

“三生空间”视角下宜昌市景观生态安全评价及其耦合特征分析

陈 斌^{1,2}, 徐尚昭^{1,2}, 周阳阳^{1,2}, 王宏志³, 叶永钦^{1,2}

(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)

摘 要:为了探究典型生态脆弱区的景观生态安全格局变化规律,以湖北省宜昌市为研究对象,基于 2000—2015 年 4 期土地利用遥感监测数据和社会经济数据,从三生空间视角构建“三生空间”(生产空间、生活空间和生态空间)土地利用分类模型,对宜昌市近 15 年间景观生态安全时空演变特征及耦合协调度进行了系统分析。结果表明:(1) 2000—2015 年,宜昌市以林地为主的生态空间面积占比最大,且各时期占比均在 71%以上;(2) 2000—2015 年,宜昌市景观生态安全整体呈现西北—西南高、东部低的空间分布特征,安全区集中分布在土家族自治县、夷陵区,不安全区主要分布在当阳市等低海拔地区;(3) 2000—2015 年宜昌市景观生态风险冷点、次冷点数量增加,次热点和热点均呈现先增加后减少态势。(4) 宜昌市“三生空间”景观生态安全的耦合协调度水平不高,整体上呈现“东高西低”的空间分布特征,西北、西南山区景观生态安全耦合协调度明显优于东部地区。研究结果表明区域土地利用格局和人类社会经济活动影响以及制约区域景观生态安全及其耦合协调性,故需优化区域生态空间格局、提升土地资源集约利用效率,促进宜昌市生态环境可持续发展。

关键词:生态安全; 宜昌市; 三生空间; 景观生态安全; 耦合协调度

中图分类号:X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)04-0344-08

Evaluation and Coupling Coordination Analysis of Landscape Ecological Security of Yichang from the Perspective of Production-Life-Ecological Space

CHEN Bin^{1,2}, XU Shangzhao^{1,2}, ZHOU Yangyang^{1,2}, WANG Hongzhi³, YE Yongqin^{1,2}

(1.Guangdong Provincial Key Laboratory of Environmental Protection and Nuclear Radiation Tracking Research, Research Institute No.290, CNNC, 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)

Abstract: In order to explore the change process of landscape ecological security pattern in typical ecologically fragile areas, Yichang City, Hubei Province, was taken as the research object, based on the land use remote sensing monitoring data and socio-economic data from the 4th period of 2000—2015, a ‘Three-Life Space’ was constructed from the perspective of ‘Three-Life Space’ (production space, living space and ecological space) land use classification model to systematically analyze the spatiotemporal evolution characteristics and coupling coordination degree of landscape ecological security in Yichang City in the past 15 years. The results show that: (1) from 2000 to 2015, the ecological space area was dominated by forestland accounted for the largest proportion in Yichang City, and the proportion in each period was more than 71%; it presented the spatial distribution characteristics of high level in northwest—southwest and low level in east; the safe areas

收稿日期:2021-06-03

修回日期:2021-07-03

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(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,主要从事土地利用/覆被变化与景观生态学研究。E-mail:giscb@foxmail.com

通信作者:徐尚昭(1984—),男,福建古田人,高级工程师,主要从事土地利用及国土空间规划研究。E-mail:cnnc290cy@126.com

concentrated in Tujia Autonomous County and Yiling District, and the unsafe areas mainly distributed in low-altitude areas such as Dangyang City; (3) the number of ecological risk cold spots and sub-cold spots increased, and both sub-hot spots and hot spots of landscape of Yichang City from 2000 to 2015 showed a trend of increasing at first and then decreasing; (4) the level of coupling and coordination of landscape ecological security in Yichang City's 'Three-Life Space' was not high, showing the spatial distribution characteristics of high level in the east and low in the west. These research results show that the regional land use pattern and human social and economic activities affect and restrict the regional landscape ecological security and its coupling coordination. Therefore, it is necessary to optimize the regional ecological space pattern, improve the efficiency of intensive use of land resources, and promote the sustainable development of the ecological environment in Yichang City.

Keywords: ecological security; Yichang City; production-life-ecological space; landscape ecological security; coupling and coordination degree

生态安全是评估区域生态系统安全性的重要指标之一。随着城市化进程加速推进,城市生态景观安全格局在时空尺度上发生了不同程度变化^[1]。城市景观格局变化在一定程度上能够表征城市生态系统的安全性和稳定性,而城市生态系统的稳定性不仅受自然驱动因素影响,同时也会受到来自人类社会经济活动的双重驱动因子制约。因此,如何开展快速城镇化发展背景下的城市景观生态安全综合评价,已成为城市景观生态学研究领域中的重要课题之一^[2]。与传统生态风险评价不同,区域生态风险评价更加注重区域间各要素的空间耦合关系。

当前,基于土地利用及多源遥感数据开展城市景观生态安全评价的研究并不少见。王一山等^[3]选取乌鲁木齐市2017年土地利用数据,构建生态系统服务价值模型,对乌鲁木齐市土地生态安全进行系统评价研究。刘顺鑫等^[4]利用地统计学和耦合协调模型,系统分析了万州区2009—2018年景观生态安全时空变化特征。袁媛等^[5]以南昌市为研究区,基于多时相遥感影像及DEM等数据,运用地统计等分析方法对南昌市景观生态安全进行了分析评价。裴欢等^[6]以秦皇岛东部沿海耕地景观为研究对象,利用1990年、2000年和2010年3期TM/ETM+遥感影像,构建耕地景观生态安全评价模型,对研究区耕地景观生态安全进行了综合评价。宋豫秦等^[7]结合3S技术和景观生态学方法,构建景观生态安全评价指标体系,揭示了北京市景观生态安全时空演变规律。综上所述,现有研究多集中以平原地区^[8-9]、城市群^[10-12]、海岛^[13-14]及湖泊河流^[15-17]周边为主,同时普遍将“三生空间”研究对象作为孤立的整体来研究,而基于“三生空间”空间耦合协调特征,对湖北省山地丘陵地区开展长时间序列景观生态安全评价研究尚较缺乏。

宜昌市位于湖北省江汉平原西部,东邻荆州市、

荆门市,南抵湖南石门县,西接恩施土家族苗族自治州,北靠神农架林区和襄樊市。海拔整体呈现“西高东低”的分布特征。主要农作物类型以水稻、棉花和油菜为主。著名的长江三峡工程就位于宜昌境内,由于受三峡库区丰枯水期水位线变化影响,使得宜昌市成为湖北省重要的生态脆弱带,加上近年来人类活动强度显著提高,使得该区景观生态安全备注外界关注。

基于上述分析,本研究选取宜昌市2000—2015年(2000年、2005年、2010年、2015年)4期土地利用遥感监测数据,以ArcGIS, Fragstats和GS+等软件为平台,借助全局自相关模型和地统计空间分析方法,从“三生空间”视角出发,对研究区“三生空间”景观生态安全格局进行耦合协调分析,以期能为宜昌市自然生态环境保护和资源开发利用提供科学依据和理论参考。

1 研究区概况

宜昌市(29°56'—31°34'N, 110°15'—112°04'E)古称夷陵,位于湖北省西南部,东邻荆州市、荆门市,南抵湖南石门县,西接恩施土家族苗族自治州,北靠神农架林区和襄樊市,因“水至此而夷,山至此而陵”而得名。素有“三峡门户”、“川鄂咽喉”之誉的“世界水电之都”宜昌,地处长江中上游与中游交接地带,地势呈现“西高东低”的分布态势,最大高程接近2400m,地貌类型复杂多样,境内有山地、平原、丘陵,大致构成“七山一水二分田”的格局。主要农作物类型为水稻、棉花和油菜。宜昌市属于中亚热带季风性湿润气候,光照充足、降水充沛,年均气温16~17℃,降水量1100~1200mm,全年盛行东南风,夏季最高气温可达39~40℃,无霜期200~300d。该区冬暖夏热,光照充足、雨量充沛,加上垂直地带性气候特征,是全国

有名的茶、橙之乡。该区域气候温暖湿润、地形平坦、土壤肥沃。辖区内河流湖泊密布,如长江、清江、黄柏河、沮漳河等,著名的长江三峡工程位于宜昌市境内,使得宜昌境内水土流失较为严重,宜昌市也是湖北省典型的生态环境脆弱区,该区景观生态安全备受外界关注。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源及处理

宜昌市 2000—2015 年(2000 年、2005 年、2010 年、2015 年)4 期土地利用遥感监测数据,是以 Landsat TM/ETM/OLI 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^[18],上述数据来源于中国科学院资源环境数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。DEM 数据来源于地理空间数据云平台,空间分辨率为 30 m。根据研究区行政区边界裁剪得到研究范围内土地利用遥感监测数据。参照已有研究成果^[3],根据研究区实际情况,将“三生空间”按照土地利用分类系统划分成 8 个二级类,分别为:农业生产空间、工业生产空间、城镇生活空间、农村生活空间、林地生态空间、草地生态空间、水域生态空间和其他生态空间(表 1)。

表 1 土地利用主导功能分类

一级地类	二级地类	三级分类
生产空间	农业生产空间	11(水田)、12(旱地)
	工业生产空间	53(工矿建设用地)
生活空间	城镇生活空间	51(城镇住宅用地)
	农村生活空间	52(农村宅基地)
生态空间	林地生态空间	21(有林地)、22(灌木林地)、23(疏林地)、24(其他林地)
	草地生态空间	31(高覆盖度草地)、32(中覆盖度草地)、33(低覆盖度草地)
	水域生态空间	41(河渠)、42(湖泊)、43(水库坑塘)、44(永久性冰川)、45(滩涂)、46(滩地)
	其他生态空间	61(沙地)、62(戈壁)、63(盐碱地)、64(沼泽地)、65(裸土地)、66(裸岩石砾地)

2.2 研究方法

2.2.1 评价单元划分 为便于后续研究中将景观生态风险指数进行可视化表达,据研究区实际范围大小,参照已有研究^[19],使用 ArcGIS 渔网分析工具,将研究区划分成 0.5 km×0.5 km 的正方形网格单元,得到 952 个生态风险小区(图 1),利用 Fragstats 软件分别计算各时期网格单元的景观生态风险指数,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。

2.2.2 景观生态安全评价模型构建 景观格局变化是人类活动对城市地表影响最直接的表现形式之一,而景观生态风险指数是揭示城市生态系统稳定性的重要量化指标。由于不同类型景观对外界影响的抗干扰能力有所差异,在参照已有研究的基础上^[4],从景观格局视角出发,选取景观干扰度和脆弱度等因子角度出发构建研究区生态景观风险模型^[20],计算公式如下:

$$ERI_e = \sum_{i=1}^m \frac{A_{ei}}{A_e} \times LVI_i \tag{1}$$

$$LVI_i = \sqrt{LDI_i \times F_i} \tag{2}$$

$$LDI_i = aC_i + bH_i + cF_i \tag{3}$$

$$C_i = \frac{N_i}{A_i}, H_i = -M_i \ln M_i, F_i = \frac{2 \ln(P_i/4)}{\ln A_i} \tag{4}$$

式中:ERI_e为第 e 个评价单元的景观生态风险指数;LVI_i为景观损失度指数;LDI_i为景观干扰度指数;F_i为景观脆弱度指数;A_{ei}为第 e 个评价单元第 i 类景观的面积;A_e为第 e 个评价单元的总面积;C_i为景观破碎度;H_i为景观多样性指数;A_i为 i 类景观类型面积;P_i为景观类型 i 的周长;M_i为景观类型 i 占总面积比重;a、b、c 分别代表景观破碎度、多样性和分维数的权重,a+b+c=1,参照已有研究^[3],分别赋值为 0.5,0.3,0.2。

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,参照已有研究成

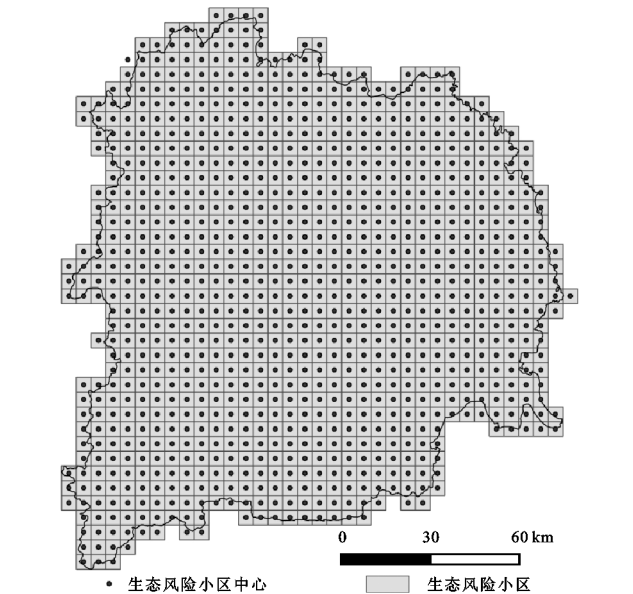


图 1 研究区生态风险小区

果^[3],并结合研究区实际情况,对研究区 8 个二级地类从低到高进行赋值:城镇生活空间 1、农村生活空间 2、林地生态空间 3、草地生态空间 4、农业生产空间 5、水域生态空间 6、工业生产空间 7、其他生态空间 8,归一化后大小分别为:0.03,0.06,0.08,0.11,0.14,0.17,0.19,0.22。

2.2.3 耦合协调度模型构建 “三生空间”主要包含生态安全、生活空间和生产空间,这 3 种空间在空间上相互影响、相互制约。为更加直观反映出研究区“三生空间”的耦合协调特征,引用耦合协调度模型对 3 类空间的空间耦合度进行分析,进一步揭示研究区“三生空间”耦合协调度在时空上的演变特征。计算公式如下^[20]:

$$C=\left[\frac{V_1\times V_2\times V_3}{(V_1+V_2)(V_1+V_3)(V_2+V_3)}\right]^{\frac{1}{3}} \tag{5}$$

$$T=\alpha V_1+\beta V_2+\gamma V_3 \tag{6}$$

$$V_1=\sum_{i=1}^2E_i\times W_i,V_2=\sum_{i=1}^4E_i\times W_i,V_3=\sum_{i=1}^2E_i\times W_i \tag{7}$$

$$D=\sqrt{C\times T} \tag{8}$$

式中: C 为“三生空间”耦合度; V_1 、 V_2 及 V_3 分别为生态安全、生活空间和生产空间的生态景观风险值; E_i 为每个指标的标准化得分; W_i 为相应指标权重; D 为耦合协调度; T 为生态安全综合评价值; α 、 β 、 γ 分别为 3 种景观生态空间安全对应的权重大小,参照已有研究成果^[4],赋值: $\alpha=\beta=\gamma=0.3$ 。

2.2.4 地统计分析

(1) 空间自相关分析。空间自相关分析主要包括局部空间自相关与全局空间自相关两种分析方法。它是用来表示空间变量的位置与临近变量位置属性值之间关联性程度的量化指标^[21-23]。本研究借助 ArcGIS 软件,通过 Moran’s I 指数计算景观生态安全在空间位置上的集聚程度,选取局部空间关联指标(LISA)来计算风险小区为评价单元的生态安全指标的空间集聚程度。

(2) 半变异函数分析。城市景观生态风险指数能够在一定程度上表征城市景观生态安全的稳定性,研究通过半变异函数^[24-26]来计算景观生态风险指数在空间上的异质性,通过 GS+7.0 软件进行景观生态风险指数半变异函数拟合分析,然后借助 ArcGIS 空间分析中克里金插值分析工具,计算得到研究区 2000—2015 年景观生态风险指数空间分布图。

3 结果与分析

3.1 “三生空间”土地利用类型变化

“三生空间”面积变化是人类活动对地表作用最为直观的表现形式之一,2000—2015 年宜昌市“三生空间”面积呈现出较大差异(表 2),由表 2 可知,2000—2015 年宜昌市以林地生态空间为主,占总面积的 70%以上,其次是农业生产空间,占总面积的 15%以上,林地生态空间和农业生态空间构成宜昌市土地利用功能分类的主要利用类型。

2000—2015 年宜昌市林地和草地生态空间面积整体呈现下降趋势,林地生态空间从 2000 年 15 231.79 km² 下降到 2015 年 15 107.15 km²,草地生态空间面积减少不显著;水域和其他生态空间面积呈现增加态势,其中水域生态空间面积从 2000 年 560.45 km² 增加到 2015 年 644.03 km²,其他生态空间面积变化不显著。2000—2015 年宜昌市生活空间中,城镇生活空间和农村生活空间面积均呈现增加态势,两者面积分别从 2000 年的 103.90,212.06 km²,增加到 2015 年的 143.94,222.34 km²。2000—2015 年宜昌市生产空间中,工业生产空间面积呈现增加态势,从 2000 年 49.32 km² 增加到 2015 年 203.95 km²,农业生产空间面积呈现减少态势,从 2000 年 4 163.25 km² 减少到 2015 年 4 023.23 km²。这多是由于近年来宜昌市大力发展城市建设,使得城市工矿用地不断向周边扩张,同时使得城镇生活空间面积不断增加,农业生产空间逐渐减少。

表 2 2000—2015 年宜昌市土地利用类型面积及变化								km ²
土地利用 功能分类	面积				变化面积			
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	
林地生态空间	15231.79	15183.51	15273.15	15107.76	−48.28	89.64	−165.39	
草地生态空间	890.65	888.89	884.49	886.13	−1.76	−4.40	1.64	
水域生态空间	560.45	630.91	639.70	644.03	70.46	8.79	4.33	
其他生态空间	0.64	0.63	0.73	0.68	−0.01	0.10	−0.05	
城镇生活空间	103.90	107.92	116.41	143.94	4.02	8.49	27.53	
农村生活空间	212.06	217.07	219.52	222.34	5.01	2.45	2.82	
工业生产空间	49.32	49.96	102.09	203.95	0.64	52.13	101.86	
农业生产空间	4163.25	4133.17	3975.97	4023.23	−30.08	−157.20	47.26	

3.2 景观生态安全时空变化

研究表明,宜昌市景观生态风险指数均值由 2000 年的 0.056 上升到 2015 年的 0.059,一定程度上表明 2000—2015 年宜昌市生态环境状况有所下降。本研究采用 ArcGIS 空间分析工具中的克里金插值方法对宜昌市 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,将生态风险指数结果按大小划分成 5 个等级:低生态风险区($ERI < 0.050$)、较低生态风险区($0.050 \leq ERI < 0.058$)、中生态风险区($0.058 \leq ERI < 0.070$)、较高生态风险区($0.070 \leq ERI < 0.084$)和高生态风险区($ERI \geq 0.084$) (图 2),并进一步统计得到各时期不同安全等级面积占比及变化情况(表 3)。

由图 2 可知,2000—2015 年宜昌市不安全区主

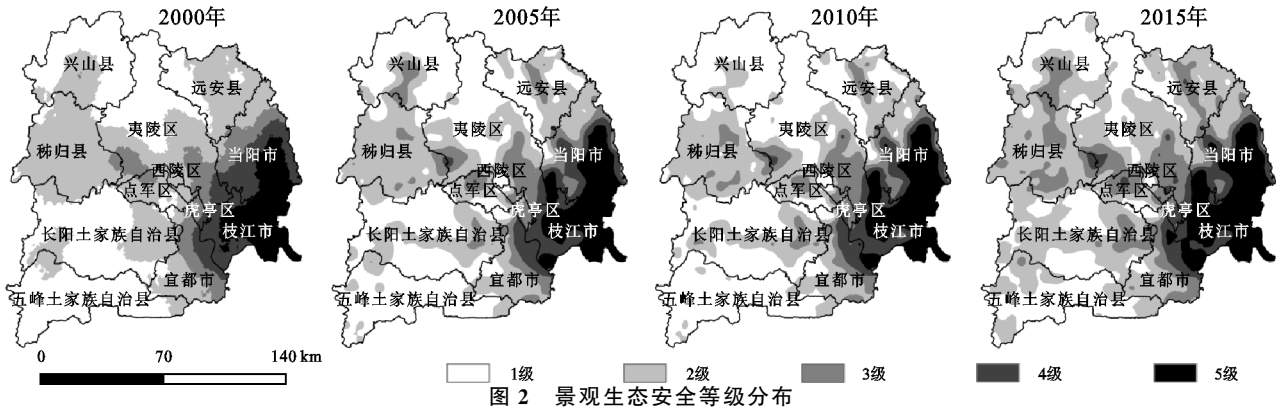


表 3 2000—2015 年宜昌市景观生态安全等级面积及占比

安全等级	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年	
	面积/km ²	比例%	面积/km ²	比例%	面积/km ²	比例%	面积/km ²	比例%
1 级(安全)	8463.67	39.92	8976.13	42.34	9878.38	46.59	5761.22	27.17
2 级(较安全)	7918.44	37.35	6956.30	32.81	6071.86	28.64	8654.03	40.82
3 级(中等安全)	1676.74	7.91	2141.96	10.10	2126.12	10.03	3261.89	15.38
4 级(较不安全)	1585.66	7.48	1345.94	6.35	1327.99	6.26	1310.60	6.18
5 级(不安全)	1556.98	7.34	1781.15	8.40	1797.14	8.48	2213.74	10.45

由表 3 可知,2000—2015 年宜昌市安全区面积占比最高,不同时期均在 27% 以上,其中 2010 年面积最大,达到了 9 878.38 km²;其次为较安全区和中等区,较安全区面积呈现先减少后增加态势,在 2015 年面积最大,达到了 8 654.03 km²;较不安全区面积占比整体呈现下降态势,从 2000 年 1 585.66 km²下降到 2015 年 1 310.60 km²,且面积占比均在 10% 以下。不安全区面积占比呈现增加态势,从 2000 年 1 556.98 km²下降到 2015 年 2 213.74 km²。

3.3 景观生态安全地统计分析

3.3.1 空间自相关分析 空间自相关分析能够量化相邻变量之间在空间上的集聚特征。本研究借助 ArcGIS 空间自相关分析工具,基于宜昌市景观生态

要集中在东南部的当阳市、枝江市,由于这些区域土地利用类型主要为耕地和林地,景观破碎度较高,生态环境承受外界影响能力较弱。较不安全区主要集中分布宜都市东北部地区,这些区域靠近枝江市等不安全区域周边,土地利用类型以耕地为主,故生态风险指数较高。较安全区及中等安全区呈零散分布,几乎覆盖整个区域。中安全区主要集中分布在宜昌市北和南部的土家族自治县和兴山县,这些区域林草面积占比较高,人类活动扰动较小,景观生态安全度较高,故景观脆弱度指数较低,导致景观生态风险低于其他县区。由此可见,当地相关主管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,提升不安全区域生态环境承载能力,使不安全区逐步向安全区转化,以维持整个区域生态系统平衡。

风险指数,计算得到宜昌市 2000—2015 年生态风险指数的空间集聚特征。研究发现,2000—2015 年宜昌市生态风险指数全局自相关指数分别为:0.862, 0.860, 0.859, 0.858,均大于 0,且 p 值均小于 0.05,莫兰指数呈现出逐渐减小的态势,表明宜昌市生态风险集聚整体呈现出下降的特点。借助热点分析方法(Getis-Ord G_i^*)来识别研究区不同等级生态风险区域的时空变化特征(图 3),从图 3 可知,2000—2015 年宜昌市冷点先减少后增加的态势,次冷点和次热点先增加后减少的态势,热点呈现增加态势。研究区 2000—2015 年生态风险聚集的高值区主要分布在宜昌市东南部的枝江市、当阳市,这是由于该区域工业用地及水域面积占比较高,生产、生活空间面积占比较高,生态脆弱性较高,使得该区域成为高景观生态

风险的集聚区。低风险区主要分布在宜昌市西北部兴山县、五峰土家族自治县,该区生态空间较其他县

区占比高,景观生态脆弱性较低,导致该区域成为低景观生态风险的聚集区。

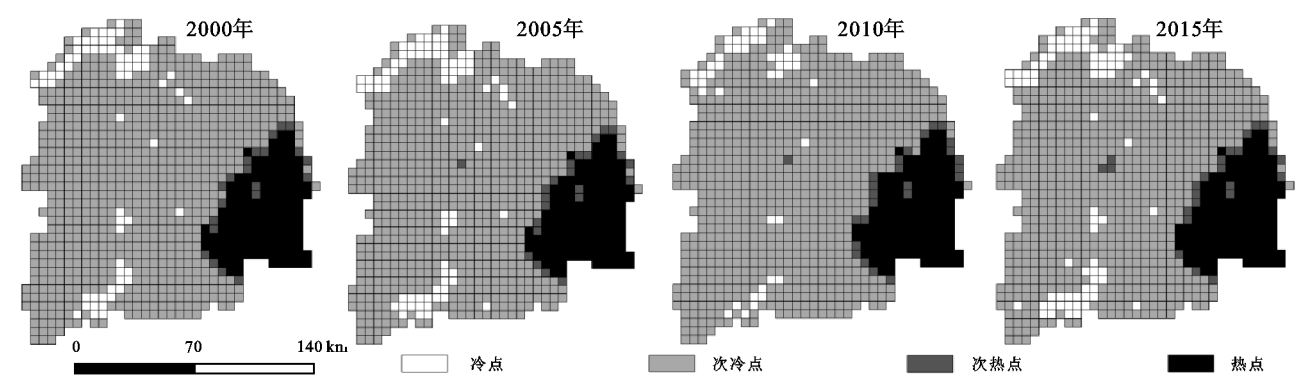


图 3 宜昌市生态风险冷热点空间分布

3.3.2 半变异函数分析 为进一步探讨宜昌市景观生态安全布局在时空尺度上的分异特征,本研究引入地统计分析模型中的半变异函数,借助 GS+7.0 软件分别运用线性、球体、指数及高斯模型,对研究区 4 个时期的景观生态风险评价模型进行模拟(表 4)。研究发现,2000 年线性模型拟合效果较好,决定系数达到了 0.997,2005 年、2010 年及 2015 年指数模型拟合效果较好,决定系数分别为:0.928,0.922,0.933。同时 2000—2015 年 4 个阶段的最佳拟合模型中,基台值呈现持续增加态势,分别为:0.000 273,0.000 535,0.000 562,0.000 656,表明宜

昌市景观生态安全性的空间分异有逐渐增大趋势。2000—2015 年研究区块金值/基台值比值整体呈现增加态势,这表明外在随机性因素对景观生态安全地理要素的空间分异影响逐渐增强。块金值从 2000 年 0.000 025 减少到 2015 年 0.000 009,表明外在随机因素对研究区景观生态安全的结构性影响因素增强。4 个时期最优模型变程也从 2000 年的 100.380 上升到 2015 年的 549.604,这表明宜昌市景观生态风险指数的相关性影响因素范围呈现扩张趋势,空间异质性减小,景观整体类型趋于同质化。

表 4 宜昌市景观生态风险指数半变异拟合参数

年份	模型	块金值	基台值	块金值/基台值/%	变程/km	决定系数	残差
2000 年	线性	0.000025	0.000273	0.909	100.380	0.997	2.794×10^{-10}
	球体	0.000017	0.000306	0.945	152.210	0.996	2.973×10^{-10}
	指数	0.000009	0.000545	0.983	471.601	0.994	4.951×10^{-10}
	高斯	0.000046	0.000280	0.836	112.760	0.996	3.384×10^{-10}
2005 年	线性	0.000025	0.000417	0.939	160.300	0.918	1.427×10^{-7}
	球体	0.000020	0.000409	0.950	220.320	0.924	1.423×10^{-7}
	指数	0.000009	0.000535	0.983	465.301	0.928	1.431×10^{-7}
	高斯	0.000063	0.000452	0.860	191.050	0.878	1.505×10^{-7}
2010 年	线性	0.000024	0.000413	0.942	159.340	0.913	1.514×10^{-7}
	球体	0.000019	0.000406	0.954	220.070	0.919	1.512×10^{-7}
	指数	0.000010	0.000562	0.982	502.201	0.922	1.523×10^{-7}
	高斯	0.000072	0.000948	0.924	327.880	0.844	1.648×10^{-7}
2015 年	线性	0.000022	0.000454	0.952	160.301	0.925	1.791×10^{-7}
	球体	0.000017	0.000448	0.962	223.220	0.930	1.790×10^{-7}
	指数	0.000009	0.000656	0.986	549.604	0.933	1.803×10^{-7}
	高斯	0.000080	0.001815	0.956	457.781	0.849	1.975×10^{-7}

3.3.3 三生空间景观生态安全耦合特征分析 景观生态安全耦合性能够间接反映出区域生态系统中“三生空间”的协调性,因此探讨生态-生产-生活空间之间的耦合特征对于区域生态系统安全性研究具有重要意义。为进一步分析研究区景观生态安全在空间上的耦合协调度,基于研究区域景观生态风险指数,借助耦合协调度模型,采用定量分析方法,利用 ArcGIS 栅格计算器工具计算得到耦合协调度指数,结合研究区

实际情况,将耦合协调度划分成 5 个等级:严重失调($0<D\leqslant0.012$)、中度失调($0.012<D\leqslant0.030$)、基本协调($0.030<D\leqslant0.055$)、中度协调($0.055<D\leqslant0.085$)、高度协调($D>0.085$),最后得到宜昌市景观生态安全耦合协调度等级分布图(图 4)及“三生空间”景观生态安全耦合协调度等级面积统计图(图 5)。

由图 4 可知,宜昌市“三生空间”景观生态安全的耦合协调度水平整体呈现“西高东低”的分布特征,地

区差异较为显著。宜昌市西部秭归县、兴山县、长阳土家族自治县及五峰土家族自治县“生态-生产-生活”空间耦合协调性水平较高,而东部西陵区、枝江市及当阳市“三生空间”景观生态安全的耦合协调度水平整体低于西部地区,这是由于西部地区整体海拔高于东部平原地区,生态、生产和生活空间整体布局较为

均匀合理,“生态-生产-生活”空间耦整体合协调性水平较高,而东部平原地区,土地利用类型主要以建设用地及耕地为主,人类活动影响较大,生活空间和生态空间面积占比较高,生态空间面积总体低于西部地区,生态空间整体呈现下降趋势,故“三生空间”景观生态安全的耦合协调度水平较低。

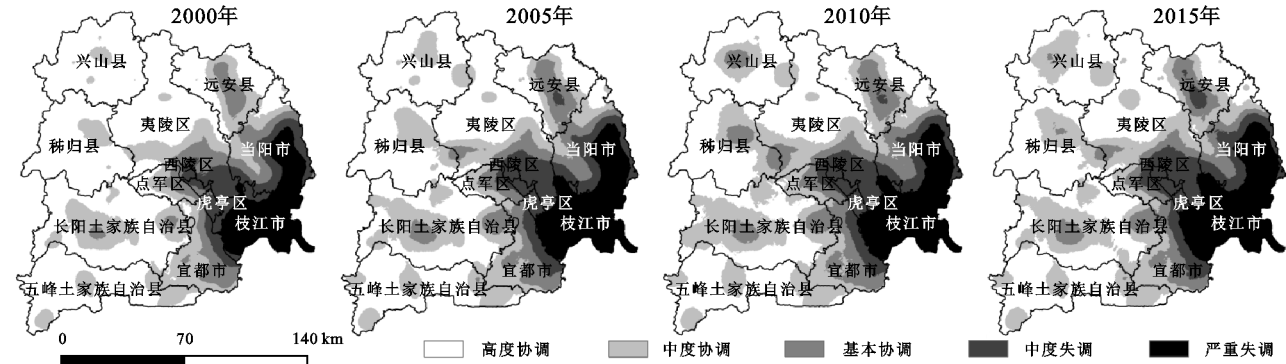


图 4 景观生态安全耦合协调度等级分布

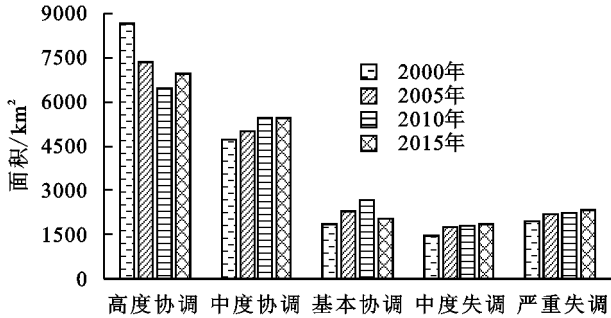


图 5 三生空间景观生态安全耦合协调度等级面积

由图 5 可知,2000—2015 年宜昌市不同景观生态安全耦合协调度等级面积差异变化显著。高耦合协调度区,面积呈现先减少后增加的态势,整体上来看,仍然呈现减少态势,面积从 2000 年 8 638.33 km² 减少到 2015 年的 6 954.78 km²,表明研究区生态-生产-生活空间的耦合协调度下降。中度协调区域面积呈现增加态势,从 2000 年 4 852.21 km² 增加到 2015 年的 5 658.45 km²,增加了 806.19 km²,表明研究区“三生空间”中度耦合性协调度区域面积在呈现稳定上升态势,也间接反映出“三生空间”耦合协调度逐渐趋于合理。基本耦合协调度区面积呈现逐渐增加态势,近 15 a 间整体增加了 721.77 km²。基本协调区面积呈现先增加后减少态势,其中 2010 年面积占比最高,为 2 668.34 km²,这一定程度上反映出基本协调区域面积整体呈现扩张态势,表明研究区“三生空间”的耦合协调度有转好的趋势。中度失调区域面积呈现增加态势,从 2000 年 1 457.13 km² 增加到 2015 年的 1 845.97 km²,增加了 388.84 km²。严重失调区域面积呈现逐渐增加态势,整体增加幅度较小,从 2000 年 1 967.53 km² 增加到 2015 年的 2 337.25

km²,增加了 369.72 km²。

综上所述可以看出,宜昌市“三生空间”的景观生态安全耦合协调度仍然以高度和中度协调区域占据主导地位,这能在一定程度上反映出研究区整体三生空间生态环境质量较高。但不可否认,高耦合协调度区面积呈现逐渐减少态势,中度及严重失调区域面积整体呈现增加态势,因此地方主管部门应引起高度重视,严格土地管理及审批制度,保护基本农田,严禁毁林开荒,提高土地集约利用效率,逐步改善区域生态环境质量,提高“三生空间”耦合协调度。

4 讨论与结论

4.1 讨论

宜昌市作为湖北省副省会城市,也是长江沿线的重要港口城市,著名的三峡大坝也位于宜昌市境内。随着国家城镇化进程推进,城市人口集聚度上升、城市建成区不断向周边扩张,加上上游水库截流效应影响,使得宜昌市景观生态系统稳定性出现不同程度下降。同时伴随着国家生态文明思想和新发展理念的提出,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。

本研究基于宜昌市 2000—2015 年 4 期土地利用遥感基础调查数据及县级行政区划数据,借助全局自相关模型和地统计空间分析方法,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,研究选用多时段遥感数据对宜昌市景观生态安全进行了定性和定量化分析评价,对宜昌市“三生空间”合理规划布局及区域“生产-生活-生态”功能关系协调发展具有一定的科学指导和理论参考价值。不可

否认,当前区域生态安全受到的影响因素日益复杂,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。如何利用多源遥感及社会经济数据,构建更为完善的“三生空间”指标分类体系,将是今后开展区域景观生态安全评价研究的重要方向。

4.2 结 论

(1) 2000—2015 年,宜昌市以林地生态空间占比最大,均在 71%以上,其次为生产空间和生活空间,而生态空间面积呈现先增加后减少趋势,2010 年达到最大值,为 16 798.07 km²,表明研究区生态环境有转好趋势。生活空间呈现逐渐增加态势,2015 年达到最大值,366.28 km²,生产空间呈现先减少后增加态势,这些变化多是由于人类活动强度增强而导致。

(2) 2000—2015 年,宜昌市景观生态安全整体处于较高水平,呈现西北—西南高、东部低的空间分布特征,安全区集中分布土家族自治县、夷陵区及兴山县,不安全区主要分布在当阳市、枝江市等低海拔地区。

(3) 2000—2015 年宜昌市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态势。生态风险聚集的高值区主要分布在宜昌市东南部当阳市、枝江市,低风险区主要分布在宜昌市西北部兴山县,这是由于东南部海拔整体低于西北部,人类活动较为频繁,导致该区成为生态风险的高值聚集区。

(4) 宜昌市“三生空间”景观生态安全的耦合协调度水平不高,整体上呈现“东高西低”的空间分布特征,西北西南山区的景观生态安全耦合协调性明显优于东部城镇中心的景观生态安全耦合度。

参考文献:

[1] 李久林,徐建刚,储金龙.基于 Circuit 理论的城市生态安全格局研究:以安庆市为例[J].长江流域资源与环境,2020,29(8):1812-1824.

[2] Wu J. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes[J]. Landscape Ecology, 2013,28(6):999-1023.

[3] 王一山,张飞,陈瑞,等.乌鲁木齐市土地生态安全综合评价[J].干旱区地理,2021,44(2):427-440.

[4] 刘顺鑫,黄云.“三生空间”视角下万州区景观生态安全评价及其耦合特征分析[J].水土保持研究,2020,27(6):308-316.

[5] 袁媛,罗志军,赵杰,等.基于景观结构和空间统计学的南昌市景观生态安全评价[J].水土保持研究,2020,27(3):247-255.

[6] 裴欢,魏勇,王晓妍,等.耕地景观生态安全评价方法及其应用[J].农业工程学报,2014,30(9):212-219.

[7] 宋豫秦,曹明兰.基于 RS 和 GIS 的北京市景观生态安全评价[J].应用生态学报,2010,21(11):2889-2895.

[8] 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.

[9] 孙才志,闫晓露,钟敬秋.下辽河平原景观生态安全评价及空间结构分析[J].安全与环境学报,2014,14(2):266-272.

[10] 王媛,周长威.黔中城市群景观生态安全格局构建[J].生态与农村环境学报,2019,35(9):1111-1117.

[11] 赵文力,刘湘辉,鲍丙飞,等.长株潭城市群县域生态安全评估研究[J].经济地理,2019,39(8):200-206.

[12] 陈利顶,周伟奇,韩立建,等.京津冀城市群地区生态安全格局构建与保障对策[J].生态学报,2016,36(22):7125-7129.

[13] 戴文远,黄华富,黄万里,等.海岛生态脆弱区景观生态安全时空分异特征:以福建海坛岛为例[J].生态科学,2017,36(4):152-159.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 张玉虎,李义禄,贾海峰.永定河流域门头沟区景观生态安全格局评价[J].干旱区地理,2013,36(6):1049-1057.

[17] 吉冬青,文雅,魏建兵,等.流溪河流域土地利用景观生态安全动态分析[J].热带地理,2013,33(3):299-306.

[18] 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,2003,21(1):1-12.

[19] 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.

[20] 王成,唐宁.重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J].地理研究,2018,37(6):1100-1114.

[21] 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.

[22] 郭恒亮,刘如意,赫晓慧,等.郑州市景观多样性的空间自相关格局分析[J].生态科学,2018,37(5):157-164.

[23] 刘世梁,安南南,侯笑云,等.澜沧江下游景观破碎化时空动态及成因分析[J].生态环境学报,2018,27(7):1351-1358.

[24] 孔福星,王亚娟,刘小鹏,等.生态移民安置区景观格局的尺度效应分析:以红寺堡区为例[J].水土保持研究,2018,25(3):339-345.

[25] 李栋科,丁圣彦,梁国付,等.基于移动窗口法的豫西山丘陵区景观异质性分析[J].生态学报,2014,34(12):3414-3424.

[26] 李灿,张凤荣,朱泰峰,等.大城市边缘区景观破碎化空间异质性:以北京市顺义区为例[J].生态学报,2013,33(17):5363-5374.