

DOI: 10.5846/stxb201805291185

曹玉红, 陈晨, 张大鹏, 刘美云, 董舜舜. 皖江城市带土地利用变化的生态风险格局演化研究. 生态学报, 2019, 39(13): - .

Cao Y H, Chen C, Zhang D P, Liu M Y, Dong S S. Evolution of ecological risk pattern of land use change in Wanjiang City Belt. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(13): - .

皖江城市带土地利用变化的生态风险格局演化研究

曹玉红^{1,*}, 陈 晨¹, 张大鹏², 刘美云¹, 董舜舜¹

¹ 安徽师范大学环境科学与工程学院, 芜湖 241002

² 安徽师范大学地理与旅游学院, 芜湖 241002

摘要: 皖江城市带作为我国国土空间开发中的重要战略区, 对经济发展和区域振兴起到了关键性的支撑作用。但是随着要素集聚和经济发展, 引发了农用地向建设用地快速转变、景观格局中的关键生态涵养源萎缩、区域生态服务功能弱化等方面的快速变化, 区域生态安全面临新的挑战。研究收集了皖江城市带多期、长时段的土地利用影像解译数据, 获取 DEM、降水、地形地貌、植被覆盖等自然生态属性数据, 基于 GIS 平台, 综合集成应用生态风险指数模型、空间自相关、半方差分析法开展生态风险格局演化研究。结果表明: 皖江城市带 1995—2015 年近 20 年的生态风险整体不断上升, 且存在明显的空间分异, 生态风险明显增强的区域主要是合肥以及芜马铜沿江城市为主, 西南大别山区与南部皖南山区没有大的变化, 生态风险增加的区域主要在低海拔和低坡度的平原、丘陵地带, 区域内生态风险分布的两极分化特征明显。有利于推动生态风险的理论研究, 且对安徽参与长江经济带建设、保护长江具有一定的现实指导意义。

关键词: 生态风险; 土地利用; 皖江城市带

Evolution of ecological risk pattern of land use change in Wanjiang City Belt

CAO Yuhong^{1,*}, CHEN Chen¹, ZHANG Dapeng², LIU Meiyun¹, DONG Shunshun¹

¹ College of Environmental Science and Engineering, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China

² School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China

Abstract: As an important strategic region in China's territorial space development, the Wanjiang City Belt has a key supporting role in economic development and regional revitalization. An agglomeration of factors and economic development have triggered the rapid transformation from agricultural land to construction land, the shrinking of key ecological conservation sources in the landscape pattern, and the weakening of regional ecological service functions. Thus, regional ecological security is facing new challenges. In this study, natural ecological attribute data, such as DEM (Digital Elevation Model), precipitation, topography, and vegetation cover, were obtained by collecting land-use image interpretation data from different periods in the Wanjiang City Belt. By using GIS, ecological risk index, spatial autocorrelation, and semi-variance analysis were integrated into the study of the evolution of ecological risk patterns. The results showed that the overall ecological risk of the Wanjiang City Belt between 1995 and 2015 increased continuously and had clear spatial differentiation. The ecological risks of Hefei and Wuhu-Maanshan-Tongling and other cities along the Yangtze River had risen significantly, but the Dabie Mountain and the Southern mountains in the Anhui Province remained relatively stable, and those areas with increased ecological risk were mostly located in low-altitude and low-slope plains and hills. In general, there is a clear polarization of ecological risk distribution in the region. This research is conducive to improving the theoretical study of ecological risk and has a practical guiding significance for the participation of Anhui in the construction

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571124)

收稿日期: 2018-05-29; 修订日期: 2019-05-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 562432296@qq.com

of the Yangtze River Economic Belt and the Yangtze River protection.

Key Words: ecological risk; land use; Wanjiang City Belt

土地既是人类活动的空间载体,也是全球环境变化的一个重要环节,影响着区域内生态系统的演化。自然生态系统和人工生态系统在能量流动、物质循环和信息传递过程中对于维持地球生命系统起着至关重要的作用,生态系统结构和功能的稳定性是保障人类社会生存和发展的必要条件^[1]。但随着人类活动的干扰,生态系统面临巨大的风险,生态系统在受到外界胁迫时,其内部某些要素或其本身的结构和功能可能发生退化^[2]。生态风险的不确定性使人们在生产生活中难以准确预料危害性事件发生的时间、地点、强度和范围,继而可能导致生态系统结构和功能的损失,生物多样性的减少,物种的衰亡等^[3]。国内关于土地利用生态风险的研究主要集中在土地利用方式、土地利用类型和土地利用结构等方面,运用 RS 和 GIS 技术软件,结合土地利用类型图、植被覆盖图来探讨生态风险^[4-6],且从生态风险评价的角度讨论一个完整区域在受到不同干扰源时所面临的生态风险威胁^[7-9];国外学者在关注生态实体保护的基础上,整合生态系统服务以解决内部机制关系,同时与人类福祉等外部驱动因素产生联系^[10-13]。但不足之处在于对概念模型进行土地利用生态风险评价时,主要基于土地利用/覆被变化来研究景观生态格局的变化,以此来评价生态风险,缺少空间相关分析和量化。与土地利用分析相结合的生态风险评价逐渐成为环境管理视角研究的主要特点,目前的研究多以土地利用的结构计算结果构建生态评价指标体系,利用专家打分法、层次分析法确定各土地利用类型的权重,最后根据空间分析模块总体相关部分模拟区域内部生态风险的变化情况^[14-15],而以长时段的土地利用变化数据结合 DEM 等栅格数据来研究生态风险的变化较少。本研究拟以 1995—2015 年土地利用数据、DEM 数据等作为基础,以土地生态服务价值、功能系统演化为出发点,综合选用空间分析工具和地统计分析模型,测度皖江城市带生态风险演化过程、特征,尝试揭示皖江城市带 20 年来生态风险变化及其时空分异特征,为政策制定、环境保护及沿江区域协调发展提供理论参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 皖江城市带概况

皖江城市带指安徽长江两岸的合肥、芜湖、马鞍山、安庆、滁州、池州、铜陵、宣城 8 个地级市全境以及六安市的金安区和舒城县,位于长三角西部,是长江经济带重要的组成部分(图 1)。自 1990 年省委省政府做出的“呼应浦东、开发皖江”的重大决策以来,该区域人口、产业开始集聚,工业园区不断出现,对区域自然环境的干扰破坏强度越来越大,出现生物多样性严重退化、生态环境功能衰退、环境承载力及容量过饱和等生态资源风险。近年,在长江大保护这一绿色发展方略下,皖江城市带地区土地利用快速变化、生态系统承载能力日益脆弱、生态体系破坏及其引发的风险等生态安全问题成为学界、政界关注的热点。

1.2 数据来源

皖江城市带 1995—2015 年的土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),数字高程模型数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),选取多景数据在 ArcGIS 中镶嵌合成后裁剪为研究区,数据精度为 30 m×30 m。

2 研究方法

2.1 划分生态风险单元

根据皖江城市带面积大小,结合数据精度以及研究目的,参考生态安全评价中有关格网划分的做法^[16],将研究区划分为 5 km×5 km 的格网,通过等间距采样将生态风险空间化,共得到 3325 个格网单元,计算得到每个格网的生态风险,将值赋到每个格网中心点,以此作为格网单元的生态风险值,如图 2。

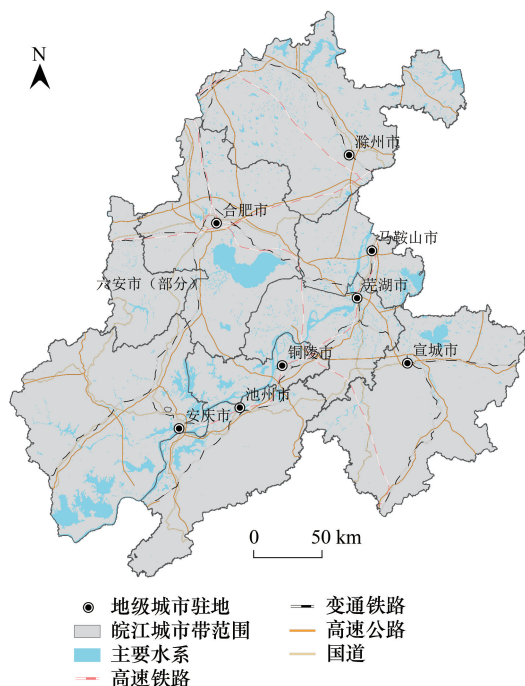


图1 皖江城市带区位图

Fig.1 Wangjiang City Belt location

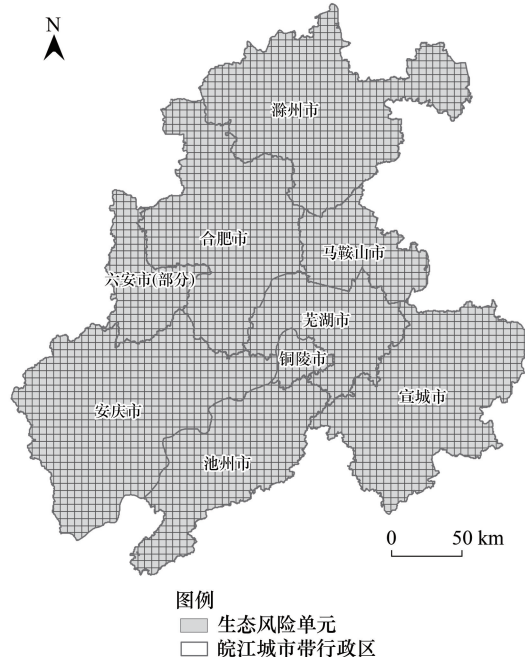


图2 生态风险单元划分

Fig.2 Ecological risk unit division

2.2 生态风险指数计算

不同用地类型的生态服务功能和价值不同,一般来说建设用地生态服务价值低,而农用地、水面等的生态服务价值高。样地的生态风险状态取决于该地块的不同用地类型的空间组合及比例情况,即受景观干扰度、景观脆弱度深刻影响。基于此,参考已有研究成果,根据样地内不同土地利用类型的面积比例,构建土地利用生态风险指数^[17](Ecological Risk Index, ERI),以此评价皖江城市带各格网单元的生态服务功能的损失风险,比较各单元的生态风险差异,见公式(1):

$$ERI = \sum_{i=1}^n \frac{S_{ai}}{S_i} C_i \quad (1)$$

式中,ERI 表示生态风险指数; S_i 为第*i*个格网的总面积; S_{ai} 为第*i*个格网第*a*类土地利用类型的面积; C_i 代表第*i*类土地利用类型的生态风险参数; N 表示土地利用类型的数量。

2.3 空间自相关分析(Moran's I 指数)

1)全局自相关^[18-19]是根据给定要素及其属性值评判其模式是否为聚类、离散还是随机,结果通过计算得出的 Moran'I 值、z 得分以及 p 值得分确定其是否具有显著性,其公式如下:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} Z_i Z_j}{\sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (2)$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \quad (3)$$

$$Z = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (4)$$

式中, z_i 表示空间要素*i*和平均值($x_i - \bar{X}$)的差, $w_{i,j}$ 表示要素*i,j*之间代表的空间权重, n 为要素总数目, S_0 为全部空间权重的集合。Moran'I 指数的值通常介于-1 和 1 之间,若 Moran'I 值大于零,表明空间自相关程度较

高,呈现聚类特征,反之表示其空间自相关程度较低,呈现离散特征,若为零则表示不相关,呈现随机特征。

2)局部空间自相关表示在一个小范围区域内其属性值与周围单元属性值的关联程度,一般用其表征单元间的自相关属性^[17],计算其 LISA 指数衡量单元自相关程度差异,其公式为:

$$LISA = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} \sum_j W_{ij} (x_j - \bar{x}), i \neq j \quad (5)$$

式中,各指数含义同全局自相关中各指数代表含义,若 LISA 值小于零表示不属相似值的聚类,若大于零表示为相似值的高值\低值聚类。

2.4 半方差分析法

ArcGIS 的地统计分析模块(Geostatistical Analyst)可以通过点要素或栅格要素的值创建一个连续表面以模拟其空间起伏变化,可借助其中的半变异函数计算以分析研究区生态风险程度的空间分布^[20-22],其公式如下:

$$R(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

式中, $R(h)$ 表示半变异函数值, h 表示单元间的距离, $N(h)$ 表示单元总数, $Z(x_i)$ 与 $Z(x_i+h)$ 分别表示 x_i 、 x_i+h 的风险值。

3 结果分析

3.1 生态风险指数空间自相关分析

3.1.1 全局自相关分析

应用公式(1)计算得到各期各评价单元的生态风险指数,再利用 ArcGIS 10.2 空间分析模块进行全局自相关分析测算 Moran'I 指数,以表征该区域生态风险在空间上是否具有趋同性,来探讨皖江城市带整体空间模式的变化。结果如表 1:

表 1 皖江城市带不同年份生态风险空间分布的 Moran'I 指数

Table 1 The Moran'I index of ecological risk spatial distribution in different years of Wanjiang City Belt

年份 Year	1995	2000	2005	2010	2015
Moran'I 指数 The index of Moran'I	0.8843	0.8834	0.8805	0.8697	0.8675

* P 值得分及 z 值显示全部结果置信度均为 99%

由表 1 可以看出,1995—2015 年皖江城市带的生态风险指数自相关程度均大于零,且不断下降,其中 1995—2000 年段微小下降,2000—2005 年段与 2010—2015 年段小幅下降,分别从 0.8843、0.8834、0.8697 下降到 0.8834、0.8805、0.8675,而 2005—2010 年段下降的幅度最大,从 0.8805 下降到 0.8697,至 2015 年其全局自相关指数达到最低,未来仍有下降的趋势。皖江城市带的生态风险指数在空间上表现为明显的正相关现象,虽然整体略有下降,但幅度不大,各风险单元间存在着较高的关联度,表现为集聚特征与趋同特征。1995—2000 年,皖江城市带区内是工业化启动的时段,人类经济活动强度不大,对于人类聚居环境的改造也不明显,城镇布局较为散乱,生态地如林地、草地、水域呈镶嵌状,总体呈现破碎化发展。随着工业化、城镇化的逐渐加速,2000—2010 年间,区内工业园区纷纷设立,人口不断积聚,城镇规模不断扩张,城市逐渐从中心区向周边蔓延发展,尤其在各中心城市周边,建设用地不断向外围呈现“摊大饼”式的建设扩展,而林地、草地也逐渐向人文景观类型过渡,呈连片式、规则化发展趋势。

3.1.2 局部自相关分析

局部自相关分析更加侧重空间化的表达,可以模拟出相邻的不同单元间的风险自相关程度,且在视觉上可显著反映出高-高聚类或是低-低聚类所发生的区域。通过 ArcGIS 10.2 中的局部自相关分析工具,可以得

到 1995—2015 年 5 个时间段的 LISA 分析结果,如图 3:

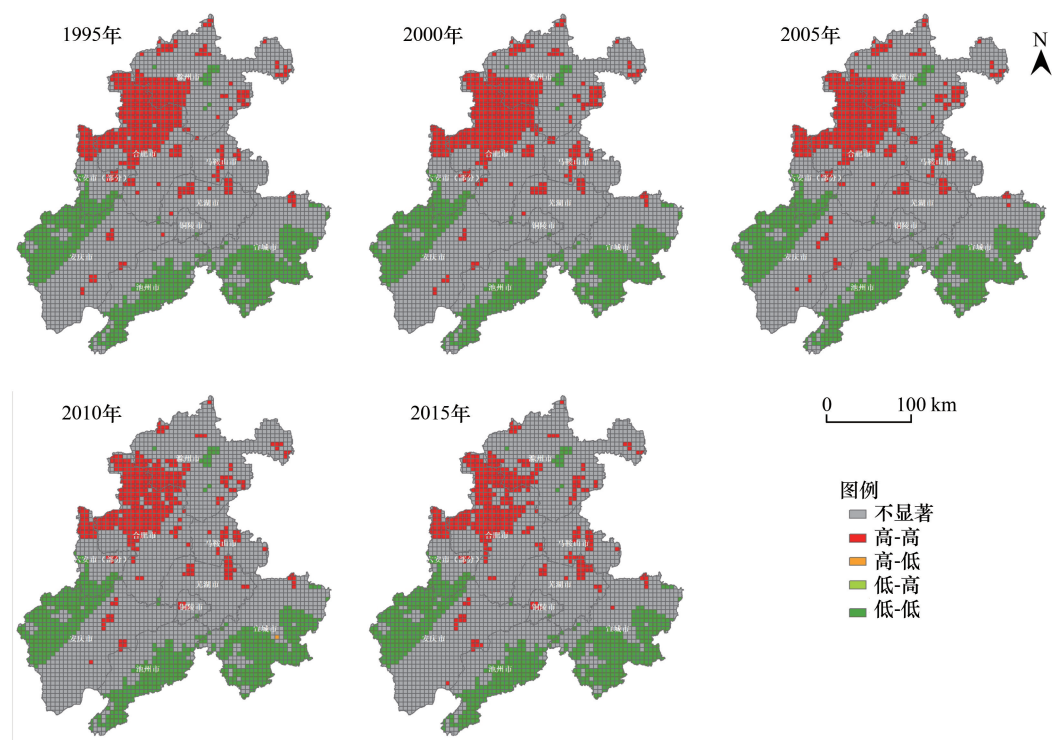


图 3 1995—2015 年皖江城市带生态风险局部空间自相关分析结果

Fig.3 The local spatial autocorrelation analysis of ecological risk of Wanjiang City Belt from 1995 to 2015

由图 3 可知:1995—2015 年皖江城市带的高-高聚类及低-低聚类区基本保持较为稳定的分布格局,高-高聚类区集中分布于合肥、六安市金安区及舒城县;另外沿长江的周边城市区域也有部分呈现此类空间相关格局。生态风险呈现低-低聚类模式的区域主要分布于安庆市西北部靠大别山各县,如潜山县、太湖县、宿松县、望江县、岳西县等;此外长江以南的部分皖南山区,如池州、宣城等,这些生态风险呈现低-低聚类分布的区域多以山区为主,在受到海拔高度影响下,保留了较为原始的山区面貌,城镇建设发展速度较为缓慢,因此始终保持低-低聚类模式或不显著的分布趋势。

3.2 皖江城市带生态指数的半变异函数拟合

为进一步了解皖江城市带的生态风险值在空间上的结构及变化情况,将格网化后中心点的生态风险值对 5 期生态风险数据进行半变异系数模拟,并对比不同模型如高斯模型(Gaussian)、环状模型(Circular)、球状模型(Spherical)、线性模型(Linear)等,选取最终效果最佳的球状模型进行拟合。结果如表 2:

表 2 生态风险指数的理论半变异函数模拟结果

Table 2 Theoretical semivariogram simulation results of ecological risk index					
年份 Year	模型 Model	变程 Range	块金值 Nugget	基台值 Sill	块金基台比 Nugget/Sill
1995	球状模型	172689.75	0.42	0.64	0.66
2000	球状模型	174050.17	0.42	0.66	0.63
2005	球状模型	170842.36	0.45	0.68	0.66
2010	球状模型	170842.36	0.44	0.63	0.70
2015	球状模型	165770.45	0.46	0.67	0.69

由表 2 可知:1995—2015 年皖江城市带生态风险模拟中的变程呈现出先升后降的变化趋势,1995—2000

年由 172689.75 m 逐渐增加至 174050.17 m, 至 2005 年再降为 170842.36 m, 2005—2010 年保持不变, 至 2015 年再继续降至 165770.45 m, 为全时段最低水平, 生态风险在空间上互相关联的距离逐渐增大。皖江城市带 1995—2015 年间的块金基台比呈现出“降—升—降”的趋势, 1995 年为 0.66, 2000 年降至 0.63, 2005 年重新升为 0.66, 2010 年升为 0.7, 2015 年再降为 0.69, 说明研究区生态风险的变化总体相关性在不断减弱, 仅在 1995—2000 年和 2010—2015 年有微弱降低趋势, 随机因素对于生态风险的变化影响逐渐增加, 但结构因素仍占主导作用。

3.3 皖江城市带生态风险的时空分异演变

基于半变异函数的模拟结果, 在 ArcGIS 10.2 中利用空间插值法中的克里格法 (Ordinary Kriging) 对 3325 个格网单元的生态风险指数进行插值, 绘制出 5 个时间段的皖江城市带生态风险时空分异图, 并根据相对指标法划分各时段的生态风险指数等级, 将结果分为高生态风险 (>0.25)、中高生态风险 ($0.2—0.25$)、中生态风险 ($0.15—0.2$)、中低生态风险 ($0.1—0.15$) 和低生态风险 (<0.1) 5 个等级, 结果如图 4:

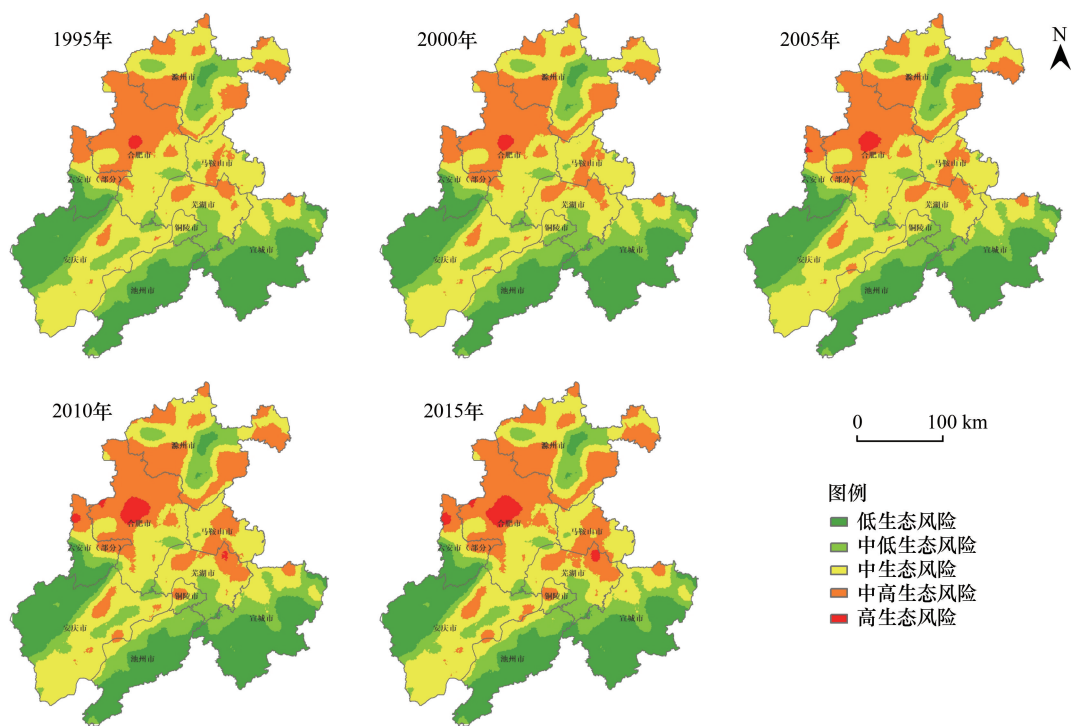


图 4 1995—2015 年皖江城市带生态风险插值图

Fig.4 Ecological risk difference map of Wanjiang City Belt from 1995 to 2015

由图 4 可知, 1995—2015 年皖江城市带的生态风险空间差异比较明显, 总体沿长江两岸呈对称分布, 以长江为轴向西北、东南方向扩散, 生态风险呈现出先升后降的发展趋势。1995—2015 年, 低生态风险区主要集中在西南大别山区和南部皖南山区, 呈大规模片状分布, 此外在皖江城市带北部也有小块低生态风险区, 主要集中于滁州北部的低山丘陵区。中低生态风险区主要沿长江两岸呈现条状分布, 与低生态风险的变化趋势轮廓保持一致。中生态风险区主要分布在皖江城市带以耕地为主的平原地区, 但由于开发强度的增加, 大量耕地被转化为生态风险指数更高的建设用地, 同时有较大范围的中生态风险区被转换为中高生态风险区与高生态风险区。中高生态风险区与高生态风险区主要出现在合肥、芜湖两市及沿江城市中心建成区, 中高生态风险区以高生态风险区为核心向周围蔓延扩散, 且高生态风险区在不断扩张, 这类地区经济、产业都十分发达, 人口大量聚集, 集中连片的建设使得高生态风险区迅速蔓延, 未来需要对此加强生态建设, 改善城市内部的生活环境。

3.4 皖江城市带生态风险的时序变化特征分析

根据五期皖江城市带各格网单元的生态风险指数统计(图 5)可得知,1995 年其生态风险指数位于 0.042—0.367 区间,平均值为 0.148,2000 年其生态风险指数位于 0.042—0.369 区间,平均值为 0.149,2005 年其生态风险指数位于 0.042—0.388 区间,平均值为 0.149,2010 年其生态风险指数位于 0.042—0.388 区间,平均值为 0.152,2015 年其生态风险指数位于 0.042—0.389 区间,平均值为 0.153。1995—2015 年皖江城市带的生态风险指数的平均值由 1995 年的 0.148 增长为 2015 年的 0.153,表明尽管整体上皖江城市带的生态风险水平都较低,生态威胁不明显,但也出现了部分高生态风险区聚集发展的现象。

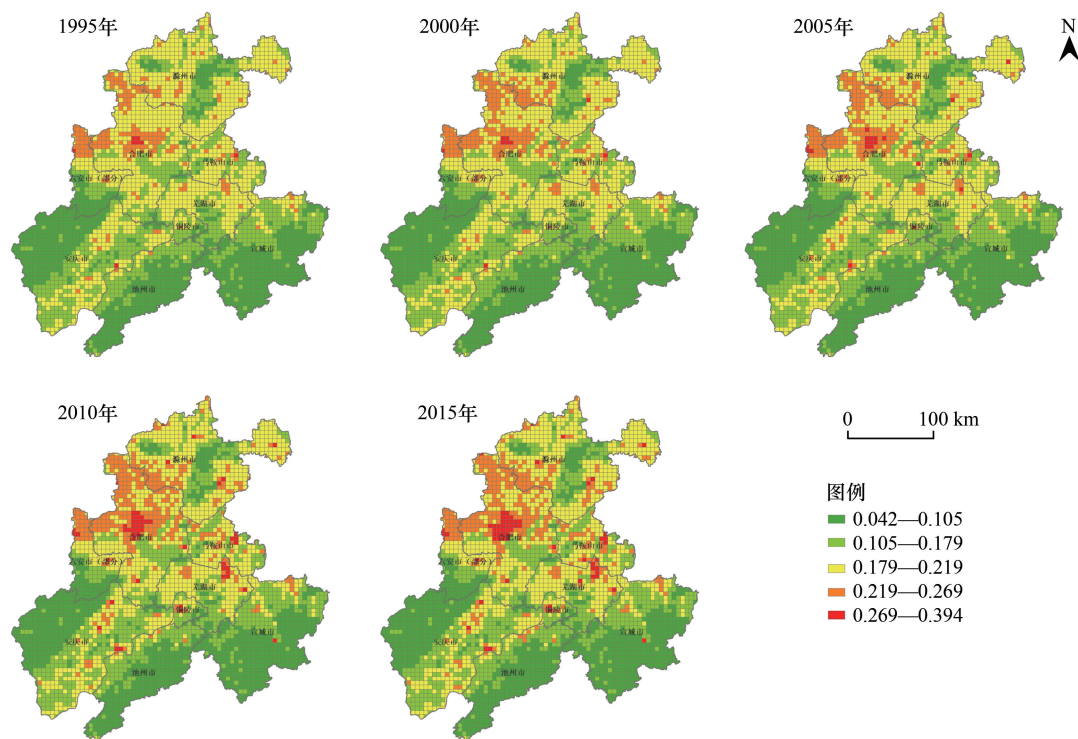


图 5 皖江城市带 1995—2015 年生态风险分布图

Fig.5 Ecological risk distribution of Wanjiang City Belt from 1995 to 2015

为了更好的比较不同时期内生态风险指数的变化情况,将后一年的生态风险值减去前一年的生态风险值,通过 ArcGIS 10.2 中的栅格计算器工具对 1995—2000 年、2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2015 年和 1995—2015 年的生态风险变化进行计算,若栅格相减值相差 1 则代表该栅格单元的生态风险指数小幅度的增加或减少,若栅格相减值相差 2 则代表该栅格单元的生态风险大幅度的增加或者减少,将栅格计算结果输出,得到图 6:

由图 6 可知:1995—2000 年、2000—2005 年、2005—2010 年以及 2010—2015 年间,皖江城市带生态风险总体呈现小幅增加与波动。1995—2000 年间,研究区内出现生态风险小幅增加的地区主要分布于合肥、滁州、马鞍山、芜湖等周边较少的区域,呈环状增加,这是由于城市在不断向周边扩展导致的,此时间段内生态风险的增加仍属于不明显的缓慢增长趋势。2000—2005 年间,在合肥、安庆、马鞍山地区出现了新的生态风险增加的现象,随着城市的开发建设,生态风险也不断提高,呈环状向周边扩张,受退耕还林、农业种植影响,上个时间段呈现增长趋势的区域在此时间段也消失了。2005—2010 年间,由于城镇化的快速发展,生态风险数值出现增加的区域除合肥市外主要集中在长江沿岸,由前期的零星分布逐渐蔓延成片状发展模式。2010—2015 年间,较上一时期生态风险在空间上的变化相对温和,主要分布于合肥周边以及长江南岸(芜湖、铜陵),在海拔相对较高的山区则无变化,这也说明人类活动的加剧是生态风险提高的主要原因。整个研究期内,皖

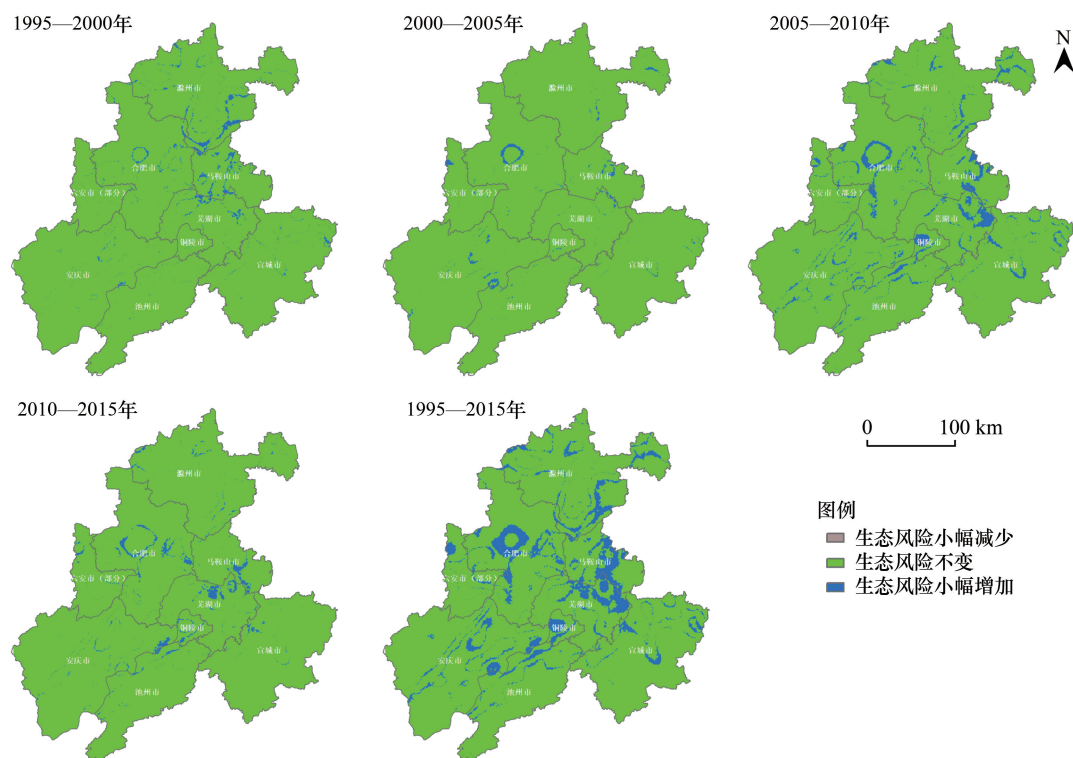


图 6 1995—2015 年皖江城市带生态风险变化特征图

Fig.6 Ecological risk characteristics map of Wanjiang City Belt from 1995 to 2015

江城市带的生态风险变化更加强烈的区域仍只出现在沿江各城市,说明城市是生态风险扩张的主要来源,此外,在西南大别山区与南部皖南山区,生态风险几乎没有变过,表明生态风险分布的两级分化情况严重。如何调整区域间的差异,更好地利于整体环境的发展以及生态的改善是今后需要重点思考的问题。

4 结论与讨论

4.1 结论

基于以上研究可得出如下结论:

(1)研究期内,皖江城市带的生态风险指数在空间上呈现明显的正相关关系,虽然整体略有下降,但幅度不大,各风险单元之间表现出集聚特征与趋同特征。皖江城市带生态风险指数的自相关程度均大于零,且有不断下降的趋势,其中 2005—2010 年时间段的下降幅度最大,从 0.8805 下降到 0.8697,至 2015 年其全局自相关指数达到最低。研究区内北部高-高聚类区域出现了明显的缩小趋势,在城镇发展初期往往呈现较为混乱的无序发展方向,风险往往呈现高-高聚类现象,而随着城镇建设水平的提高、退耕还林及生态环境的改善,这种生态风险自相关模式也会由高-高聚类逐渐转变为不显著的分布状态。但在城市中心如合肥城区、六安市金安区城区,不同时段始终保持高-高聚类模式,主要是由于城市中心经济发展速度较快,人口相对密集,因此人类活动影响最为强烈,土地的开发强度较高。

(2)随着经济发展、人类活动的增强及城市建设发展的差异,皖江城市带沿江地区土地利用形式的改变导致的生态风险的空间差异也逐渐增大,生态风险强度相关距离逐步提高。在西南部大别山区及皖南山区由于旅游业的进步,对生态的保护意识逐渐加强,加上部分山区的开发难度增大,其变程增速逐渐变缓,甚至在 2005—2010 年间出现增长停滞现象。1995—2015 年皖江城市带生态风险模拟中的变程先升后降,至 2015 年降至 165770.45 m,为全时段最低水平,生态风险在空间上互相关联的距离逐渐增大。

(3)总体上皖江城市带的生态风险随时间推移有明显的小幅度增加趋势,且存在明显的空间分异。合肥

以及芜湖、马鞍山、铜陵等沿江城市是生态风险变化明显增强的区域,西南大别山区与南部皖南山区生态风险几乎没有大的变化,低海拔和低坡度的平原、丘陵地带是生态风险增加的区域,区域内生态风险分布的两极分化特征明显。

4.2 讨论

自古以来人类就择水而居,沿江区域日渐成为社会经济活动的集中区。伴随各种社会经济活动强度的变化,土地利用形式也随之发生演化。在土地利用中,每一单元的土地都可能承担多种生态功能,从空间上将生态服务功能和面临的主要生态危机作为辨识指标可以较为全面地反映出区域的关键性生态空间。随着长江经济带战略的实施,沿江区域既是社会经济发展的重点空间载体,也是生态环境保护的核心区域,有必要持续关注和研究其面临的生态风险及其演化规律。本文对皖江城市带地区土地利用变化的生态风险评估,既有利于推动生态安全的理论和方法研究,也对安徽参与长江经济带建设、保护长江具有一定的现实和理论指导意义。但本研究只是将皖江城市带视为一个封闭的系统来进行研判,而没有考虑区域间的能量、物质的交换会带来生态安全的影响,因此这一假设存在一定的局限性;其次,在研究方法上,几种空间分析方法虽然可以揭示皖江城市带生态风险在整体上的空间变化趋势,从生态风险各单元指数在空间上是否呈现聚类、分散或随机分布的角度分析生态风险空间变化,但仅仅研究了生态风险变化量及其空间上的差异,而未能识别具体区域生态风险程度以及区域生态风险发生量变到质变的“临界点”;第三,研究内容上仍然过于粗略,未能深入甄别何种经济活动诱发了生态风险的发生,同时生态系统的自恢复能力在何种程度上予以抵消这种负面效应,对于解决现实问题有一定的局限。因此在以后的研究中,无论是理论构建、研究方法以及针对解决现实问题的能力等方面有待继续改进和完善。

参考文献 (References):

- [1] 康鹏, 陈卫平, 王美娥. 基于生态系统服务的生态风险评价研究进展. 生态学报, 2016, 36(5): 1192-1203.
- [2] 吕乐婷, 张杰, 孙才志, 王晓蕊, 郑德凤. 基于土地利用变化的细河流域景观生态风险评估. 生态学报, 2018, 38(16): 5952-5960.
- [3] Wang Y, Wei Y N, Guo P R, Pan J C, Wu Q H, Liu N. Distribution variation of heavy metals in maricultural sediments and their enrichment, ecological risk and possible source—A case study from Zhelin bay in Southern China. Marine Pollution Bulletin, 2016, 113(1/2): 240-246.
- [4] 苏浩, 吴次芳. 基于景观结构的农林交错带土地利用生态风险时空分异研究. 经济地理, 2017, 37(5): 158-165.
- [5] 李玉珍, 张永福, 安放舟. 基于 GIS 的新和县土地利用生态风险分析. 水土保持研究, 2015, 22(1): 172-175, 180-180.
- [6] 韦仕川, 吴次芳, 杨杨, 黄木易, 杨志荣. 基于 RS 和 GIS 的黄河三角洲土地利用变化及生态安全研究——以东营市为例. 水土保持学报, 2008, 22(1): 185-189.
- [7] 孙贤斌, 李玉成. 基于 GIS 的淮南煤矿废弃地土壤重金属污染生态风险评价. 安全与环境学报, 2015, 15(2): 348-352.
- [8] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 安静. 流域景观结构的城市化影响与生态风险评价. 生态学报, 2011, 31(12): 3432-3440.
- [9] 赵岩洁, 李阳兵, 邵景安. 基于土地利用变化的三峡库区小流域生态风险评价——以草堂溪为例. 自然资源学报, 2013, 28(6): 944-956.
- [10] Bartolo R E, van Dam R A, Bayliss P. Regional ecological risk assessment for Australia's tropical rivers: application of the relative risk model. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2012, 18(1): 16-46.
- [11] Biksey T M, Schultz A C, Bernhardt A M, Marion B, Peterson C, Smith P. Ecological and human health risk assessment. Water Environment Research, 2011, 83(10): 1876-1905.
- [12] Lattimore B, Smith C T, Titus B D, Titus B D, Stupak I, Egnell G. Environmental factors in woodfuel production: Opportunities, risks, and criteria and indicators for sustainable practices. Biomass and Bioenergy, 2009, 33(10): 1321-1342.
- [13] Hobday A J, Smith A D M, Stobutzki I C, Bulman C, Daley R, Dambacher J M, Deng R A, Dowdney J, Fuller M, Furlani D, Griffiths S P, Johnson D, Kenyon R, Knuckey I A, Ling S D, Pitcher R, Sainsbury K J, Sporic M, Smith T, Turnbull C, Walker T I, Wayte S E, Webb H, Williams A, Wise B S, Zhou S. Ecological risk assessment for the effects of fishing. Fisheries Research, 2011, 108(2/3): 372-384.
- [14] 叶长盛, 冯艳芬. 基于土地利用变化的珠江三角洲生态风险评价. 农业工程学报, 2013, 29(19): 224-232.
- [15] 田义超, 梁铭忠, 任志远. 城乡过渡区土地利用变化模拟与生态风险时空异质性特征. 环境科学研究, 2013, 26(5): 540-548.
- [16] 王耕, 吴伟. 基于 GIS 格网技术的流域生态安全可视化评价. 大连理工大学学报, 2006, 46(5): 667-672.
- [17] Xie H L, Wang P, Huang H S. Ecological risk assessment of land use change in the Poyang Lake Eco-economic Zone, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2013, 10(1): 328-346.
- [18] 王巍淇, 李天宏. 基于土地利用空间结构的云南省生态风险时空变化分析. 北京大学学报: 自然科学版, 2014, 50(2): 355-360.
- [19] Dale V H, Kline K L. Issues in using landscape indicators to assess land changes. Ecological Indicators, 2013, 28: 91-99.
- [20] 胡金龙, 罗楠, 樊亚明. 基于土地利用变化的漓江上游生态风险时空分异. 浙江林业科技, 2017, 37(2): 88-94.
- [21] 彭文君, 舒英格. 基于 GIS 的石漠化山区县域土地利用空间变化的生态风险测度. 水土保持研究, 2018, 25(1): 342-348, 355-355.
- [22] 杜军, 杨青华. 基于土地利用变化和空间统计学的区域生态风险分析——以武汉市为例. 国土资源遥感, 2010, 22(2): 102-106.