

基于土地利用变化的长江经济带生态风险研究*

吕红亮^{1,2,3)} 周霞^{2,3)} 张文新^{1)†} 王红瑞⁴⁾

(1)北京师范大学地理科学学部, 100875, 北京; (2)中规院(北京)规划设计有限公司, 100044, 北京;
3)中国城市规划设计研究院, 100044, 北京; 4)北京师范大学水科学研究院,
城市水循环与海绵城市技术北京市重点实验室, 100875, 北京)

摘要 基于长江经济带 1980、2000、2015 年 3 期土地利用格局变化, 构建生态风险指数, 分析生态风险的时空变化及其对土地利用的响应特征. 1980—2015 年, 长江经济带土地利用变化的主要表现为建设用地剧增, 增加了 38 454.79 km², 主要源于耕地转化; 耕地、草地锐减, 分别减少 37 358.50、9 008.57 km². 长江经济带生态风险与土地利用呈较显著的空间正相关特征, 土地利用生态风险时空分异较明显: 上游、下游地区以低生态风险区为主, 中游地区中生态风险分布较广; 上游地区生态风险集聚趋势增强, 高风险集聚自相关区长期较为分散且无显著变化; 中游地区 2000 年后生态风险集聚趋势减弱, 高风险集聚自相关区集中于洞庭湖、鄱阳湖区域, 其他时期较为分散; 下游地区生态风险集聚趋势增强, 时空变化特征明显, 低风险集聚自相关区分布较广, 高风险集聚自相关区较少. 本文基于土地利用变化的长江经济带生态风险分析, 为开展国土整治与修复、推动土地可持续利用提供了针对性、差异化的思路和建议.

关键词 土地利用; 生态风险; 空间自相关; 长江经济带

中图分类号 X820.4

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2020090

0 前言

随着全球变化研究的日趋深入, 人类活动作为主因导致的土地利用/土地覆被变化(land use/cover change, LUCC)对环境变化的作用受到高度重视^[1]. 在缺乏长期、有效的生态监测资料时, 借助遥感技术、基于景观结构进行区域土地利用生态风险分析具有一定的理论和实践意义^[2].

近年来, 众多学者对不同区域生态风险进行了广泛而深入的研究. 国外学者对生态风险评价研究主要从风险源与受体关系着手^[3-4]; 国内学者如刘吉平、赵岩洁、刘永超等^[5-10]等利用景观指数分别对三峡库区小流域、太湖地区土地利用, 舟山朱家尖岛、象山港流域和三江平原的景观生态风险进行了研究.

当前, 对长江经济带的相关研究主要集中于土地利用时空格局及宏观特征分析^[11-12]、区域空间结构与格局演化^[13]、城镇化时空格局及其驱动力等方面^[14], 刘凤等^[15]对长株潭城市群等局部地区开展了基于指数表征的生态风险研究, 而对长江经济带整体基于空间统计学的土地利用生态风险研究仍是空白. 在当前国土空间规划编制工作全面开展、大力推动全域

土地整治和生态修复的背景下, 研究整体土地利用及生态风险变化尤为重要. 本文回顾和分析了长江经济带全域土地利用变化, 按上游地区、中游地区、下游地区 3 个单元评价土地利用变化引起的生态风险, 并研究其空间特征, 希望为未来土地利用方式调整和生态修复提供一定的思路和方法.

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域 长江经济带覆盖 11 个省(市), 面积约 205 万 km², 横跨我国东中西 3 大经济板块, 以约 21% 的国土面积集聚了全国 42.9% 的人口 and 43.8% 的经济总量^[11]. 长江及其主要支流是众多湖泊水库湿地的重要源头和水源涵养区^[12], 该区地域辽阔, 地貌类型丰富, 也是我国乃至全球生物多样性的热点地区之一. 按照区域自然条件和社会经济发展状态, 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、浙江和上海.

1.2 数据来源及处理 采用的数据是 1980、2000、

* 国家重点研究计划资助项目(2019YFC0408902); 国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2017ZX07106001); 中国城市规划设计研究院科技创新基金资助项目(C-201732)

† 通信作者: 张文新(1968—), 男, 博士, 教授. 研究方向: 城市规划、区域发展. E-mail: wzhang@bnu.edu.cn

收稿日期: 2020-03-26

2015 这 3 年长江经济带所含省(直辖市)域的土地利用数据,来源于中国科学院资源环境科学数据中心.考虑到数据年份和研究尺度,景观类型按建设用地、农田、林地、草地、水域(包括河流、湖泊、水库和湿地)和未利用地 6 个大类划分.基于 ArcGIS10.3 平台,土地利用数据重新采样为 100 m×100 m 的栅格.

2 研究方法

2.1 土地利用动态分析 转类面积反映生态系统变化规律以及不同景观类型之间的相互转换.本研究通过景观类型转移矩阵反映 1980—2015 年长江经济带土地利用变化的数量和方向,用土地利用动态度模型测算土地利用变化速度^[16].

转移矩阵中,行与列的组合对应于将行所代表的土地利用类型转换为列所代表的转移生态系统类型的净面积.

土地利用动态度包括土地利用单一动态度和综合动态度,分别代表土地利用类型的数量变化和总体情况^[17].

2.2 生态风险指数 景观格局是一系列生态和非生态过程长期作用的结果.景观中某些战略性区域、节点的退化或受损,对区域生态环境会形成重要影响.不同景观类型维护生态服务功能、完善整体结构能力不同,应对外界干扰的能力也有差异.基于景观指数,构建景观干扰度指数和景观破碎度指数;基于景观格局与过程的经验关系,构建土地利用的生态风险指数;运用空间统计学中的空间自相关分析法分析案例区域的生态风险空间特征^[10].

1) 景观干扰度指数.景观干扰度指数用来反映不同景观对生态系统的干扰程度,可通过景观破碎度指数、景观分离度指数和景观优势度指数(largest patch index, LPI)三者赋权后简单叠加获得.根据景观生态学原理和前人相关研究成果^[15, 18],基于 fragstas 软件计算景观破碎度指数、景观分离度指数和景观优势度参数,分别赋予相应权值来计算景观干扰度 E_i 指数,计算式为

$$I_{E_i} = aI_{C_i} + bI_{S_i} + cI_{LPI_i}, \quad (1)$$

式中: I_{E_i} 为景观干扰度指数; I_{C_i} 为景观破碎度指数; I_{S_i} 为景观分离度指数; I_{LPI_i} 为景观优势度指数; a 、 b 、 c 为对应的权重,分别取 0.5、0.3、0.2.

2) 景观脆弱度指数.6 种景观类型为代表的生态系统中,以村镇和工矿最为稳定,其次为林地和草地,未利用地最为脆弱.6 种景观类型的脆弱性指数分别为:城乡居民及建设用地区为 1、林地地区为 2、草地地区为 3、

耕地地区为 4、水域地区为 5、未利用地区为 6,然后进行归一化处理,得到各自的脆弱度指数 F_i .

3) 土地利用生态风险指数.利用上述景观干扰度指数和景观脆弱度指数,构建土地利用生态风险指数,将景观空间格局转化为空间生态风险变量,刻画单元内综合生态损失.土地利用生态风险指数计算式为

$$I_{ER} = \sum_{i=1}^N \frac{S_{ki}}{S_k} \sqrt{I_{E_i} \times I_{F_i}}, \quad (2)$$

式中: I_{ER} 为土地利用生态风险指数; N 为景观类型的数量; I_{F_i} 为景观类型 i 的脆弱度指数; S_{ki} 为第 k 个风险小区 i 类景观组成的面积; S_k 为第 k 个风险小区的总面积.

2.3 空间统计分析方法 利用基于 ArcGIS 的全局空间自相关指标 Moran' I 系数和局部空间自相关的热点分析操作,来分析土地利用生态风险指数的空间模式.

Moran' I 系数反映空间邻近区域的元素属性值的相似度. Moran' I 系数取值为 $-1 \sim +1$, 等于 0 表示不相关, >0 表示正相关, <0 表示负相关.

通过 ArcGIS 的热点分析模块,绘制一定置信度下的空间自相关冷热点分布图,可以反映高值或低值观测的局部空间聚集性,以及哪个区域单元对全局空间自相关贡献较大.本文选取置信度 $>90\%$ 的区域作为最终确定的冷热点区域.

2.4 采样方法 采用 10 km×10 km 的正方形样地对土地利用生态风险综合指数进行全面等间距网格采样.利用地统计分析,计算出各地块各类景观的综合生态风险指数,作为样地中心的生态风险值(图 1).

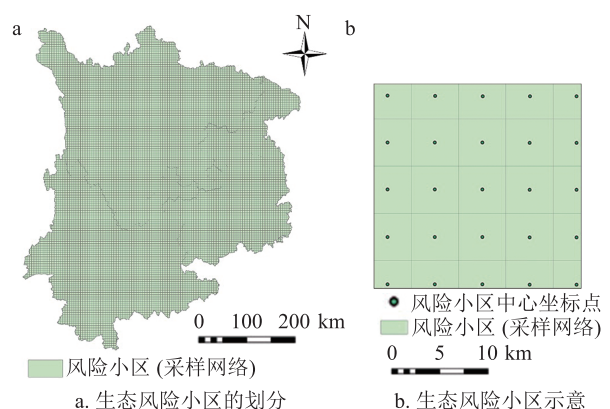


图 1 长江经济带上游地区生态风险小区的划分

3 结果与分析

3.1 土地利用变化 分析长江经济带 1980—2015 年土地利用总量变化(图 2),总体上 1980—2015 年:建

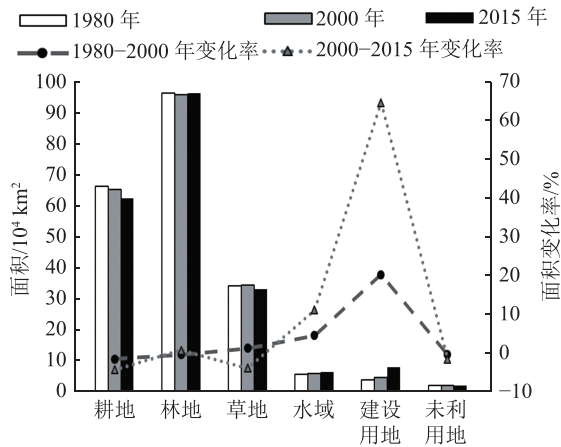


图2 长江经济带土地利用面积变化

建设用地剧增,增加了 38 454.79 km², 增长率为 95.10%; 水域增加了 8 899.84 km², 增长率为 15.64%; 耕地、草地分别减少 37 358.50、9 008.57 km²; 林地变化最小,增

长了 2 055.98 km². 分时间段来看: 1980—2000 年建设用地增加了 7 955.99 km², 增长率 19.68%; 耕地、林地、未利用地减少, 而草地、水域均有所增加. 2000—2015 年, 建设用地快速扩张, 增加了 30 498.80 km², 增长率 63.03%; 耕地和未利用地持续下降、草地转为减少; 水域持续增加、林地转为增长.

通过 ArcGIS 10.3 里的叠加分析整理得到长江经济带 1980—2015 年土地利用转移矩阵(表 1), 来表示各类型间相互转换的数量和方向. 该时期内土地利用结构主要变化为: 以耕地转换为建设用地和林地为主, 转换面积分别为 35 260、29 911 km², 占耕地总量的 5.44% 和 4.61%; 以及林地转换为耕地 27 648 km², 占林地总量的 2.94%; 其次为草地转为林地和耕地分别为 24 433、10 045 km², 占草地总转移量的 60.56% 和 24.90%; 水域和建设用地分别有 3 809、4 369 km² 转换为耕地; 其他用地转换面积相对较少.

表 1 长江经济带 1980—2015 年土地利用转移矩阵

km²

项目	2015年						总计
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
1980年	565 198	29 911	8 265	9 842	35 260	240	648 715
耕地	27 648	887 685	18 472	2 023	5 218	380	941 426
林地	10 045	24 433	294 878	1 597	1 507	2 766	335 227
草地	3 809	856	1 169	48 336	1 326	840	56 335
水域	4 369	401	123	414	35 103	19	40 429
建设用地	209	312	3 168	1 117	106	17 142	22 055
未利用地	611 278	943 598	326 075	63 329	78 521	21 387	2 044 187
总计							

表 2 为 1980—2015 年长江经济带土地利用动态变化度. 整体而言, 综合动态度为 1.15% · a⁻¹, 相对其他地区较高. 从各土地利用类型单一动态度来看, 主要贡献来自建设用地, 其在 1980—2000、2000—2015 年 2 个时段均为剧烈正向动态变化, 且持续增长; 水域也在各时段均为正值, 变化幅度相对较小; 而耕地则持续下降, 主要来自建设用地的占用; 草地先上升后下降, 而林地先下降后上升. 以上数据分析表明, 区域内在 2000 年后土地利用强度相对以往有较大增强; 而林地草地等的剧烈波动, 则预示存在生态风险

表 2 长江经济带 1980—2015 年土地利用动态变化度

年份	不同时段动态度/(% · a ⁻¹)					
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1980—2000	-0.08	-0.02	0.06	0.22	0.98	-0.02
2000—2015	-0.29	0.04	-0.25	0.72	4.20	-0.10
1980—2015	-0.16	0.01	-0.08	0.45	2.72	-0.06

区域前后发生变化的可能性.

3.2 土地利用生态风险分布及时空变化

3.2.1 土地利用生态风险度的全局空间自相关分析

长江经济带土地利用生态风险度的 Moran'I 系数数值列于表 3. 从表 3 可以看出, 1980、2000 和 2015 年土地利用生态风险度的 Moran'I 都大于 0, 这表明案例区域生态风险度与土地利用呈正相关特征, 生态风险出现集聚区: 高等级风险区周围分布着高等级风险区, 而低等级风险区也临近低等级风险区.

表 3 长江经济带 1980—2015 年土地利用生态风险度的 Moran'I 值

流域	1980年	2000年	2015年
上游	0.5343	0.5177	0.5566
中游	0.5484	0.7295	0.5134
下游	0.0878	0.098 0	0.229 0

上游地区全局自相关数值总体呈上升趋势, 表明

上游区域生态风险集聚趋势增强;中游地区在 2000 年出现峰值后呈下降态势,表明中游区域生态风险集聚趋势减弱;下游地区全局自相关数值整体较低,但呈现上升态势。

3.2.2 生态风险度的局部空间自相关分析 基于 ArcGIS

平台冷热点分析模块,得出长江经济带 3 个年份中上、中、下游生态风险度的局部自相关结果(图 3), Z 值较高的热点区域为高风险集聚自相关区, Z 值较低的热点区域为低风险自相关集聚区,其他区域为不显著。

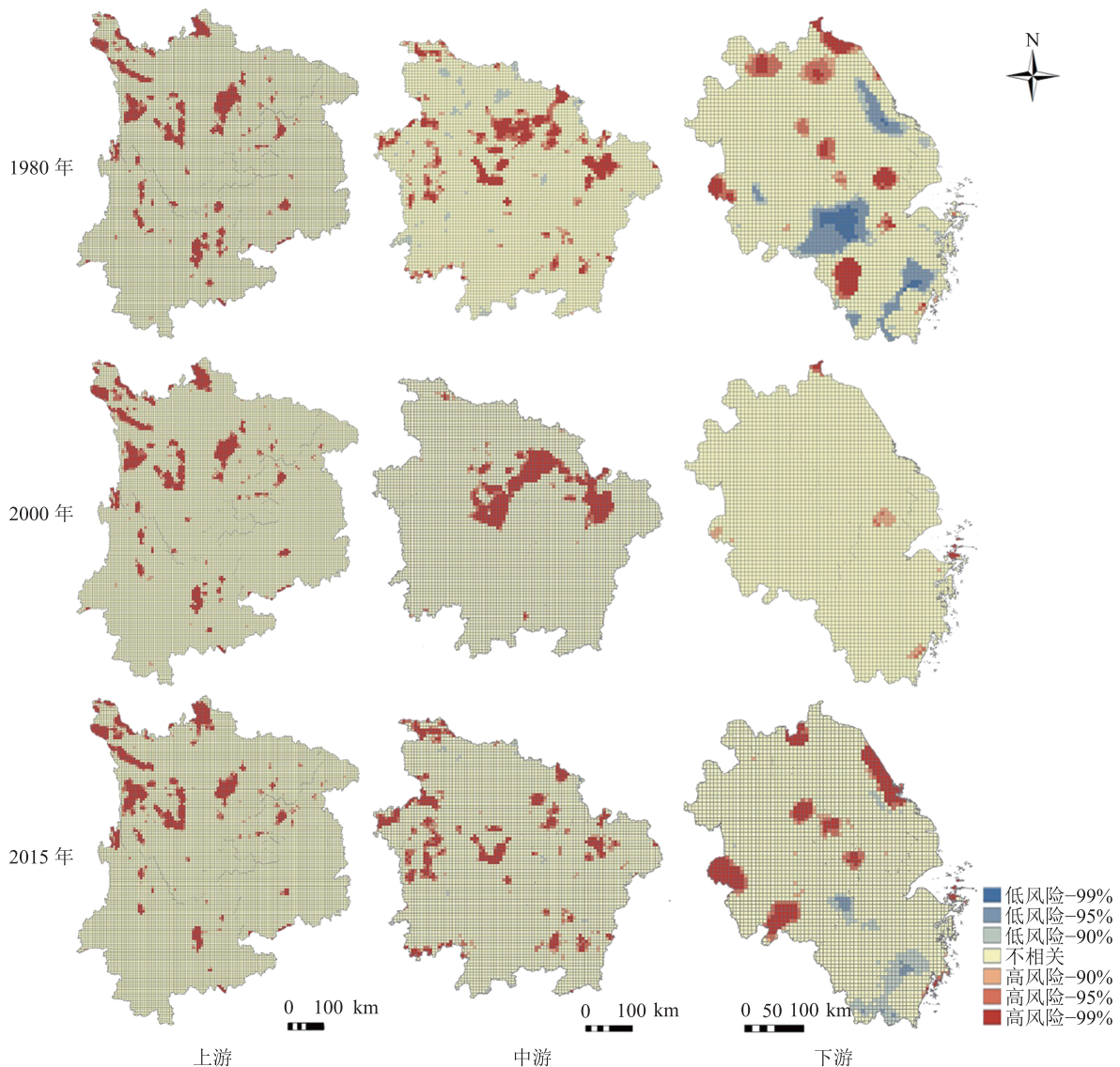


图 3 长江经济带 1980—2015 年土地利用生态风险度局部空间自相关图

从计算结果来看,上游地区以生态风险自相关性不显著区域为主,其高风险集聚自相关区空间上较为分散,自 1980 年以来没有显著变化,分布状况基本一致,主要在若尔盖草原、长江源头区等出现严重的荒漠化、裸土地地区,四川盆地盆周山地、云南岩溶喀斯特地貌水土流失等地区。

中游地区同样以生态风险自相关性不显著区域为主,但其高风险集聚自相关区在 2000 年左右主要集中在武汉都市圈周边,自洞庭湖至鄱阳湖及沿江带连片分布,应与这一阶段城乡建设及工矿用地急剧扩

张有密切关系;其他时期分布较广,主要在武陵山区、大别山区、洞庭湖周边、鄱阳湖周边以及罗霄山脉中段。

下游地区则表现为低风险集聚自相关区分布较广,高风险集聚自相关区较少,但较为集中、体量较大,同时有明显的时空变化特征:1980 年高风险集聚自相关区主要分布在连云港沿海地区、苏州常熟以及桐城等地,与该阶段区域开发和建设用地扩张态势较为一致,低风险集聚自相关区则主要分布在盐城、黄山、温岭一带;2000 年左右高风险集聚自相关区、

低风险集聚自相关区均呈减少趋势; 而从2015年分布图来看, 低风险集聚自相关区有了显著增加, 在空间分布上占主导地位, 高风险集聚自相关区局部发生迁移, 集中在长江北岸、皖西区域, 且较多海岛出现了较为明显的高风险集聚自相关区。

3.2.3 土地利用生态风险时空变化 通过克里金插值得到长江经济带1980、2000和2015年的生态风险空间分布图(图4)。由于对上游、中游、下游地区分别计算其土地利用生态风险, 因此风险等级区仅在各流域内可比较。

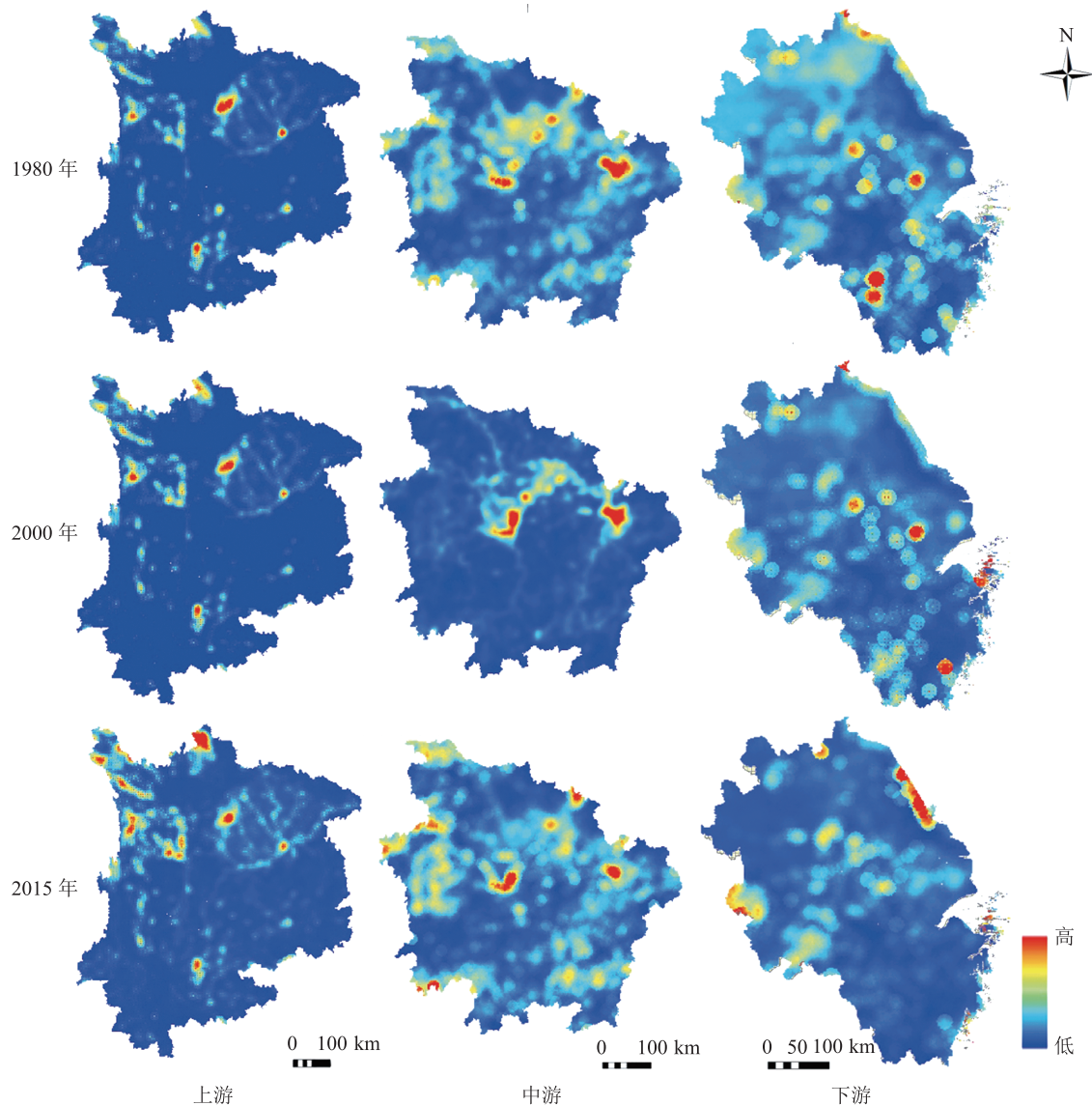


图4 长江经济带1980—2015年土地利用生态风险度的Kriging插值

通过对比, 我们可以看出, 土地利用高风险度区域随着空间和时间的变化而变化, 且幅度不同。总体而言, 上游、下游地区以低生态风险区为主, 中游地区中生态风险分布较广, 高生态风险区的分布有较明显的分异特征, 大致为: 上游、中游地区用地格局剧烈变动发生在2000年以后, 中游地区呈相对分散的分布方式; 下游地区则从1980年以来人工化生态系统分布较广, 且在早期即快速扩张, 近年来呈现稳定态势。

从具体时点来看:

1) 1980年, 长江经济带上、中、下游地区, 都有比较强的风险点, 上游的四川盆地盆周地区、川西北的退化问题已经显现, 中游则主要在武陵山区和湖群地区, 下游地区的环太湖地区是极点。

2) 2000年, 生态用地受人工干预萎缩较为严重, 在长江上游地区土地利用高生态风险度区集中在四川西北部、中部以及云南的中部地区, 且随着时间的变化, 分布未发生显著变化; 在中游地区高风险度区主要分布在洞庭湖和鄱阳湖之间, 以及湖南、湖北省的西部交界处; 下游区域的高风险区面积逐渐减少,

多集中在安徽东部、西部和浙江的东南部。

3) 2015年,下游地区生态风险已经得到有效遏制,高风险区向西迁移;而中游地区的武汉都市圈周边、两湖地区、主要山区分散的风险点密集,也是与地区发展阶段和模式直接相关;上游西北地区的风险仍然在加剧,其他的风险点基本延续上一个时点。

4 结论

1) 近 35 年来,长江经济带土地利用结构变化较大,其生态风险与土地利用呈较显著的空间正相关特征,土地利用生态风险时空分异较明显。上游、下游地区以低生态风险区为主,中游地区中生态风险分布较广,上游土地利用高生态风险区分布未发生显著变化,局部地区风险度近年来仍有加剧;中游地区高生态风险区在 2000 年前后集中在两湖地区连片分布,其余时期分散于各主要山区和湖群地区;下游区域的高风险度集聚区分布变化较大,近年来生态风险已经得到有效遏制,高风险区向西迁移,但部分海岛出现了较高的生态风险。

2) 针对性、差异性开展国土整治与生态修复,推动土地可持续利用。对识别出的生态风险度较高且高风险集聚自相关率先采取措施:对长江源头区、黄河源头区开展荒漠化治理、退耕还草等措施,对滇黔石漠化地区加强综合治理,对四川盆地盆周山地、武陵山区、大别山区湖北段、罗霄山脉中段东侧抓紧开展水土流失治理;洞庭湖、鄱阳湖周边地区生态风险主要表现为湿地退化萎缩,需考虑改善江湖关系,保持湿地规模,从而提升区域生态安全水平;上海崇明等沿海地区生态风险主要来自过度围垦和滩涂退化,近年来已得到一定扼制,未来需进一步改善长江口、杭州湾滨海湿地生态建设手段,促进形成高品质生态空间;针对近年来新产生的生态风险,着手加强自然保护区、海洋特别保护区、重要滩涂湿地等范围内的海岛保护;其他地区高生态风险主要由城乡建设用地扩张和丘陵地生态退化双重原因引起,未来需重视城乡建设和农业开发模式,提高丘陵地植被维护和水土保持能力,在城市发展、土地利用调整中应注意控制城乡建设用地扩张的同时,保留现有生态用地或布置一定人工化生态用地,提高区域生态服务价值。

3) 长江经济带土地利用生态风险尚需开展更深入研究。土地利用的变化一定程度上反映了该地区经济社会发展状况,因此生态风险局部自相关性的时空变化特征与该地区经济社会发展阶段、发展策略密切相关,可通过进一步相关研究来阐释并揭示规律。本文在长江经济带全域尺度开展了基于土地利

用的生态风险研究,未来可以结合最新数据,在长江经济带全域进行生态风险测算与比较,各地区并结合地形地貌、政策投放、工程实施、建设活动等进行生态风险驱动力分析,为科学有效规划、合理开发土地资源、保护地区生态安全提供理论支持。

5 参考文献

- [1] 程江,杨凯,赵军,等. 基于生态服务价值的上海土地利用变化影响评价[J]. 中国环境科学, 2009, 29(1): 95
- [2] 刘永超,李加林,史小丽,等. 1985—2015年美国Tampa bay流域景观生态风险态势研判[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 125
- [3] SANTOS R, DE JOYEUX A, BESNARD A, et al. An integrative approach to assess ecological risks of surface water contamination for fish populations[J]. Environmental Pollution, 2017, 220: 588
- [4] GARCÍA MOLINOS J, TAKAO S, KUMAGAI N H, et al. Improving the interpretability of climate landscape metrics: an ecological risk analysis of Japan's Marine Protected Areas[J]. Global Change Biology, 2017, 23(10): 4440
- [5] 刘吉平,赵丹丹,田学智,等. 1954—2010年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3234
- [6] 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[J]. 自然资源学报, 2013, 28(6): 944
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 刘永超,李加林,袁麒麟,等. 象山港流域景观生态风险格局分析[J]. 海洋通报, 2016, 35(1): 21
- [10] 刘春艳,张科,刘吉平. 1976—2013年三江平原景观生态风险变化及驱动力[J]. 生态学报, 2018, 38(11): 3729
- [11] 周睿. 长江经济带沿线省市生态现代化综合评价[J]. 现代经济探讨, 2019(9): 29
- [12] 吴丹,邹长新,林乃峰,等. 长江经济带生态系统宏观结构变化特征分析[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(6): 499
- [13] 孔令桥,张路,郑华,等. 长江流域生态系统格局演变及驱动力[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 741
- [14] 黄烈佳,杨鹏. 长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1780
- [15] 刘凤,曾永年,赵丹阳,等. 长江中游城市群土地利用生态风险分析:以长株潭城市群为例[J]. 国土与自然资源研究, 2016(5): 16
- [16] 田鹏,史小丽,李加林,等. 杭州市土地利用变化及生态风险评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 274

- [17] 刘纪远, 刘文超, 匡文慧, 等. 基于主体功能区规划的中國城乡建设用地扩张时空特征遥感分析[J]. 地理学报, 2016, 71(3): 355
- [18] 黄木易, 岳文泽, 冯少茹, 等. 基于InVEST模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析[J]. 生态学报, 2020, 40(9): 2895

Ecological risks associated with changes in land use in the Yangtze River Economic Belt

LYU Hongliang^{1,2,3)} ZHOU Xia^{2,3)} ZHANG Wenxin^{1)†} WANG Hongrui⁴⁾

(1) Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2) CAUPD Planning & Design Consultants Co., 100044, Beijing, China;

3) China Academy of Urban Planning and Design, 100044, Beijing, China; 4) Beijing Key Laboratory of Urban Hydrological Cycle and Sponge City Technology, College of Water Sciences, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China)

Abstract Changes in land use patterns in three periods of 1980, 2000 and 2015 in the Yangtze River Economic Belt were used to construct an ecological risk index, to analyze temporal and spatial changes in ecological risks and response characteristics to changes in land use. From 1980-2015, land use changes in the Yangtze River Economic Belt mainly showed a sharp increase in construction land and a sharp decrease in cultivated land and grassland. Ecological risks and land uses in the Yangtze River Economic Belt showed significant spatial positive correlation. The spatial-temporal differentiation of land use ecological risk was significant. The upper and lower reaches were dominated by low ecological risk areas, the middle reaches showed wide distribution in ecological risk. The upper reaches showed long-term dispersion in high-risk agglomeration related areas. In the middle reaches risk agglomeration diminished after 2000, but high risk agglomeration was concentrated in Dongting Lake\Poyang Lake area. Risk was rather scattered in other periods. Low-risk cluster autocorrelation areas were widely distributed in the lower reaches, while high-risk cluster autocorrelation areas were less so. These works provide targeted and differentiated ideas and suggestions for land remediation and restoration, and for the promotion of sustainable land use.

Keywords land use; ecological risk; spatial autocorrelation; the Yangtze River Economic Belt

【责任编辑: 刘先勤】