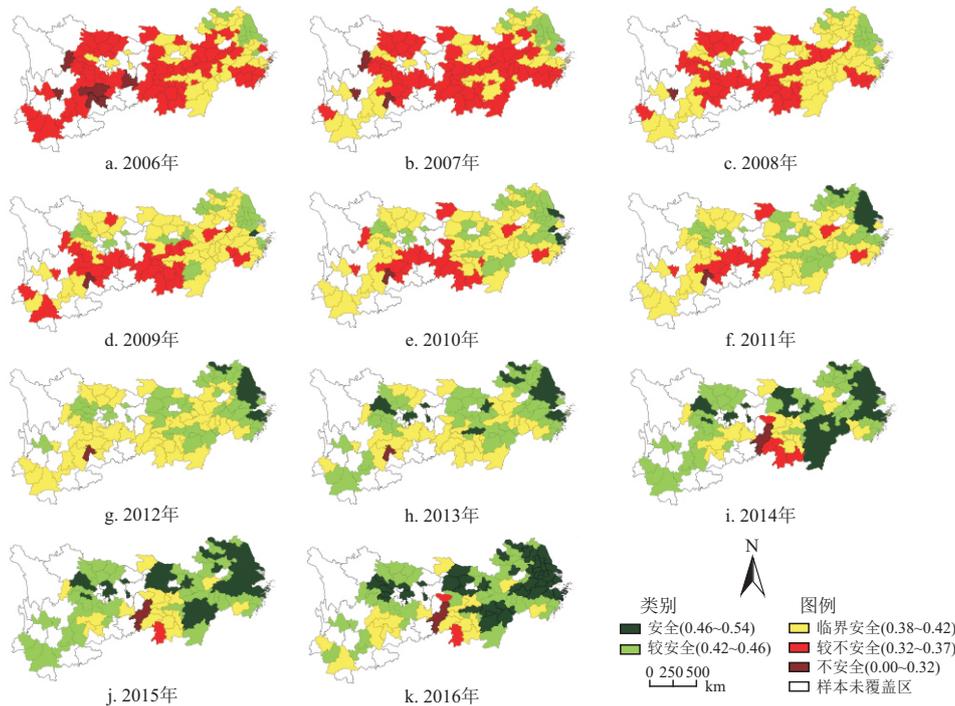


图 2 长江经济带土地生态安全时空格局

Fig. 2 Temporal and spatial patterns of land ecological security of the Yangtze River Economic Belt

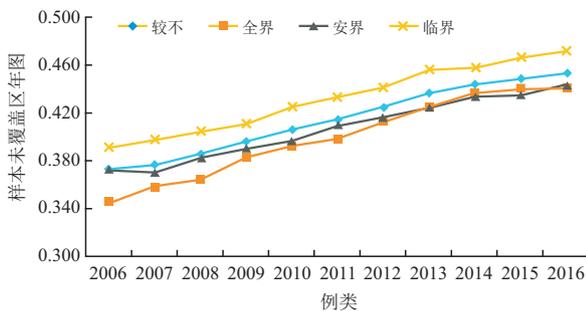


图 3 2006~2016 年长江经济带中上下游土地生态安全水平

Fig. 3 Land ecological security level of the Yangtze River Economic Belt from 2006 to 2016

3.2 土地生态安全空间关联特征分析

为揭示长江经济带土地生态安全的空间关联特征，以 2006~2016 年 11 期的土地生态安全评价结果为基础，利用 GeoDa 平台进行全局空间自相关和局部空间自相关分析。

3.2.1 全局自相关分析

采取全局 Moran's I 指数分析土地生态安全的空间相关性水平，在 GeoDa 平台中构造空间权重矩阵，以长江经济带 11 年间各市土地生态安全得分为基础，计算出土地生态安全的相关性水

平(图 4)。Moran's I 指数的取值范围为 [-1, 1]，若 I 越接近于 1，表示该区域空间正相关程度越强；I 接近于 0 表示不存在空间自相关；I 越接近于 -1，表示该区域空间负相关性越强。2006、2009、2012、2016 年土地生态安全的 Moran's I 指数在 0.01 的显著性水平分别为 0.61、0.58、0.61、0.61，表现十分稳定，呈现出明显的正空间自相关性，绝大部分点落在一、三象限，呈条状集聚分布特征，这表明长江经济带土地生态安全具有明显空间集聚性。

3.2.2 局部空间自相关分析

全局空间自相关只是对土地生态安全相关性水平的整体性判断，局部空间自相关可以分析局部单元与周边空间的关联性特征。为明确土地生态安全水平的空间集聚位置，利用局部 Moran's I 指数和 LISA 聚类图探究局部空间的关联性特征。根据局部 Moran's I 指数和 LISA 聚类图将各市土地生态安全空间关联特征分为五类“高一高”(H-H) 聚集，即高值空间聚集“低—低”(L-L) 聚集，即低值空间聚集“高一低”(H-L) 聚集，即周围相邻位置的观测值远低于位置 i 的观测值；“低—高”(L-H) 聚集，即周围相邻位置的观测值

远高于位置 i 的观测值 “不显著”, 即观测区域与周围区域不存在相关性。由于研究时间较长, 且空间关联性较为稳定, 因此选取 2006 年、2009 年、2012 年、2016 年的 LISA 聚类图来分析

长江经济带土地生态安全的局部关联特征。从图 5 可以看出, 2006~2016 年, H-H 集聚区变化不大, 主要集聚在江苏、浙江、上海等下游经济发达地区; H-L 和 L-H 的市域寥寥无几, 土地生

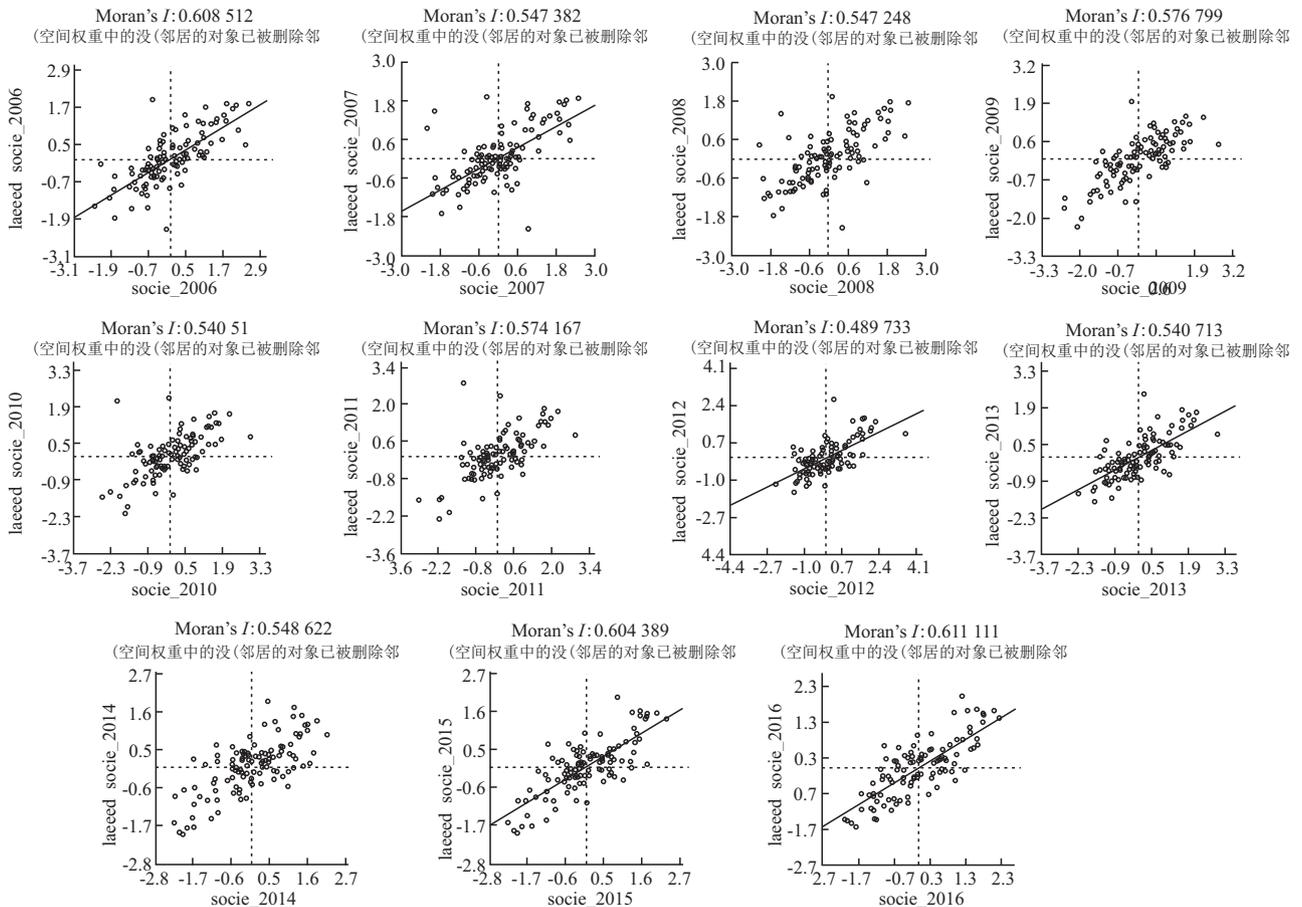


图 4 2006~2016 年长江经济带土地生态安全 moran's I 散点图

Fig. 4 Moran's I scatter plot of land ecological security in the Yangtze River Economic Belt from 2006 to 2016

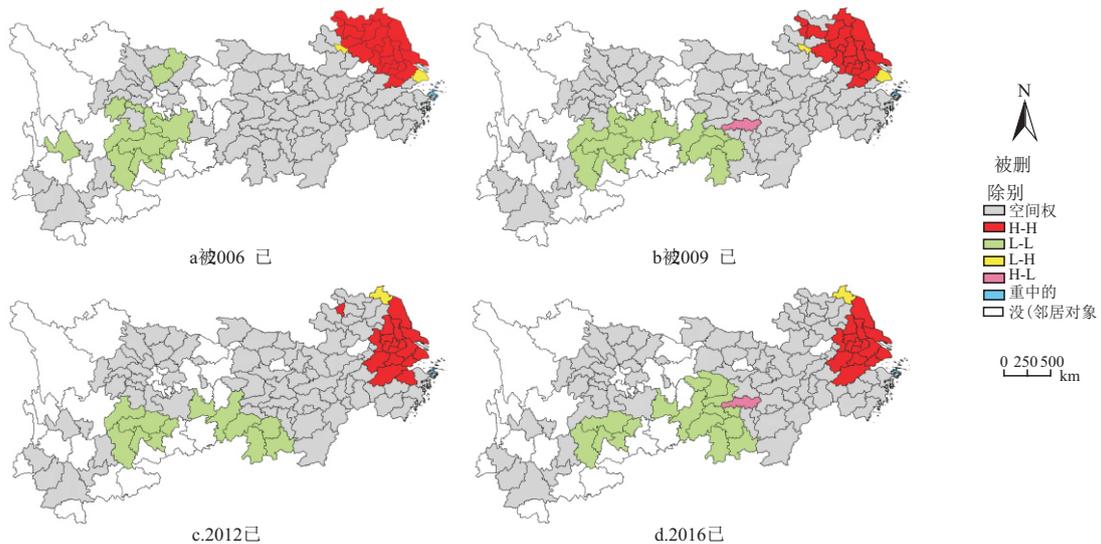


图 5 2006~2016 年土地生态安全 LISA 聚类图

Fig. 5 LISA clustering map of land ecological security from 2006 to 2016

态安全空间孤立城市较少, 这表明区域间土地生态安全系统存在着紧密联系; L-L 集聚区域改变较大, 2006 年主要集聚在四川、贵州等上游地区, 2009~2016 主要集聚在贵州、湖南两省。2006~2016 年, 四川省城镇化率年均增长 1.5%, 年均工业污染治理投资额高达 15.4 亿元, 为该地区土地生态系统的改善做出了重要的贡献, 土地生态安全状况逐渐改善, 低值集聚特征逐渐弱化; 2016 年湖南省人口密度高达 322 人/km², 地均 GDP 达 1 490 万元/km², 远远高于全国平均水平, 由于人口压力与经济发展压力, 土地生态系统安全水平增长较慢, 成为中游地区的低值中心; 贵州省由于地理条件与土地生产效率的制约, 土地生态安全状况一直处于较低水平, 成为上游地区的低值中心。

3.3 土地生态安全影响因素分析

3.3.1 基于地理探测器的主导因素识别

土地生态安全状况是多种因素共同作用的

表 3 地理探测器因子探测结果

Tab. 3 Factor detection result of geographic detector

因子	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
<i>q</i> 值	0.057 6	0.278 4	0.450 2	0.289 1	0.179 1	0.204 4	0.158 4	0.351 2
<i>p</i> 值	0.999 9	0.000 0	0.000 0	0.227 2	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
因子	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
<i>q</i> 值	0.237 0	0.035 0	0.223 0	0.199 7	0.188 5	0.432 0	0.175 7	0.108 5
<i>p</i> 值	0.000 0	0.404 5	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.341 1	0.000 0	0.000 0
因子	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	-
<i>q</i> 值	0.606 6	0.054 8	0.440 1	0.124 1	0.157 1	0.222 9	0.469 1	-
<i>p</i> 值	0.000 0	0.113 0	0.000 0	0.689 3	0.006 1	0.000 0	0.000 0	-

3.3.2 土地生态安全的主导因素分析

(1) 经济社会发展水平

经济社会发展水平是影响土地生态安全的主导因素, 主要通过人均 GDP、农村居民人均纯收入、人均居住面积来影响土地生态安全水平分异, 其中人均 GDP 体现的是经济发展水平, 农村人均纯收入和人均居住面积体现的是社会发展水平。经济发展水平越高, 越有能力去维护土地生态安全, 从 2006~2016 年长江经济带土地生态安全时空演变过程来看(图 2), 上游地区, 土地生态安全高值集聚在成渝城市群; 中游地区, 土地生态安全高值集聚在长江中游城市群; 下游地区, 土地生态安全高值集聚在长江三角洲城市群, 土地生态安全水平高值的集聚性与经济发展水平呈现出高度的一致性。全局上, 从 2006~

结果(表 1), 其主导因素的识别对于土地生态保护政策的制定具有重要意义。这里采用地理探测器来识别主导因素, 在使用地理探测器之前, 需要对输入数据进行分类化处理, 利用自然断点法将影响因子 *X* 分为 6 类(层), 将连续变量转化为类别变量^[30]。利用 GeoDetector 软件进行因子探测, 其探测结果如表 3 所示, 其中 *q* 值为因子 *X* 对土地生态安全状况的解释度, *P* 值为显著性水平。在 1% 的显著性水平下, 选取 *q* 值大于 0.25 的因素作为其主导影响因素, 按照解释力的大小分别为: 农村居民人均纯收入(C17)、环保投资占 GDP 的比重(C23)、人均 GDP(C3)、人均居住面积(C19)、地均 GDP(C8)、城市化水平(C2)。可以概括为以下 4 个主导因素: 经济社会发展水平(C3、C17、C19)、环境保护力度(C23)、土地生产效率(C8)、城市化水平(C2)。

2016 年土地生态安全 LISA 聚类图(图 5)可以看出, 长江经济带全局的高值一直集聚在上海、浙江、江苏等中国经济最发达的长三角地区, 即经济发展水平与土地生态安全水平呈现耦合态势。

(2) 环境保护力度

环境保护力度对土地生态安全的改善具有显著作用, 主要通过环境保护投资占 GDP 的比重来影响土地生态安全水平分异, 地理探测器结果显示, 环境保护力度的 *q* 值达 0.47, 表明土地生态安全与环境保护力度在空间上具有强烈的一致性。即城市环境保护力度越大, 对于城市垃圾、工农业污染排放的处理能力越强, 能减轻对土地生态系统的污染, 有利于促进工农业转型, 实现绿色生产, 如长三角地区实行了较为严格的环境保护政策, 促进了产业结构和生产方式的转型,

从图 2. a 至图 2. k 可以看出, 长三角地区土地生态安全水平显著提升, 处于区域间领先水平。

(3) 土地生产效率

土地生产效率与土地生态安全息息相关, 主要通过地均 GDP 来影响土地生态安全水平分异, 土地生产效率的 q 值为 0.35, 表明土地生产效率与土地生态安全水平存在显著的正相关性。这是由于土地生产效率高的城市拥有先进的制造业和现代化的服务业, 这些产业与传统的工农业相比, 具有生产效率高、污染小等特征, 对土地生态系统的压力较小。如上海、浙江等东部沿海省市, 其土地生产效率居于全国领先水平, 其产业结构不断优化升级, 各类先进制造业、能源产业和服务业蓬勃发展, 由此带来的是良好的土地生态环境与和谐的人地关系。而贵州、四川等长江上游地区, 土地生产效率偏低, 其土地生态安全水平也偏低。

(4) 城市化水平

城市化水平与城市土地生态安全存在着一定的联系, 城市化因子在 1% 的显著性水平下, q 值为 0.28, 说明在长江经济带地区, 城市化水平与城市土地生态安全存在显著的正相关关系, 即在其它自然条件与生态本底不变的条件下, 城市化水平的提升在一定程度上改善了土地生态安全状况。

4 结论与讨论

以 2006~2016 年长江经济带 110 个地级市为研究单元, 通过探索性空间数据分析、地理探测器等空间分析方法, 分析了长江经济带土地生态安全的时空演化特征及影响因素, 研究结论如下:

(1) 长江经济带土地生态安全的时空差异性。时间上, 2006~2016 年长江经济带土地生态安全水平呈现明显的上升趋势, 土地生态安全状况逐渐改善; 空间上, 土地生态安全水平从东向西逐渐递减, 呈现明显的阶梯状分布特征, 但其空间差异正逐步缩小; 区域间, 长江三角洲城市群、长江中游城市群为土地生态安全水平的增长热点区, 并向外围逐步扩散。

(2) 长江经济带土地生态安全具有显著的空间集聚性特征, 高值集聚在江苏、浙江等长三角地区, 这些地区经济联系密切, 环境治理、区域

协调等溢出效应显著, 提高了区域间土地生态安全的整体水平。低值主要集聚在湖南、贵州的部分地区, 其中湖南省人口与工业发展压力制约了土地生态安全水平的提高; 贵州省由于地理条件的限制, 土地利用效率较低, 土地生态系统面临着较大的压力, 成为上游地区的低值中心。

(3) 长江经济带土地生态安全影响因素的差异性。经济社会发展水平、环境保护力度、土地生产效率、城市化水平为影响长江经济带土地生态安全的主导影响因素, 但不同区域的主导驱动因素存在显著差异。上游地区, 地理条件和土地生产效率是制约土地生态安全水平发展的重要原因; 中游地区, 经济发展水平与城市化水平的快速上涨是提高土地生态安全状况的重要因素; 下游地区, 环境保护力度与产业结构升级是促进土地生态安全状况进一步提升的重要因素。

(4) 长江经济带各区域地理条件与经济发展水平差异较大, 但各区域土地生态系统相互影响与反馈, 共同组成了整个长江经济带土地生态体系, 为缓解土地生态系统压力, 进行跨区域协同调控与治理是改善长江经济带土地生态安全的重要方向, 就此提出以下几点建议: ①进行土地整治, 优化生产、生活和生态空间, 推动长江经济带土地生态系统的协同保护; ②建立健全跨区域生态保护补偿机制, 由下游地区和中游地区向上游地区提供生态保护资金, 保护长江流域源头的生态安全, 改善整体土地生态系统状况。

综上, 文章从市域视角对长江经济带土地生态安全格局及影响因素进行分析, 得出了一些有意义的研究结论, 但是对于更深层次的驱动机制的解析还有待进一步加强。在后续研究中, 应进一步细化研究视角, 进行差别化的机制分析, 进而为不同区域提供针对性、系统性的参考与建议, 为长江经济带土地生态系统的保护和优化提供政策建议。

参考文献:

- [1] 陆大道, 陈明星. 关于“国家新型城镇化规划(2014-2020)”编制大背景的几点认识[J]. 地理学报, 2015, 70(2): 179-185.
- LU D D, CHEN M X. Several viewpoints on the background of compiling the “National New Urbanization Planning (2014-2020)” [J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(2): 179-185.

- [2] 金 贵, 邓祥征, 赵晓东, 等. 2005-2014 年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征 [J]. 地理学报, 2018, 73(7): 1242-1252.
JIN G, DENG X Z, ZHAO X D, et al. Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone during 2005-2014 [J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(7): 1242-1252.
- [3] 刘 勇, 刘友兆, 徐 萍. 区域土地资源生态安全评价——以浙江嘉兴市为例 [J]. 资源科学, 2004, 26(3): 69-75.
LIU Y, LIU Y Z, XU P. Evaluation on ecological security of regional land resources: A case study of Jiaxing City, Zhejiang Province [J]. Resources Science, 2004, 26(3): 69-75.
- [4] 张洪, 王安琦, 宋贝扬. 基于 OWA 的大理市土地生态安全评价研究 [J]. 地理科学, 2017, 37(11): 1778-1784.
ZHANG H, WANG A Q, SONG B Y. Evaluation of land ecological security in Dali City based on OWA [J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(11): 1778-1784.
- [5] 于 潇, 吕春艳, 郭旭东, 等. 京津冀城市群地区土地生态状况评估 [J]. 中国土地科学, 2018, 32(4): 89-96.
YU X, LU C Y, GUO X D, et al. Assessment on the status of land ecosystem in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. China Land Science, 2018, 32(4): 89-96.
- [6] 向 文, 涂建军, 李 琪, 等. 基于灰色预测模型的长江经济带城市土地生态安全预警 [J]. 生态科学, 2018, 37(2): 78-88.
XIANG, TU J J, LI Q, et al. Early-warning of urban land ecological security in Yangtze Economic Belt based on gray forecasting model [J]. Ecological Science, 2018, 37(2): 78-88.
- [7] 范胜龙, 杨玉珍, 陈训争, 等. 基于 PSR 和无偏 GM(1, 1) 模型的福建省耕地生态安全评价与预测 [J]. 中国土地科学, 2016, 30(9): 19-27.
FAN S L, YANG Y Z, CHEN X Z, et al. Evaluation and prediction of the cultivated land ecological security in Fujian Province based on PSR and unbiased GM(1, 1) model [J]. Land Science of China, 2016, 30(9): 19-27.
- [8] 窦学诚, 付 滨. 基于 PSR 模型的河西制种基地耕地生态安全物元分析评价 [J]. 西南农业学报, 2018, 31(9): 1919-1926.
DOU X C, FU B. Analysis and evaluation of Hexi seed production base of cultivated land ecological security element based on PSR model [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31(9): 1919-1926.
- [9] 刘志有, 蒲春玲, 闫志明, 等. 基于生态文明视角新疆绿洲土地生态安全影响因素及管控机制研究——以塔城市为例 [J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(3): 155-160.
LIU Z Y, PU C L, YAN Z M, et al. Influencing factors and control mechanism of ecological security of oasis in Xinjiang based on ecological civilization——taking Tacheng City as an example [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(3): 155-160.
- [10] 程淑杰, 王重玲, 王 婷, 等. 基于 GIS 的宁夏中部干旱带土地利用生态安全动态评价 [J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 342-348.
CHENG S J, WANG C N, WANG T, et al. Land use change and ecological security assessment of the central Arid Zone in Ningxia based on GIS [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(4): 342-348.
- [11] 马轩凯, 高敏华. 西北干旱地区绿洲城市土地生态安全动态评价——以新疆库尔勒市为例 [J]. 干旱区地理, 2017, 40(1): 172-180.
MA X K, GAO M H. Dynamic assessment of land ecological safety of oasis city in arid northwest China: A case of Korla City in Xinjiang [J]. Arid Land Geography, 2017, 40(1): 172-180.
- [12] 马世五, 谢德体, 张孝成, 等. 三峡库区生态敏感区土地生态安全预警测度与时空演变——以重庆市万州区为例 [J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8227-8240.
MA S W, XIE D T, ZHANG X C, et al. Spatiotemporal variation in the ecological status of the Three Gorges Reservoir area in Chongqing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(24): 8227-8240.
- [13] 卢晓宁, 洪 佳, 王玲玲. 洪泽湖湿地地区土地生态安全评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(3): 145-150.
LU X N, HONG J, WANG L L. Evaluation of land ecological security in Hongze Lake Wetland [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2015, 37(3): 145-150.
- [14] 彭文英. 京津冀地区土地生态压力及协同调控策略 [J]. 中国流通经济, 2018(3): 95-101.
PENG W Y. Land ecological pressure and coordinated regulation strategy in Beijing-Tianjin-Hebei Region [J]. China Business and Market, 2018(3): 95-101.
- [15] 沈 萍. 江苏省土地生态安全预警演变与空间格局分析 [J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(6): 87-92.
SHEN P. Analysis on land ecological security warning and spatial pattern in Jiangsu Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(6): 87-92.
- [16] 王 鹏, 况福民, 邓育武, 等. 基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价 [J]. 经济地理, 2015, 35(1): 168-172.
WANG P, KUANG F M, DENG Y W, et al. Assessment of land eco-security of the Hengyang City on the principal component [J]. Economic Geography, 2015, 35(1): 168-172.
- [17] 于海洋, 张 飞, 曹 雷, 等. 基于乡镇尺度的土地生态安全时空格局评价研究——以博尔塔拉蒙古自治州为例 [J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6355-6369.
YU H Y, ZHANG F, CAO L, et al. Spatial-temporal pattern of land ecological security at a township scale in the Bortala Mongolian autonomous prefecture [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(19): 6355-6369.
- [18] 余文波, 蔡海生, 张 莹, 等. 基于 RS 及 GIS 的南昌市土地生态安全动态评价及分区 [J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 244-249, 256.
YU W B, CAI H S, ZHANG Y, et al. Land ecological security dynamic evaluation and regionalization in Nanchang City based

- on RS and GIS[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(4): 244-249, 256.
- [19] 张玉泽, 任建兰, 刘凯, 等. 山东省生态安全预警测度及时空格局[J]. *经济地理*, 2015, 35(11): 166-171, 189. ZHANG Y Z, REN J L, LIU K, et al. The ecological security early warning measures and space-time pattern of Shandong Province[J]. *Economic Geography*, 2015, 35(11): 166-171, 189.
- [20] 张凤太, 王腊春, 苏维词. 基于物元分析-DPSIR 概念模型的重庆土地生态安全评价[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(10): 3126-3134. ZHANG F T, WANG L C, SU W C. Evaluation of land ecological security in Chongqing based on the matter-element analysis-DPSIR model[J]. *China Environmental Science*, 2016, 36(10): 3126-3134.
- [21] 王晶, 原伟鹏, 刘新平. 哈尔滨城市土地生态安全时序评价及预测分析[J]. *干旱区地理*, 2018, 41(4): 885-892. WANG J, YUAN W P, LIU X P. Time series evaluation and prediction analysis of urban land ecological security in Harbin City[J]. *Arid Land Geography*, 2018, 41(4): 885-892.
- [22] 柳思, 张军, 田丰, 等. 2005~2014 年疏勒河流域土地生态安全评价[J]. *生态科学*, 2018, 37(3): 114-122. LIU S, ZHANG J, TIAN F, et al. Land ecological security in the Shule River Basin from 2005 to 2014[J]. *Ecological Science*, 2018, 37(3): 114-122.
- [23] 熊建华. 土地生态安全评价研究回顾、难点与思考[J]. *地理与地理信息科学*, 2018, 34(6): 71-76. XIONG J H. Review, difficulties and thinking of land ecological security evaluation[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2018, 34(6): 71-76.
- [24] 严超, 张安明, 石仁蓉, 等. 重庆市黔江区土地生态安全评价及时空变化分析[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(4): 262-268. YAN C, ZHANG A M, SHI R R, et al. Spatiotemporal change analysis and land ecological security evaluation in Qianjiang District of Chongqing City[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2016, 36(4): 262-268.
- [25] 杨人豪, 杨庆媛, 曾黎, 等. 基于 BP-ANN 模型的农村土地生态安全评价及影响因素分析——以重庆市丰都县为例[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(3): 206-213. YANG R H, YANG Q Y, ZENG L, et al. Evaluation on ecological security and analysis of influence factors of rural land based on BP-ANN model[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2017, 24(3): 206-213.
- [26] 陈慧, 付光辉, 刘友兆, 等. 南京市土地资源安全 SD 法评价研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(5): 846-859. CHEN H, FU G H, LIU Y Z, et al. Regional land resource security evaluation based on system dynamics in Nanjing City[J]. *Resources Science*, 2017, 39(5): 846-859.
- [27] 陆大道. 长江大保护与长江经济带的可持续发展——关于落实习总书记重要指示, 实现长江经济带可持续发展的认识与建议[J]. *地理学报*, 2018, 73(10): 1829-1836. LU D D. Conservation of the Yangtze River and sustainable development of the Yangtze River Economic Belt: An understanding of General Secretary Xi Jinping's important instructions and suggestions for their implementation[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(10): 1829-1836.
- [28] 郭艳, 张成才, 康鸳鸯. 河南省经济发展的国土空间评价分区研究[J]. *地理研究*, 2015, 34(12): 2320-2328. GUO Y, ZHANG C Q, KANG Y Y. Land assessment division research on economic development in Henan province[J]. *Geographical Research*, 2015, 34(12): 2320-2328.
- [29] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134. WANG J F, XU C D. Geodetector: Principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.
- [30] 马勇, 童昀, 任洁, 等. 公众参与型环境规制的时空格局及驱动因子研究——以长江经济带为例[J]. *地理科学*, 2018, 38(11): 1799-1808. MA Y, TONG Y, REN J, et al. Spatial-temporal pattern and driving factors of public participation in environmental regulation: Taking the Yangtze River Economic Belt as an example[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1799-1808.

Spatio-temporal Evolution Characteristics and Influencing Factors of Land Ecological Security in the Yangtze River Economic Belt

HUANG Lie-jia , YANG Peng

(School of Business , Hubei University , Wuhan 430062 , China)

Abstract: This article aimed to realize the development goal of “working together for greater protection rather than greater exploitation” of the Yangtze River Economic Belt , systematically analyzing the land ecological security problem is the key. This paper evaluates the land ecological security level of 110 cities in the Yangtze River Economic Belt from 2006 to 2016 by constructing the DPSIR (drives-pressure-state-impact-response) model of land ecological security. On this basis , using Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) and geographic detector methods to explore evolution characteristics of land ecological security and its influencing factors , the study found that: (1) In terms of time , the level of land ecological security in the Yangtze River Economic Belt showed an obvious growth trend during 2006~2016 , and the land ecological security status gradually improved; Spatially , the level of land ecological security gradually decreases from east to west , but the spatial difference is gradually narrowing; Among regions , the Yangtze River Delta urban agglomeration and the middle reaches of the Yangtze River urban agglomeration have become regional hotspots of land ecological security level , and gradually spread to the periphery of urban agglomerations. (2) The land ecological security of the Yangtze River Economic Belt has significant positive spatial autocorrelation , showing agglomeration distribution characteristics: the high-value(H-H) agglomeration area is mainly distributed in the Yangtze River Delta region , and the low-value (L-L) agglomeration area is mainly distributed in parts of Hunan and Guizhou province. (3) The level of economic and social development , environmental protection , land use efficiency and the lever of urbanization are the dominant influencing factors affecting the land ecological security of the Yangtze River Economic Belt , However , there are significant differences in the leading drivers factors of different regions , which provides a theoretical basis for improving land ecological security and providing targeted policy recommendations.

Key words: land ecological security evaluation; spatio-temporal pattern; spatial autocorrelation; geographic detector ; Yangtze River Economic Belt