

# 基于土地利用变化的江汉平原景观生态 风险时空分异特征分析

陈 斌<sup>1,2</sup>, 徐尚昭<sup>1,2</sup>, 周阳阳<sup>1,2</sup>, 王宏志<sup>3</sup>, 杨顶田<sup>4</sup>

(1.核工业二九〇研究所, 广东省环境保护核辐射追踪研究重点实验室, 广东 韶关 512029;

2.广东省放射性生态环境保护工程技术研究中心, 广东 韶关 512029; 3.华中师范大学 城市与环境科学学院,

武汉 430079; 4.中国科学院 南海海洋研究所, 广东省海洋遥感重点实验室, 广州 510301)

**摘 要:**土地利用/覆被变化能够在一定程度上表征城市景观生态风险空间分异特征。研究基于湖北省江汉平原 2000—2015 年(2000 年、2005 年、2010 年、2015 年)4 期土地利用遥感监测数据及县级行政单元区划数据,采用全局自相关模型和地统计空间分析方法,定量揭示了江汉平原土地利用水平与景观生态风险之间的空间耦合关系。研究表明:(1) 2000—2015 年江汉平原土地利用类型主要以耕地、水域和建设用地为主,土地转移类型主要以耕地向建设用地转移为主。(2) 2000—2015 年江汉平原景观生态风险时空演变差异显著,冷点、次冷点数量增加,次热点和热点均呈现先增加后减少态势。生态风险聚集的高值区主要分布在江汉平原东南部洪湖市,低风险区主要分布在江汉平原西部当阳市及松滋市。(3) 2000—2015 年江汉平原低生态风险区面积呈现逐渐减小态势,从 2000 年的 2 015.63 km<sup>2</sup>,较少到 2015 年的 1 960.87 km<sup>2</sup>。中风险区面积呈现先增加后减少的态势,其中 2005—2010 年增加幅度最大,达到了 2 061.26 km<sup>2</sup>。(4) 2000—2005 年江汉平原低生态风险重心整体转移不明显,主要集中在江汉平原西北部,较低生态风险重心转移空间跨度最大,向西转移了 79.80 km。中风险区主要向东北方向转移,较高风险区和高风险区重心主要集中分布在江汉平原东南部洪湖市,且呈现向东北方向转移的趋势,其中较高风险区重心转移速度明显快于高风险区。本研究成果可为城市内部土地利用开发与景观生态风险评价提供科学依据和理论参考。

**关键词:**土地利用; 景观生态风险; 江汉平原; 全局自相关模型

中图分类号:X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)05-0228-07

## Assessment of Landscape Ecological Risk in Jianghan Plain Area Based on Land Use Change

CHEN Bin<sup>1,2</sup>, XU sShangzhao<sup>1,2</sup>, ZHOU Yangyang<sup>1,2</sup>, WANG Hongzhi<sup>3</sup>, YANG Dingtian<sup>4</sup>

(1.No.290 Research Institute, CNNC, Guangdong Provincial Key Laboratory of

Environmental Protection and Nuclear Radiation Tracking Research, Shaoguan, Guangdong

512029, China; 2.Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Radioactive

Eco-environmental Protection, Shaoguan, Guangdong 512029, China; 3.College of Urban and Environmental

Science, Central China Normal University, Wuhan 430079, China; 4.Guangdong Key Laboratory of Ocean

Remote Sensing, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

**Abstract:** Land use/cover change can characterize the spatial differentiation characteristics of urban landscape ecological risk. Based on the data from the four basic remote sensing surveys of land use in the Jianghan Plain from 2000 to 2015 (2000, 2005, 2010, and 2015) and the zoning data of county-level administrative units in Hubei Province, we used global autocorrelation models and geostatistical analysis methods to quantitatively reveal the spatial coupling relationship between land use level and landscape ecological risk. The results show that: (1) from 2000 to 2015, the land use types of Jianghan Plain were mainly cultivated land, water area

收稿日期:2021-05-17

修回日期:2021-06-04

资助项目:广东省海洋遥感重点实验室,中国科学院南海海洋研究所基金项目(2017B030301005-LORS2009);中核集团核工业二九〇研究所科研创新项目(202003)

第一作者:陈斌(1992—),男,安徽桐城人,工程师,研究方向土地利用/覆被变化与景观生态学研究。E-mail:giscb@foxmail.com

通信作者:杨顶田(1969—),男,江苏东海人,研究员,主要研究方向为海洋遥感。E-mail:dtyang@scsio.ac.cn

and construction land, and the land transfer types were mainly cultivated land to construction land; (2) from 2000 to 2015, the landscape ecological risk in the Jianghan Plain evolved significantly in time and space; cold spots and sub-cold spots increased, and both sub-hot spots and hot spots showed a trend of first increasing and then decreasing; the high-value areas of ecological risk mainly distributed in Honghu City in the south-east of Jianghan Plain, and the low-risk areas mainly distributed in Dangyang City and Songzi City in the west of Jianghan Plain; (3) from 2000 to 2015, the area of the low ecological risk area in the Jianghan Plain showed a gradual decrease, from 2 015.63 km<sup>2</sup> in 2000 to 1 960.87 km<sup>2</sup> in 2015; the area of the medium-risk zone increased first and then decreased, with the largest increase from 2005 to 2010, reaching to 2 061.26 km<sup>2</sup>; (4) from 2000 to 2005, the overall shift of the low ecological risk center of gravity in the Jianghan Plain was not obvious, and it mainly distributed in the northwest of the Jianghan Plain; the lower ecological risk center of gravity shifted the largest spatial span, shifting 79.8 km westward; the medium-risk areas mainly shifted to the northeast, and the higher-risk areas and high-risk areas mainly concentrated in Honghu City in the southeast of Jianghan Plain, and both showed a trend of shifting to the northeast; the higher-risk areas shifted their centers of gravity significantly faster than High-risk area. This research can provide scientific basis and theoretical reference for urban land use development and ecological risk assessment.

**Keywords:** land use; landscape ecological risk; Jianghan Plain; global autocorrelation model

生态安全是评估区域生态系统安全性及稳定性的重要指标之一<sup>[1]</sup>。生态系统不仅受自然环境驱动因素的影响,也会受到来自人类社会经济活动的双重影响<sup>[2]</sup>。如何开展城市及其周边地区生态环境风险综合评价,已成为城市景观生态学研究领域中的重要课题之一。

当前,学者基于土地利用/覆被变化开展区域景观生态风险研究并不少见。如,侯蕊等<sup>[3]</sup>基于武汉市 4 期土地利用遥感监测数据,对江夏区土地利用生态风险进行了评价;巩杰等<sup>[4]</sup>利用空间自相关分析方法,对白龙江流域 1990—2010 年土地利用变化及其生态风险进行了探讨;刘月亮等<sup>[5]</sup>借助 GIS 空间分析方法,分析了广州市 1995—2015 年景观生态安全水平,并进一步揭示其时空演变规律;杜军等<sup>[6]</sup>对黄土丘陵区土地利用变化及景观生态风险进行了评价;李青圃等<sup>[7]</sup>采用空间主成分分析法,从“自然—人类社会—景观格局”3 个维度,对宁江流域景观生态风险进行综合评价。黄木易等<sup>[8]</sup>基于 1995 年、2005 年、2013 年 3 期 Landsat 遥感影像,采用地统分析方法对巢湖流域景观格局特征进行了分析,同时对生态风险进行了网格化定量评估。从研究方法上来看,现有研究多以空间自相关模型及 GIS 地统分析方法为主<sup>[9-11]</sup>。从研究尺度上来看,现有研究多以小范围 and 较短时间序列的城市及流域景观生态风险评价研究为主,且研究时间也多集中在 2010 年前后<sup>[12-14]</sup>。从研究的评价单元上来看,多以南方丘陵<sup>[15]</sup>、农牧交错带<sup>[16-17]</sup>、海岛<sup>[18-19]</sup>及湖泊河流<sup>[20-22]</sup>周边为主,而基

于多时相土地利用遥感监测数据,对湖北省江平原地区开展较大空间尺度、长时间序列和系统性景观生态风险研究尚较缺乏。

基于上述分析,本研究选取江汉平原 2000—2015 年(2000 年、2005 年、2010 年、2015 年)4 期土地利用遥感监测数据,借助 ArcGIS 10.2 和 Fragstats 4.2 等软件,使用全局自相关模型和地统计空间分析方法,揭示研究区近 15 a 间景观生态风险时空演变特征,以期能为湖北省自然生态环境保护和综合评价提供科学依据和理论参考。

## 1 研究区概况

江汉平原(29°26′—31°37′N, 111°14′—114°36′E)位于湖北省中南部,东临武汉市、西接宜昌、南连洞庭湖平原、北通荆门,是长江中下游平原的重要组成部分。主要包括当阳市、枝江市、松滋市、荆州市、江陵县、公安县、石首市、潜江市、监利县、天门市、仙桃市、洪湖市、云梦县、应城市和汉川市。地势整体呈现“西北高,东南低”的分布态势,主要农作物类型以种植水稻、棉花和油菜为主。该区域气候温暖湿润、地形平坦、土壤肥沃,辖区内景观类型复杂多样,土地利用类型以耕地、水域和建设用地为主。辖区内河流湖泊密布,分布天然大小湖泊 300 多个,如:洪湖、长湖及大沙湖等。江汉平原属于典型的亚热带季风气候,光热充足、降水充沛,年均气温在 14~18℃,年均降水量 1100~1 300 mm,无霜期较长,在 240~260 d。同时,江汉平原也是全国重要的粮食基地和湖北省重要的农产品生产区。

近年来,由于人类活动影响,使得区域内部景观生态结构发生重大调整,如何通过土地利用/覆被变化开展城市景观生态风险评价研究,已成为景观生态学和地理学交叉领域的研究热点内容之一。

## 2 数据源和研究方法

### 2.1 数据来源和预处理

本研究选取数据有:湖北省 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 4 期土地利用遥感监测数据,该数据是以 Landsat TM/ETM/OLI 卫星数据为基础数据源,通过人机交互解译而得到(目视解译结合支持向量机等分类方法),其中耕地和城乡、工矿、居民用地平均分类精度达到 85% 以上,其他土地利用类型平均分类精度均在 75% 以上<sup>[23]</sup>。该数据类型为 Shapefile 矢量格式,包含 6 个一级地类(耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地)和 25 个二级类型,上述数据来源于中国科学院资源环境数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。为便于后续研究,利用 ArcGIS 转换工具,将数据转为空间分辨率为 30 m 的栅格数据,然后根据研究区行政区边界裁剪得到研究区范围内不同时期土地利用遥感监测数据。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 土地利用动态变化** 土地利用变化常用变化量和变化率来表示,土地利用变化量是用来表征不同时间段内,多个或者单一土地类型面积的变化数量,土地利用变化率是用来表示不同用地类型变化的程度<sup>[23]</sup>,土地利用转移矩阵是用来表示各用地类型之间的转移方向和转化量<sup>[24]</sup>。

**2.2.2 生态风险小区划分** 为便于后续研究分析,根据研究区实际范围大小,参照已有研究<sup>[4]</sup>,借助 ArcGIS 渔网分析统计工具,将研究区划分为 5 km×5 km 的正方形网格,得到 1 413 个生态风险小区,然后通过计算各个网格的生态风险指数作为生态风险小区中心点的生态风险指数,最终通过插值计算得到整个研究区生态风险格局分布结果。

**2.2.3 景观生态风险指数构建** 景观格局变化是人类活动对土地利用最直接的表现形式之一,由于不同景观对外界影响的抗干扰能力有所差异,从景观结构、组分、脆弱度指数等因子角度出发构建研究区生态景观风险模型<sup>[4]</sup>,计算公式如下:

$$ERI_e = \sum_{r=1}^m \frac{A_{re}}{A_r} \times R_i \quad (1)$$

式中:ERI<sub>e</sub>为第 e 个样本单元内的景观生态风险指数;A<sub>re</sub>为第 r 个样本单元内景观类型 e 的面积;A<sub>r</sub>为第 r 个样本单元的面积;R<sub>i</sub>为景观损失度指数。

(1) 景观结构指数:景观结构指数是用来表征不同类型景观生态系统受外界干扰的程度<sup>[25]</sup>,公式如下:

$$S_i = aC_i + bN_i + cD_i \quad (2)$$

式中:C<sub>i</sub>为景观破碎度指数;N<sub>i</sub>为景观分离度指数;D<sub>i</sub>为景观优势度指数;a,b,c为对应的权重,a+b+c=1,参照已有研究<sup>[26]</sup>并结合研究区实际情况,对a,b,c分别赋值0.5,0.3,0.2。

(2) 景观脆弱度指数:景观脆弱度指数是用来表示景观受到外界因素影响而维持自身理化性质稳定性的重要量化指标,也称之为景观外界抗干扰能力<sup>[25]</sup>,计算公式如下:

$$F_i = \sum_{e=1}^m A_e \times P_i \quad (3)$$

式中:e为景观类型;m为景观类型的数量;A<sub>e</sub>表示各类景观的面积占比;P<sub>i</sub>表示各景观的脆弱度分数值,参照已有研究成果<sup>[4]</sup>,并结合研究区实际情况,将研究区 5 种土地利用类型划分为 5 个等级:水域 5,耕地 4,草地 3,林地 2,建设用地 1,通过归一化得出景观脆弱度指数,归一化后分数值大小依次为 0.33, 0.27, 0.20, 0.13, 0.07。

(3) 景观损失度指数:景观损失度指数是用来表示景观受到外界自然或者人为因素影响时,自身损失程度量化指标<sup>[27]</sup>,计算公式如下:

$$R_i = \sqrt{S_i \times F_i} \quad (4)$$

式中:S<sub>i</sub>表示第 i 类景观的景观结构指数;F<sub>i</sub>表示第 i 类景观的景观脆弱度指数。

**2.2.4 空间分析方法** 本研究采用热点分析和空间自相关方法,对江汉平原景观生态风险的聚集度和空间相关性进行分析。以 5 km×5 km 网格单元为最小研究区域,计算得到各网格单元景观生态风险指数,然后采用克里金插值方法对网格单元质心景观生态风险指数进行空间插值,得到 4 个时期景观生态风险指数空间分布图。同时借助重心转移模型来表征研究区不同景观生态风险等级的重心在时空尺度上的转移变化特征。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用面积变化

**3.1.1 土地利用面积变化** 土地利用变化可以直观反映出人类社会经济活动对地表作用的强度。2000—2015 年江汉平原土地利用变化呈现出较大差异(图 1),其中耕地、林地整体呈现增加趋势,建设用地、水域和草地整体呈现减少趋势。2000—2015 年江汉平原耕地面积减少最为明显,从 2000 年的 21 413.75 km<sup>2</sup>减少到 2015 年 20 346.03 km<sup>2</sup>,其次为林地,从 2000 年的 2 193.82 km<sup>2</sup>减少到 2015 年 2 166.82 km<sup>2</sup>,分别减少了 1 067.72 km<sup>2</sup>,



27 km<sup>2</sup>;建设用地面积增加最为显著,从2000年的2 712.05 km<sup>2</sup>增加到2015年3 332.13 km<sup>2</sup>;水域次

之,近15 a间增加了474.16 km<sup>2</sup>;草地面积总体变化较小,15 a间增加了0.32 km<sup>2</sup>(表1)。

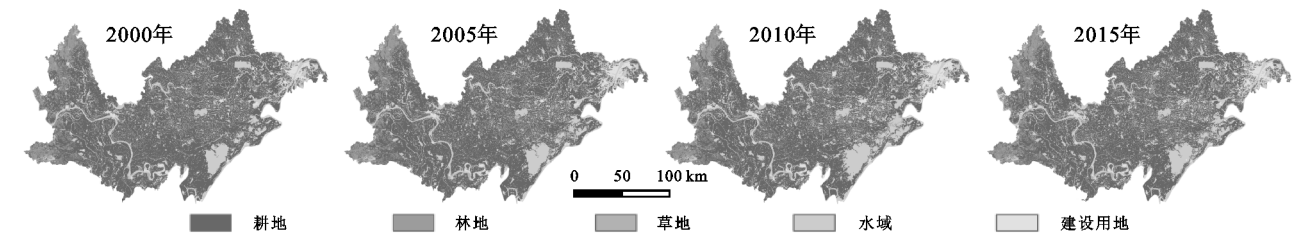


图1 2000—2015年江汉平原土地利用空间分布

表1 2000—2015年江汉平原土地利用变化统计

	km <sup>2</sup>				
年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地
2000年	21413.75	2193.82	151.91	4540.87	2712.05
2005年	20945.40	2185.05	152.26	4916.41	2813.31
2010年	20126.77	2224.25	195.38	5298.85	3167.12
2015年	20346.03	2166.82	152.23	5015.03	3332.13

3.1.2 土地利用转移分析 借助 ArcGIS 空间叠加分析工具计算得到江汉平原近 15 a 间土地利用转移变化。研究发现:江汉平原土地利用主要以耕地、水域和建设用地为主,林地、草地次之。土地转移类型主要以耕地向建设用地转移为主。研究显示:2000—2005 年,耕地转为水域面积为 445.12 km<sup>2</sup>,耕地转为林地面积 84.91 km<sup>2</sup>;林地转为水域 7.29 km<sup>2</sup>,林地转为建设用地面积 5.97 km<sup>2</sup>,草地转为耕地 20.56 km<sup>2</sup>,草地转为建设用地 30.51 km<sup>2</sup>。建设用地转为耕地 8.62 km<sup>2</sup>,建设用地转为水域面积 9.95 km<sup>2</sup>。2005—2010 年,耕地转为水域 618.25 km<sup>2</sup>,耕地转为林地 80.93 km<sup>2</sup>;林地转为水域 9.29 km<sup>2</sup>,林地转为建设用地 21.89 km<sup>2</sup>,草地转为耕地 4.64 km<sup>2</sup>,草地转为建设用地 3.31 km<sup>2</sup>。建设用地转为耕地 58.37 km<sup>2</sup>,建设用地转为水域 51.07 km<sup>2</sup>。2010—2015 年,耕地转为水域面积 319.76 km<sup>2</sup>,耕地转为林地 63.68 km<sup>2</sup>;林地转为水域 18.58 km<sup>2</sup>,林地转为建设用地 41.13 km<sup>2</sup>,草地转为耕地 616.30 km<sup>2</sup>,草地转为建设用地 81.59 km<sup>2</sup>。建设用地转为耕地 373.49 km<sup>2</sup>,建设用地转为林地 18.57 km<sup>2</sup>,建设用地转为水域 65.68 km<sup>2</sup>。

3.1.3 土地利用变化的空间分异特征 为进一步揭示江汉平原 2000—2015 年土地利用变化的时空分异特征,采用 ArcGIS 空间统计工具计算各土地利用类型的 Moran's I 指数(表 2)。研究区耕地、林地和建设用地 Moran's I 指数变化幅度较大,且耕地和建设用地的 Moran's I 指数均为正值,表明空间正相关性增强;草地和水域 Moran's I 指数变化较小,且水域 Moran's I 指数由 2005 年和 2010 年的负值转变为正值,表明其空间正相关性增强,分布呈现聚集状态。建设用地 Moran's I 指数逐渐增加,表明建设用地集

聚度呈现增加趋势,这可能与湖北省自 2004 年后提出加快“武汉城市圈”建设等政策有关。

表2 2000—2015年江汉平原不同土地利用类型 Moran' s I 系数

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地
2000	0.0016	−0.0001	0.0369	0.0002	0.0024
2005	0.0013	0.0001	0.0324	−0.0002	0.0032
2010	0.0017	0.0002	0.0176	−0.0006	0.0033
2015	0.0004	0.0012	0.0351	0.0003	0.0051

3.2 景观生态风险评价

3.2.1 生态风险空间聚集分析 本研究借助 ArcGIS 空间自相关分析工具,计算得到江汉平原 2000—2015 年生态风险指数的空间集聚特征。研究发现,2000—2015 年江汉平原生态风险指数全局自相关指数分别为:0.581 9,0.598 9,0.626 3,0.578 9,且 p 值均小于 0.05,莫兰指数呈现出先增加后减小的态势,表明江汉平原整体生态风险集聚度也呈现出先上升后下降的特点。借助热点分析方法(Getis-Ord G<sub>i</sub><sup>\*</sup>)来识别研究区不同等级生态风险区域的时空变化特征,从图 2 可知,2000—2015 年江汉平原冷点、次冷点增加,次热点和热点均呈现先增加后减少的态势。研究区 2000—2015 年生态风险聚集的高值区主要分布在江汉平原东南部洪湖市,这是由于该区域林地和草地面积占比较高,人类开发活动对该区域的影响较小,生态脆弱性较低,使得该区域的低景观生态风险的集聚区。低风险区主要分布在江汉平原西部的当阳市、松滋市,该区水域面积较其他县区占比高,而水域的景观生态脆弱性较高,造成该区域成为景观生态高风险的聚集区。

3.2.2 生态风险时空变化 研究表明,江汉平原生态风险指数均值由 2000 年的 0.13 上升到 2015 年的 0.15,一定程度上表明 2000—2015 年江汉平原生态环境质量状况有所下降。

本研究采用 ArcGIS 空间分析工具中的克里金插值方法对江汉平原近 2000—2015 年 4 个年份的生态风险指数进行拟合,然后根据研究区实际,将插值得到的栅格数据按照生态风险指数大小划分成 5 个

等级:低生态风险区( $ERI < 0.11$ )、较低生态风险区( $0.11 \leq ERI < 0.13$ )、中生态风险区( $0.13 \leq ERI <$

$0.15$ )、较高生态风险区( $0.15 \leq ERI < 0.17$ )和高生态风险区( $ERI \geq 0.17$ )(图 3)。

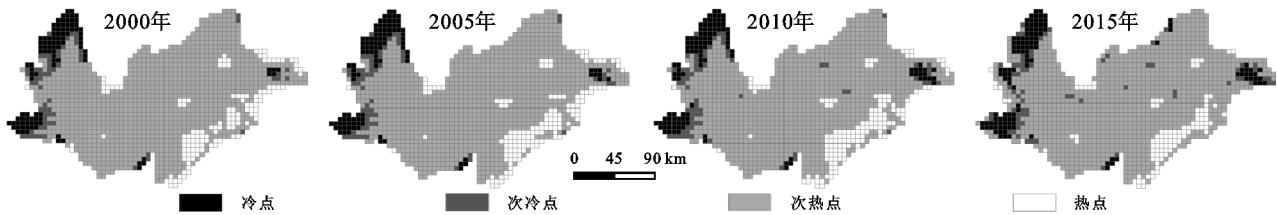


图 2 江汉平原生态风险冷热点空间分布

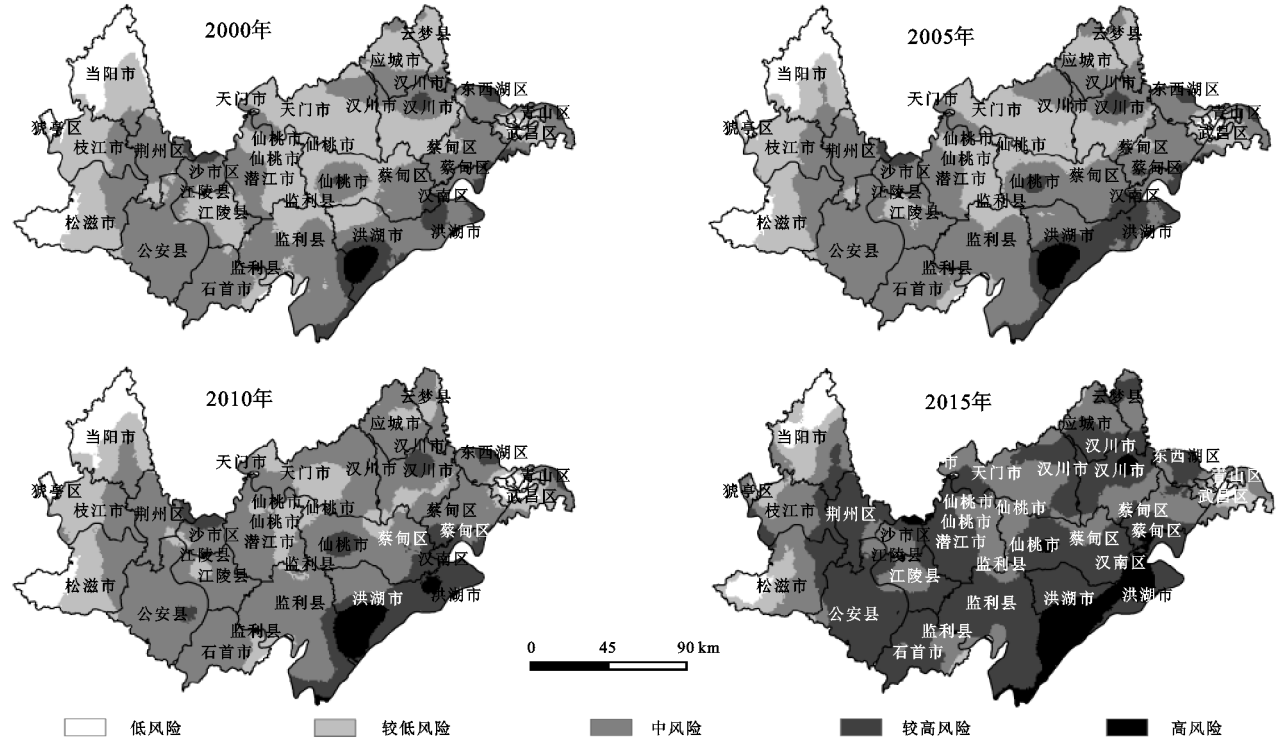


图 3 江汉平原土地利用生态风险空间分布

2000—2015 年江汉平原中风险区面积占比最高,均在 45%以上,其中 2010 年面积最大,达到了 18 953.49 km<sup>2</sup>;其次为较低风险区和低高风险区,较低风险区在 2000 年面积达到最大值,为 12 053.01 km<sup>2</sup>,然后呈现逐渐减小趋势;低风险区和高风险区面积占比均在 10%以下。

2000—2015 年江汉平原低风险区主要集中在江汉平原西部的当阳市、松滋市和猇亭区,由于以上区域土地利用类型主要以林地和草地为主,生态环境承受外界影响能力较强。较低风险区主要集中分布在江汉平原中部地区,上述区域土地利用类型以耕地为主,故生态风险指数较低。中风险区几乎覆盖整个区域,面积占比最高,表明江汉平原整体受外界因素影响而保持自身本底环境的能力适中。较高风险区主要集中分布在江汉平原西南部的洪湖市、监利县和蔡甸区,这些区域水域面积占比较高,故景观脆弱度指数较高,导致景观生态风险高于其他县区。洪湖市受洪湖水域面积较大整体影响,故高风险区集中分布于

此。由此可见,地方政府部门应该严格管控土地开发利用强度,提高土地资源集约利用效率,最大限度提升中高风险区的生态环境承载力,使得高风险区逐步向低风险区转化,以维持区域生态系统平衡。

为进一步探讨不同等级生态风险之间的时空转化特征,本研究借助 ArcGIS 分析工具得到研究区不同生态风险等级的转移矩阵。由表 3 可以看出,2000—2015 年江汉平原各风险等级的面积除向自身转化外,低风险区主要向较低风险和中风险区转化,转化面积分别为 368.08 km<sup>2</sup>,85.78 km<sup>2</sup>。较低风险区主要向中风险和低风险区域转化,其中向中风险区转移面积达到了 8 862.56 km<sup>2</sup>。中风险区主要向较高风险区和高风险区转化,转化面积分别达到了 4 685.29 km<sup>2</sup>,734.34 km<sup>2</sup>。较高风险区主要向高风险区和中风险区转移,转移面积分别为 1 092.69 km<sup>2</sup>,152.71 km<sup>2</sup>。高风险区域未向其他风险等级转移。由此可见,近 15 a 间江汉平原生态环境受到人类活动影响较为显著,生态环境脆弱性逐步增加,因

此地方政府应该因地制宜制定相应政策法规,严禁毁林开荒、毁林造房,合理开发未利用土地,加强林地、草地保护力度,逐步提高生态环境质量。

表 3 2000—2015 年江汉平原景观生态风险转移矩阵

	km <sup>2</sup>				
生态风险等级	低风险	较低风险	中风险	较高风险	高风险
低风险	1561.76	368.08	85.78	0	0
较低风险	397.89	2714.07	8862.56	74.83	3.65
中风险	1.22	475.77	9159.46	4685.29	734.34
较高风险	0	0	152.71	375.99	1092.69
高风险	0	0	0	0	326.10

由表 4 可知,2000—2015 年江汉平原生态风险

表 4 2000—2015 年江汉平原不同生态风险等级面积及占比

生态风险等级	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年	
	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%
低	2015.63	6.49	1985.82	6.39	1962.70	6.32	1960.87	6.31
较低	12053.01	38.79	9247.68	29.76	5900.87	18.99	3557.92	11.45
中	15056.07	48.46	16892.23	54.36	18953.49	61.00	18260.52	58.77
较高	1621.39	5.22	2461.59	7.92	3432.59	11.05	5136.11	16.53
高	326.10	1.05	484.89	1.56	822.56	2.65	2156.78	6.94

3.2.3 生态风险重心转移 为更加直观反映出江汉平原近 15 a 间生态风险区重心的变化转移情况,本研究借助 ArcGIS 空间分析工具得到不同生态风险等级重心转移时空变化特征(图 4)。研究表明,2000—2005 年,低生态风险区重心整体转移不明显,主要集中分布在江汉平原西北部当阳市。较低生态风险区重心转移空间跨度最大,向西转移了 79.8 km,其中 2005—2010 年转移速度明显加快,向西转移了 64.3 km。中风险区主要向东北方向转移,其中 2005—2010 年转移速度最快,向东北方向转移了 5.43 km。较高风险区和高风险区重心主要集中分布在江汉平原东南部洪湖市,且均有向东北方向转移趋势,其中较高风险区重心转移速度明显快于高风险区。



图 4 江汉平原 2000—2015 年生态风险重心转移  
综合来看,近 15 a 间低风险区、较高风险区和高

时空差异变化明显。低生态风险区面积呈现逐渐减小态势,从 2000 年的 2 015.63 km<sup>2</sup>,较少到 2015 年的 1 960.87 km<sup>2</sup>。较低风险区面积也呈现逐步减小态势,从 2000 年的 12 053.01 km<sup>2</sup>,较少到 2015 年的 3 557.92 km<sup>2</sup>,其中 2000—2015 年减少幅度最大,达到了 2 805.33 km<sup>2</sup>。中风险区面积呈现先增加后减少的态势,但整体呈现增加态势,其中 2005—2010 年增加幅度最大,达到了 2 061.26 km<sup>2</sup>。较高风险区面积呈现逐步增加态势,从 2000 年的 1 621.39 km<sup>2</sup>,增加到 2015 年的 5 136.11 km<sup>2</sup>。高生态风险区面积也是呈现逐步增加态势,从 2000 年的 326.10 km<sup>2</sup>,增加到 2015 年的 2 156.78 km<sup>2</sup>。由此可以得出,江汉平原生态环境脆弱性增强,生态环境对外界的抗干扰能力呈现下降趋势。

风险区重心总体转移变化较小,在空间上均呈现整体向东北方向转移的趋势。较低风险区重心空间转移距离最大,且转移速度明显高于其他 4 类等级生态风险重心,中风险区转移速度和空间幅度仅次于较低风险区重心。这主要是由于林草地主要分布在江汉平原西北部,所以低生态风险区重心整体变化不明显,而洪湖市水域面积较大,故高生态风险区重心主要集中分布于此。

4 讨论与结论

4.1 讨论

江汉平原是湖北省粮食生产的主产区,随着国家城镇化进程的快速推进,城市内部人口集聚度稳步上升、城市建成区不断向周边扩张,一定程度上使得城市生态系统服务功能和生态系统承载力水平均受到不同程度影响。同时伴随着国家生态文明思想和新发展理念提出,以及“绿水青山就是金山银山”的系统治理理念的贯彻,土地利用变化对生态系统影响力逐渐增强。

本研究基于湖北省江汉平原 2000—2015 年 4 期土地利用遥感基础调查数据及湖北省县级行政区划数据,借助全局自相关模型和地统计空间分析方法,基于景观特征要素对区域进行生态风险等级划分,揭示了研究区近 15 a 来土地利用水平和景观生态风险



的时空演变特征,有利于地方主管部门根据区域生态风险等级差异,及时出台相关保护政策,便于在发展的同时保护自然生态环境,更有利于江汉平原在长江中游城市群区域经济发展中形成增长极,从而更好带动周边地区经济发展。

本研究的局限性在于仅仅利用土地利用遥感监测数据构建景观生态风险模型,开展对研究区景观生态风险评价,而当前区域生态风险等级划分受到的影响因素日益复杂,如何利用多源自然和社会经济数据开展综合性、交叉性研究,这一部分工作将是今后区域景观生态风险研究的重要方向。

## 4.2 结论

(1) 2000—2015 年,江汉平原土地利用类型主要以耕地、水域和建设用地为主,林地、草地次之。其中建设用地、耕地、林地面积整体呈现增加趋势,水域和草地呈现减少趋势。耕地面积减少最为明显,其次为林地,分别减少 1 067.7 km<sup>2</sup>, 27 km<sup>2</sup>, 占比分别为 4.99%, 1.23%; 建设用地面积增加最为显著,水域次之,分别为 620.08 km<sup>2</sup>, 474.16 km<sup>2</sup>, 占比分别为 22.86%, 10.44%; 草地增加最少,仅为 0.32 km<sup>2</sup>。

(2) 2000—2015 年,江汉平原景观生态风险时空演变显著,冷点、次冷点数量增加,次热点和热点均呈现先增加后减少的态势。生态风险聚集的高值区主要分布在江汉平原东南部的洪湖市,低风险区主要分布在江汉平原西部的当阳市、松滋市,较高风险区主要集中分布在江汉平原西南部的洪湖市、监利县和蔡甸区。

(3) 2000—2015 年,江汉平原生态风险时空差异变化明显。低生态风险区、较低风险区面积均呈现逐步减小态势,较低风险区面积从 2000 年的 12 053.01 km<sup>2</sup>, 较少到 2015 年的 3 557.92 km<sup>2</sup>, 其中 2000—2015 年减少幅度最大,达到了 2 805.33 km<sup>2</sup>。中风险区面积呈现先增加后减少的态势,较高风险区面积呈现逐步增加态势。高生态风险区面积呈现逐步增加态势,从 2000 年的 326.10 km<sup>2</sup>, 增加到 2015 年的 2 156.78 km<sup>2</sup>。由此可见,江汉平原生态环境脆弱性增强,对外界影响因子抗干扰能力下降。

(4) 2000—2005 年,江汉平原不同风险等级重心转移差异较大。低生态风险区重心转移不明显,主要集中在分布在江汉平原西北部当阳市; 较低生态风险重心转移空间跨度最大,向西转移了 79.8 km; 中风险区主要向东北方向转移,较高风险区和高风险区重心主要集中分布在江汉平原东南部洪湖市,且均呈现向东北方向转移的趋势,其中较高风险区重心转移速度明显快于高风险区。

## 参考文献:

- [1] 朱军,李益敏,余艳红.基于 GIS 的高原湖泊流域生态安全格局构建及优化研究:以星云湖流域为例[J].长江流域资源与环境,2017,26(8):1237-1250.
- [2] Walker R T, Solecki W D, Harwell C. Land use dynamics and ecological transition; the case of South Florida[J]. Urban Ecosystems, 1997, 1(1): 37-47.
- [3] 侯蕊,李红波,高艳丽.基于景观格局的武汉市江夏区土地利用生态风险评价[J].水土保持研究,2021,28(1): 323-330.
- [4] 巩杰,谢余初,赵彩霞,等.甘肃白龙江流域景观生态风险评价及其时空分异[J].中国环境科学,2014,34(8): 2153-2160.
- [5] 刘月亮,成方龙,黄勋,等.1995—2015 年广州市景观生态安全时空演变研究[J].生态经济,2019,35(7):221-229.
- [6] 杜军,赵胜朝,邱士可,等.2000—2015 年豫西黄土丘陵区土地利用变化及景观生态风险评价[J].水土保持研究,2021,28(1):279-284.
- [7] 李青圃,张正栋,万露文,等.基于景观生态风险评价的宁江流域景观格局优化[J].地理学报,2019,74(7): 1420-1437.
- [8] 黄木易,何翔.近 20 年来巢湖流域景观生态风险评估与时空演化机制[J].湖泊科学,2016,28(4):785-793.
- [9] 于潇,吴克宁,郎文聚,等.三江平原现代农业区景观生态安全时空分异分析[J].农业工程学报,2016,32(8): 253-259.
- [10] 雷金睿,陈宗铸,陈毅青,等.1990—2018 年海南岛湿地景观生态安全格局演变[J].生态环境学报,2020,29(2):293-302.
- [11] 陈艳红,于婧,聂艳,等.土地利用水平与景观生态风险的空间耦合:以十堰市为例[J].水土保持研究,2021,28(1):285-291.
- [12] 李潇然,李阳兵,王永艳,等.三峡库区县域景观生态安全格局识别与功能分区:以奉节县为例[J].生态学杂志,2015,34(7):1959-1967.
- [13] 鲁敏,罗晓楠,王永华,等.济南城市森林景观生态格局[J].应用生态学报,2019,30(12):4117-4126.
- [14] 吴健生,张理卿,彭建,等.深圳市景观生态安全格局源地综合识别[J].生态学报,2013,33(13):4125-4133.
- [15] 韩逸,郭熙,江叶枫,等.南方丘陵区耕地景观生态安全影响因素及其空间差异[J].生态学报,2019,39(17): 6522-6533.
- [16] 徐兰,罗维,周宝同.基于土地利用变化的农牧交错带典型流域生态风险评价:以洋河为例[J].自然资源学报,2015,30(4):580-590.
- [17] 王让虎,李晓燕,张树文,等.东北农牧交错带景观生态安全格局构建及预警研究:以吉林省通榆县为例[J].地理与地理信息科学,2014,30(2):111-115.

of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data[J]. Remote Sensing of Environment, 2007,111(4):519-536.

[13] Ramoelo A, Majozi N, Mathieu R, et al. Validation of global evapotranspiration product (MOD16) using flux tower data in the African Savanna[J]. South Africa Remote Sensing, 2014,6(8):942-945.

[14] Tang R, Shao K, Li Z L, et al. Multiscale validation of the 8-day MOD16 evapotranspiration product using flux data collected in China[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations & Remote Sensing, 2015,8(4):1478-1486.

[15] 姜艳阳,王文,周正昊. MODIS MOD16 蒸散发产品在中国流域的质量评估[J].自然资源学报,2017,32(3):517-528.

[16] 李汇文,王世杰,白晓永,等.西南近 50 年实际蒸散发反演及其时空演变[J].生态学报,2018,38(24):8835-8848.

[17] 钟昊哲,徐宪立,张荣飞,等.基于 Penman-Monteith-Leuning 遥感模型的西南喀斯特区域蒸散发估算[J].应用生态学报,2018,29(5):1617-1625.

[18] 蒋翼,周忠发,张勇荣,等.喀斯特山区蒸散发的时空变异特征分析:以贵州省为例[J].水利水电技术,2019,50(9):53-61.

[19] 杨江州,周旭,程东亚,等.贵州省不同地貌类型区的 MOD16 蒸散发变化特征[J].水土保持研究,2019,26(2):216-222.

[20] 王焕,梅再美.贵州省地表蒸散发时空变化及其与气候因子的关系[J].水土保持研究,2020,27(5):221-229.

[21] Burn D H, Elnur M A H. Detection of hydrologic trends and variability[J]. Journal of Hydrology, 2002, 255(1):107-122.

[22] Abdul Aziz O I, Burn D H. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin [J]. Journal of Hydrology, 2006,319(1):282-294.

[23] 王桂钢,周可法,孙莉,等.近 10 a 新疆地区植被动态与 R/S 分析[J].遥感技术与应用,2010,25(1):84-90.

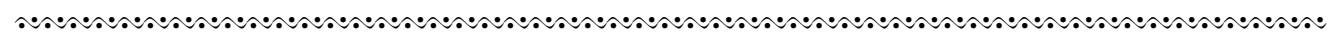
[24] Mandelbrot B B. Statistical methodology for nonperiodic cycles: from the covariance to R/S analysis [J]. Annals of Economic and Social Measurement, 1972,1(3):259-290.

[25] 叶红,张廷斌,易桂花,等.2000—2014 年黄河源区 ET 时空特征及其与气候因子关系[J].地理学报,2018,73(11):2117-2134.

[26] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2017.

[27] 徐光来,李爱娟,徐晓华,等.中国生态功能保护区归一化植被指数动态及气候因子驱动[J].植物生态学报, 2021,45(3):213-223.

[28] 李晓媛,于德永.蒸散发估算方法及其驱动力研究进展[J].干旱区研究,2020,37(1):29-39.



(上接第 234 页)

[18] 凡姚申,陈沈良,谷国传.海岛景观生态风险演变研究:以舟山朱家尖岛为例[J].海洋通报,2016,35(1):1-10.

[19] 池源,石洪华,丰爱平.典型海岛景观生态网络构建:以崇明岛为例[J].海洋环境科学,2015,34(3):433-440.

[20] 潘竟虎,刘晓.疏勒河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建[J].生态学杂志,2016,35(3):791-799.

[21] 刘世梁,刘琦,张兆苓,等.云南省红河流域景观生态风险及驱动力分析[J].生态学报,2014,34(13):3728-3734.

[22] 许妍,高俊峰,高永年.基于土地利用动态变化的太湖地区景观生态风险评价[J].湖泊科学,2011,23(4):642-648.

[23] 刘纪远,张增祥,庄大方,等.20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J].地理研究,2003, 22(1):1-12.

[24] 李丽娟,郑红星.华北典型河流年径流演变规律及其驱动力分析:以潮白河为例[J].地理学报,2000,55(3):309-317.

[25] 张学斌,石培基,罗君,等.基于景观格局的干旱内陆河流域生态风险分析:以石羊河流域为例[J].自然资源学报,2014,29(3):410-419.

[26] 张雅洲,谢小平.基于 RS 和 GIS 的南四湖生态风险评价[J].生态学报,2015,35(5):1371-1377.

[27] 谢花林.基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J].生态学报,2008,28(10):5020-5026.