

南水北调中线汉中市水源地景观生态风险评价与特征

李小燕¹, 柳书俊³, 王志杰²

(1.陕西理工大学 历史文化与旅游学院, 秦巴环境与旅游开发协同创新中心, 陕西 汉中 723000;

2.贵州大学 生命科学学院, 贵阳 550025; 3.贵州大学 茶学院, 贵阳 550025)

摘 要:汉中市是国家级重点生态功能区、生物多样性保护关键区、南水北调中线工程核心水源涵养区和主要水源地,生态地位显著,对该区进行生态环境及风险研究意义重大。选取汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年 3 期遥感影像数据,综合运用景观生态学和地统计学基本原理与方法,利用 RS 和 GIS 空间信息技术,通过构建汉中市景观生态风险指数,对汉中市近十年景观生态风险时空变化特征进行了系统分析。结果表明:(1) 研究区以林地和建设用地面积极持续增加,耕地稳定减少为主要变化特征;林地和建设用地分别增加 426.71、215.48 km²,耕地减少 539.33 km²;(2) 研究区林地优势度最为明显,研究期末达 0.73;建设用地优势度增幅最快,10 年增加了 0.10;全区景观格局破碎化趋势明显;(3) 研究区生态风险呈明显的倒“r”型分布。10 年间,中高山区原有的集中连片低风险格局被打破;低山丘陵区生态修复工作成效显著,生态风险显著降低;(4) 汉中市景观生态风险存在较强的空间正相关关系,但“高—高”和“低—低”风险聚集区分布范围逐渐缩小。

关键词:景观生态风险; 景观格局; 南水北调中线工程; 汉中市

中图分类号:X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)05-0181-07

Landscape Ecological Risk Characteristics of Water Source Site in Hanzhong City of the Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project of China

LI Xiaoyan¹, LIU Shujun³, WANG Zhijie²

(1.School of History and Tourism, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 2.College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3.College of Tea Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Hanzhong City is a national key ecological function zone, a key area for biodiversity conservation, a core water source conservation area of the Middle Line of South-to-North Water Diversion Project and a major water source. The ecological status of Hanzhong City is prominent, so it is significant to evaluate the ecological environment and its risk of this area. Selecting remote sensing image data of Hanzhong City in 2007, 2011 and 2017, we use the basic principles and methods of landscape ecology and geostatistics, and using RS and GIS spatial information technology to construct landscape ecological risk index of Hanzhong City. The spatial and temporal variation characteristics of landscape ecological risk of Hanzhong City in the past ten years were systematically analyzed. The results showed that: (1) the areas of forest land and construction land in the study area increased continually, and the area of cultivated land was decreasing; the forest land and construction land increased by 426.71 and 215.48 km², respectively, and the cultivated land decreased by 539.33 km² for farmland; (2) the dominant degree of forest land in the study area was the most obvious, and the most rapid increase of the dominant degree was construction land; the fragmentation trend of the landscape pattern in the whole area was obvious; (3) the ecological risk of the study area showed an

收稿日期:2018-12-08

修回日期:2018-12-20

资助项目:陕西理工大学博士人才引进项目“汉江源土地利用变化及其生态效益测评”(SLGKYQD2-33);教育部人文社会科学资助项目“蜀道历史地理信息系统”(16XJC770001);贵州省生物学一流学科建设项目(GNYL[2017]009)

第一作者:李小燕(1978—),女,陕西渭南人,博士,副教授,主要从事区域生态环境变化研究。E-mail:2462060692@qq.com

通信作者:王志杰(1986—),男,甘肃会宁人,博士,副教授,主要从事区域资源环境监测与评价、遥感与 GIS 应用研究。E-mail:zjwang3@gzu.edu.cn

obvious inverted ‘r’ type distribution; in the past 10 years, the ecological risk of the original concentrated low-risk areas in the middle and high mountainous areas was intensified; the ecological restoration work in the low hilly areas was remarkable and the areas had low ecological risk; (4) there was a strong positive correlation between landscape ecological risk and the spaces in Hanzhong City, but the distribution ranges of ‘high-high’ risk clusters and ‘low-low’ risk clusters were gradually narrowing.

Keywords: landscape ecological risk; landscape pattern; Middle Line of South-to-North Water Transfer Project; Hanzhong City

生态风险评价能有效支持生态系统管理,为生态学和地理学科热点研究领域^[1]。景观生态学高度关注空间异质性及景观格局—过程互馈,横断了地理学的水平空间异质性与生态学的垂直相互关联,是对二者的整合统一^[2]。景观生态风险评价源于区域生态风险评价,将传统关注种群、群落、生态系统功能的生态学方法与强调区域、全球空间异质性的地理学思维相结合,以景观为评价对象,为景观生态学所关注的空间异质性及景观格局—生态过程互馈研究提供了新的研究视角^[3-6]。不同景观类型承载相应的生态功能,合理的景观结构、稳定的生态过程及丰富的生态服务直接决定着区域的可持续发展^[7-8]。景观生态风险评价方法大致可分为基于风险源汇和基于景观格局两类。早期以前者为主,继承了传统生态风险评价和区域生态风险评价的方法原理;后者在区域尺度上直接从空间格局出发评价景观生态风险^[9]。目前,主要的景观生态风险指数包括基于景观格局的风险指数、基于土地利用类型的风险指数和基于外部压力—景观暴露性—稳定性的风险指数 3 类^[10-11]。近年来,基于景观格局的生态风险评价受到学者的广泛关注和应用,但相关研究多集中在东部发达地区以及研究热点区^[12-13],而针对南水北调中线水源地、汉江源头或秦巴地区开展的生态环境相关研究主要集中在生态系统服务功能及核算、区域生态风险脆弱性评价以及生态效益测评^[14]等方面,基于景观格局的生态风险评价鲜有报道。

南水北调中线工程是缓解我国华北地区水资源严重短缺的大型调水工程,取水口—丹江口水库 70% 入库水量来自陕西境内的汉江和丹江流域^[9],汉中为主要水源地。保护水源地生态环境,确保受水区水质水量安全、促进供水区和受水区经济发展、实现人与自然和谐共处一直是该区的热点问题。由于山高坡陡、土层较薄等自然条件恶劣,加之淡薄的生态环境保护意识和粗放的生产生活方式等影响,使得该区土壤侵蚀严重,自然灾害频发,各类生态环境问题较为突出。为控制土壤侵蚀,恢复生态环境,该区先

后实施了系列植被恢复工程^[15]。然而,工程效果如何? 景观结构是否合理? 生态风险是否有所降低? 后续该如何进行有效的生态修复等一系列问题尚不清楚。因此,客观判断景观格局空间分布及动态变化规律、科学诊断生态环境现状及存在的问题、分析原因并发现未来重点治理区域和方向,可为该区生态修复及环境保护工作提供数据支撑和理论指导,对南水北调中线调水工程的长效运行具有科学意义。

基于此,本研究以南水北调中线汉中市水源地为研究对象,利用 RS 和 GIS 技术,运用景观生态学、地统计学原理与方法,通过景观生态风险指数计算及空间自相关分析,对汉中水源地景观生态风险与特征进行定量评价,以期揭示汉中市生态风险变化规律和时空分布特征,为南水北调中线水源地的植被恢复与生态建设提供科学依据和决策支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

汉中市(32°08′54″—33°53′16″N, 105°30′50″—108°16′45″E)位于陕西省西南部,与川、甘两省毗邻。北靠秦岭,南依巴山,中部为汉中盆地^[9]。全市辖汉台区、南郑区、城固、洋县、西乡、勉县、宁强、略阳、镇巴、留坝、佛坪等九县二区,国土总面积约 2.71 万 km²。地势南北高中间低,形成了“两山夹一川”的地貌骨架,区内地貌类型以山地为主,约占辖区面积的 75%,丘陵约占 15%,平坝仅约占 10%。气候属北亚热带季风气候,多年平均降水量在 700~1 700 mm。境内主要有东西横贯的、发源于宁强的汉江水系和南北纵穿的嘉陵江水系,是南水北调的中线工程的主要水源地^[14]。该区土地利用以林地和耕地为主,农作物一年两熟。早期由于不断的垦殖活动,汉中周边经历了多次大规模的毁林和过度采伐,原始森林几乎破坏殆尽,山区以天然次生林为主,生物多样性、水土流失、水源涵养等生态功能受到影响。为控制土壤侵蚀和恢复生态环境,该区域先后实施了“长治”、“丹治”和退耕还林等植被恢复工程,生态环境改善较为明显^[15]。第二轮退耕还林工作也已于 2014 年正式启

动。受快速社会经济发展的影响,该区近年土地利用变化较为显著。

1.2 数据源与数据处理

本研究主要资料包括汉中市 2007 年和 2011 年 Landsat-5 遥感影像、2017 年 GF1_WFV 影像、土地利用数据、退耕还林数据及行政区划图等,主要数据来源及特征见表 1。

基于 ENVI 5.3 遥感数字图像处理平台,对 3 期遥感影像进行图像辐射校正、大气校正、几何校正、图

像镶嵌、图像裁剪和图像增强等预处理^[16-17]。得到汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年三期景观类型空间分布图。总体解译精度 94%,Kappa 系数 0.86,满足研究要求。

景观样本的面积为斑块平均面积的 2~5 倍时能综合反映采样点周围的景观格局信息^[18]。综合考虑汉中市景观空间异质性、斑块大小及栅格信息的完整性,采用等间距系统采样法,将研究区划分为 3 km×3 km 的采样单元,共计 3 222 个风险小区。

表 1 数据源及数据特征

序号	数据类型	数据来源	数据特征
1	Landsat-5 TM 遥感影像	地理空间数据云网站(http://www.gscloud.cn/)	影像日期:2007,2011;空间分辨率:30 m×30 m
2	GF1_WFV 影像	遥感集市网站(http://www.rscloudmart.com/)	影像日期:2017;空间分辨率:16 m×16 m
3	土地利用数据	汉中市国土局	数据年份:2007,2011,2017

1.3 景观生态风险指数构建

生态风险指数是利用景观干扰指数和景观脆弱性指数构建的。景观干扰指数是在景观破碎度、景观分离度、景观优势度的基础上建立的^[11-13],根据已有相关研究,3 个指标分别赋以 0.5,0.3,0.2 的权值。景观脆弱性指数依据景观类型赋值,针对汉中市实际情况,借鉴前人的研究成果^[17],脆弱性程度分别赋值:未利用地=6,水域=5,耕地=4,草地=3,林地=2,建设用地=1,并对其相关值进行归一化处理,得到景观脆弱度指数 F_i 。同时可通过采样方法将景观的空间结构转化为空间化的生态风险变量^[18]。计算公式如下:

$$ERI=\sum_{i=1}^n\frac{A_{ki}}{A_k}R_i$$

(1)

式中:ERI 为景观生态风险指数; n 为景观类型的数量; A_{ki} 为第 k 个风险小区中景观 i 的面积; A_k 为第 k 个风险小区的总面积; R_i 为景观 i 的损失度指数。

1.4 空间自相关分析

(1) 半变异函数分析。为综合分析景观生态风险的空间规律和等级结构,在生态风险系统采样的基础上,利用地学统计的变异函数方法,通过半方差函数进行理论变异函数拟合进行获取^[19]。

(2) 空间自相关。全局空间自相关是分析空间的某属性值在整个区域内的空间分布状态及模式,探讨某属性的空间集聚效应。全局空间自相关通常选用 Moran's I 表示。局部空间自相关分析通过比较观测值和相邻值与全局的关系,能准确地把握局部空间要素的集聚与分异特征。局部空间关联指标(LISA)是用来度量每个区域单元与周边地区的属性值之间的显著空间聚集程度的指标^[19-20]。

2 结果与分析

2.1 汉中市景观格局时空动态变化特征

从汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年各景观类型面积(表 2)来看:十年间,研究区景观类型以林地为主,占总面积的 85%以上;耕地次之,约占 10%;建设用地、草地、水域和未利用地共占 5%左右。研究时段内,汉中市景观类型的变化表现出耕地的持续减少、林地的稳定增加、建设用地快速增长为主要特征。其中:耕地持续减少 539.33 km²,为研究区变化面积最大的景观类型;林地增加 426.71 km²,变化面积仅次于耕地;建设用地增加 215.48 km²,面积变化位居第三。但由于该区以林地和耕地为主,二者年变化率远不及建设用地,即建设用地增速最快。从整体的变化量和年变化率来看,2007—2011 年耕地和建设用地的年变化率分别为-1.03%和 1.68%,2011—2017 年二者年变化率为-2.37%和 5.26%,前一时段变化幅度略小于后一时段。林地的增加呈现出缓慢的减少趋势。其他类型波动变化。此外,建设用地的增加主要集中在汉中盆地,并呈现出以主城区及县城为中心向外辐射的趋势,其中:汉台区增加趋势最为明显。林地增加主要集中在城固、洋县、南郑、宁强和西乡等县区,而耕地的减少主要集中在勉县、宁强、洋县和西乡,其他县区也有不同程度的减少。

利用 Fragstats 4.2 得到汉中市各期景观破碎度、分离度、干扰度和损失度指数,分析研究区景观类型分布较广的林地、耕地和建设用地 3 类主要景观类型的景观格局指数及变化情况(表 3):2007—2017 年汉中市景观破碎度、分离度、干扰度以及损失度等均呈现出波动上升趋势。其中:耕地各项指标依次分别

增大 0.32,0.41,0.28,0.05;林地分别增大 0.02,0.03,0.03,0.002;建设用地分别增大 0.52,0.001,0.28,0.01。研究时段内,汉中市景观的破碎程度、分离程度等均呈现出明显的恶化趋势。研究区林地景观分布最为广泛,景观优势度均最大,并呈缓慢增加趋势,

增加约 0.03;建设用地的景观优势度较小,但增速快,增加约 0.10。除景观优势度指数外,建设用地和耕地的各项景观格局指数远高于林地景观,且变化幅度也较大,说明建设用地和耕地更为破碎和分离,受外界干扰较强。

表 2 汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年各景观类型面积统计

景观类型	2007 年		2011 年		2017 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
耕地	3035.64	11.19	2910.79	10.73	2496.31	9.20
林地	22996.65	84.74	23201.52	85.49	23423.36	86.31
草地	394.49	1.45	322.02	1.19	319.36	1.18
建设用地	533.41	1.97	596.23	2.10	748.89	2.76
水域	123.45	0.45	107.23	0.40	80.87	0.30
未利用地	54.82	0.20	27.67	0.10	69.67	0.26

表 3 汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年各景观类型的景观格局指数

景观类型	年份	破碎度	分离度	优势度	干扰度	脆弱度	损失度
耕地	2007	0.8190	1.3529	0.4172	0.8988	0.1905	0.1712
	2011	1.4283	1.8246	0.4028	1.3421	0.1905	0.2557
	2017	1.1390	1.7593	0.4108	1.1795	0.1905	0.2247
林地	2007	0.0232	0.0828	0.7007	0.1766	0.0952	0.0168
	2011	0.0244	0.0844	0.6951	0.1765	0.0952	0.0168
	2017	0.0441	0.1130	0.7305	0.2021	0.0952	0.0192
草地	2007	2.3646	6.3772	0.1798	3.1314	0.1429	0.4475
	2011	6.3387	11.5563	0.2348	6.6832	0.1429	0.9550
	2017	8.2364	13.2308	0.3643	8.1603	0.1429	1.1661
建设用地	2007	1.2874	4.0465	0.1950	1.8967	0.0476	0.0903
	2011	1.5981	4.3683	0.2330	2.1561	0.0476	0.1026
	2017	1.8065	4.0471	0.2953	2.1765	0.0476	0.1036
水域	2007	0.8219	6.7207	0.0986	2.4469	0.2381	0.5826
	2011	1.0968	8.2918	0.1251	3.0609	0.2381	0.7288
	2017	1.4207	10.9003	0.0713	3.9947	0.2381	0.9511
未利用地	2007	3.7945	21.6706	0.1113	8.4207	0.2857	2.4058
	2011	2.9262	26.7842	0.0954	9.5174	0.2857	2.7191
	2017	11.9009	34.0620	0.1926	16.2076	0.2857	4.6305

2.2 汉中市景观生态风险及其变化特征

为便于比较不同时期景观生态风险指数变化情况,直观分析空间分布特征,借鉴前人的研究成果,结合汉中实际情况,经多次重分类,将汉中市景观生态风险划分为 5 个等级:低风险区($ERI \leq 0.04$)、较低风险区($0.04 < ERI \leq 0.09$)、中等风险区($0.09 < ERI \leq 0.14$)、较高风险区($0.14 < ERI \leq 0.19$)、高风险区($ERI > 0.19$)。

2.2.1 景观生态风险时间变化 通过 2007 年、2011 年和 2017 年汉中市不同景观生态风险等级的面积及其变化(表 4)可见:研究区整体景观生态风险处于相对较低水平。研究区低风险区和较低风险区面积

2.17 万 km²,占全区总面积的 73%~85%左右;中等及以上景观生态风险区约占 15%~27%。各等级生态风险区变化显著。研究始末,景观生态风险变化面积占总研究区面积的 55.42%,即一半以上的区域生态风险有所变化,其中:面积变化最大的是低风险区。10 a 间,低风险区面积持续减少,共减少 0.72 万 km²,变化面积占该类型总面积的 40.16%;并且,研究区除较高风险区面积略有减少外,其他类型风险区面积均有不同程度的增加,说明研究区景观生态风险有加剧态势。

表 4 汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年不同景观生态风险等级面积统计

风险等级	2007 年		2011 年		2017 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
低风险区	17827.55	65.72	14096.34	51.96	10668.61	39.33
较低风险区	5278.08	19.46	5911.31	21.79	11036.3	40.68
中等风险区	1890.13	6.97	4914.89	18.12	2842.17	10.48
较高风险区	1342.14	4.95	1257.32	4.63	980.83	3.62
高风险区	800.56	2.95	958.6	3.53	1610.55	5.94

2.2.2 景观生态风险空间变化 通过景观生态风险等级图(图 1)可见:研究区较低及以上生态风险整体呈现出明显的倒“r”型分布,即嘉陵江沿岸两侧的略阳县、宁强县,汉江沿岸两侧的汉中市中西部地区景观生态风险相对较高,且表现出沿嘉陵江、汉江向外逐渐扩散的特征。并且,10 a 间汉中市景观生态风险表现出“整体加剧,局部波动缓解”的趋势。高风险区分布范围明显扩大,2007 年较高风险区和高风险区仅出现在汉中盆地及西乡县城周边,2017 年其分布范围明显增大且程度加重,南郑区以及西部嘉陵江流域的略阳县和宁强县也出现明显的高风险区;较低风险区也从 2007 年仅分布于河流沿线的低山丘陵区向中高山区扩散;此外,2007 年低风险区几乎全部分布

在南北两侧的中高山区,呈明显的集中连片分布态势,而 2017 年低风险区范围急速锐减,且集中连片格局被彻底打破。中等风险区表现出波动缓解特征,2007 年中等风险区集中分布于嘉陵江沿线及汉中盆

地周边的低山丘陵区,2011 年其分布范围和面积急剧增大,沿嘉陵江和汉江两岸辐射状扩展,截至 2017 年,中等风险区大部分转变为较低风险区,且其分布范围缩小、零散分布于较高和高风险区周围。

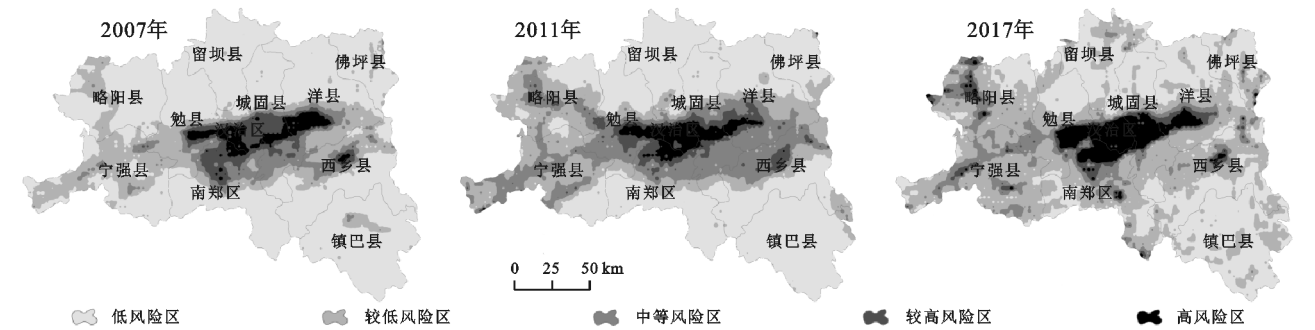


图 1 汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年景观生态风险等级

2.3 汉中市景观生态风险空间相关分析

2.3.1 汉中市景观生态风险空间自相关分析 基于地统计学软件 GS+, 利用 3 222 个样点数据计算汉中市景观生态风险半变异函数并进行函数拟合,结果表明(表 5):汉中市景观生态风险空间相关性用球状模型拟合效果最佳。2007 年、2011 年和 2017 年的块金值分别为 0.000 2,0.000 04,0.000 7,基台值分别为 0.003 38,0.003 38,0.004 85,表明块金作用较小,在 3 km 研究尺度下的变异特征不显著,该尺度能较好地反映

景观生态风险度的空间异质性特征。块金值/基台值分别为 0.059 2,0.010 8,0.144,总体呈上升趋势,且均小于 15%,说明在选取 3 km 的采样间距内,空间异质性特征主要取决于系统自身的空间自相关过程,小尺度的随机变异较小,具有强烈的空间相关性。变程值从 2007 年的 50.3 km 先增加到 2011 年的 54 km,后下降到 2017 年的 45.4 km,表明在 50 km 左右变程内各区域景观生态风险值存在空间相关性,且相关性范围呈先增后减,总体减小的趋势。

表 5 汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年景观生态风险变异函数理论模型相关参数

年份	模型	块金值	基台值	块金值/ 基台值	变程/ km	决定 系数 R^2	残差 ($\times 10^{-6}$)
2007	线性模型	0.00232	0.00349	66.48	126.12	0.124	12.82
	球状模型	0.0002	0.00338	5.92	50.3	0.701	4.386
	指数模型	0.00001	0.00338	0.30	51.9	0.643	5.42
	高斯模型	0.00061	0.00338	18.05	41.92	0.695	4.475
2011	线性模型	0.0021	0.00359	58.50	126.12	0.184	12.92
	球状模型	0.00004	0.00338	1.18	54	0.751	3.947
	指数模型	0.000001	0.0034	0.03	59.4	0.68	5.303
	高斯模型	0.00047	0.00339	13.86	45.21	0.746	4.02
2017	线性模型	0.00366	0.005	73.20	126.12	0.101	19.65
	球状模型	0.0007	0.00485	14.43	45.4	0.692	6.73
	指数模型	0.000001	0.00225	0.0004	43.8	0.624	1.968
	高斯模型	0.00051	0.00225	0.2267	36.72	0.662	1.748

2.3.2 汉中市景观生态风险空间变异特征 基于 GeoDa 软件得到汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年景观生态风险全局自相关 Moran 分析,结果表明:汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年 Moran 指数分别为 0.836 1,0.845 3,0.728 2,且均通过了 $p<0.05$ 的显著性检验,说明研究区内生态风险空间分布上存在显著的空间正相关,即汉中市 3 个时期的景观生态风险表现出相似值之间的空间聚集趋势。同时,Moran 指数从 2007 年

的 0.836 1 降低到 2017 年的 0.728 2,区域景观生态风险指数集聚态势进一步减弱,空间自相关程度有所减弱,空间趋同性逐渐降低。大部分风险小区位于第一、第三象限,空间正相关性显著,属于“高一高”和“低—低”风险聚集模式。第二象限的“低—高”聚集模式和第三象限的“高一低”聚集模式也有零星分布,但数量上明显小于“高一高”和“低—低”聚集模式。

汉中市景观生态风险局部自相关 LISA 聚类图

(图 2), 可以看出: 汉中市景观生态风险指数均以“高一高”和“低—低”景观生态风险聚集区为主; “高一低”景和“低—高”景观生态风险聚集区则呈零散分布。“高一高”景观生态风险聚集区主要集中在汉中盆地和西乡盆地, 说明该地区的景观生态风险值较高, 生态环境脆弱, 其相邻地区的景观生态风险值也较高, 这是由于该区域地势相对平坦, 社会经济发展水平较高, 优势景观为耕地和建设用地, 交通通达度高, 人类活动较强, 城市建设用地侵占耕地, 景观破碎度增高, 景观分离度加大, 导致该区域整体景观生态高风险度聚集。“低—低”景观生态风险聚集区主要集中在研究区南部和北部区域, 说明该地区景观生态风险值较低, 其相邻地区的景观生态风险值也较低,

这些区域主要为高山及中高山, 优势景观主要为林地, 交通通达度低, 人类活动较弱, 景观连通性强, 景观破碎度小, 因此该区域整体景观生态风险度较低。“低—高”景观生态风险聚集区多分布于汉中盆地北部边缘和南部边缘地区, 该区域是盆地向低山丘陵过渡的区域, 该区域内侧为地形平坦, 土壤肥沃, 以耕地和建设用地景观为主的汉中盆地, 随着人类活动强度的不断增大, 致使该区域景观破碎度增高, 景观分离加大, 景观格局不稳定, 生态环境较为脆弱, 生态风险较高; 而该区域外侧受人类活动干扰较弱, 生态环境保护良好, 以林地景观为主的优势景观格局稳定, 生态风险较低。“高一低”景观生态风险聚集区多分布于研究区东南部 and 东北部区域。

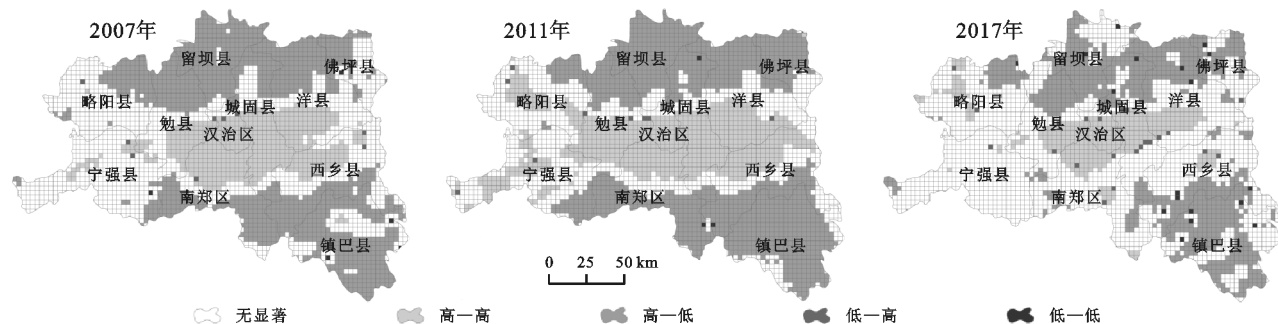


图 2 汉中市 2007 年、2011 年和 2017 年景观生态风险 LISA 聚类

整体而言, 2007—2017 年汉中市景观生态风险变化显著, 中部“高一高”景观生态风险聚集区总面积呈减小趋势; 研究区南部和北部“低—低”景观生态风险聚集区总面积减小, 分布由聚集向分散化演变, 景观破碎度增强; “高一低”景观生态风险聚集区和“低—高”景观生态风险聚集区分布随时间的推移上有扩大的趋势, 说明景观生态高风险和低风险之间的分化程度在减小。

3 结论与讨论

3.1 讨论

汉中地处秦巴腹地, 北靠秦岭, 南倚大巴山西段的米仓山, 境内自然植被覆盖高, 相对集中分布的林地是其优势景观, 对景观生态风险贡献大, 奠定了该区景观生态风险总体水平相对较低的基础^[21]。然而, 长期以来, 汉中经济落后, 人口地域分布差异显著, 城乡二元结构明显。尤其是, 近年来, 人口数量的增长, 使区域环境承载力不堪重负, 导致对资源环境的不合理利用和干扰程度大, 加之多次大规模的毁林和过度采伐, 原始森林几乎破坏殆尽, 生态效益变差, 保障区域生态安全的功能明显下降, 不合理的人类活动, 引起自然灾害频繁, 生态环境恶化问题突出^[22-23]。为了恢复和保护秦巴山区自然生态环境, 保障南水北

调中线工程水源地的供水和生态安全, 汉中市先后实施了“天保”工程、“长治”工程、“丹治”工程水源区生态和水资源补偿工程、退耕还林还草工程、以及生态环境综合治理工程等一系列生态环境保护 and 建设工程, 汉中市植被覆盖的数量化指标明显提高, 生态系统日趋稳定, 特别是长期以来生态环境恶化问题最为突出、人类活动干扰最为剧烈的低山丘陵区, 景观生态风险与 2011 年相比得到明显控制。然而, 从景观尺度和景观生态的角度而言, 当前的一系列生态环境保护措施和建设工程, 大都基于坡面、小流域或生态系统尺度, 部分县区退耕还林还草工程也存在“见缝插绿”的现象, 虽然景观优势度持续增加, 但同时也导致生态风险较小的林地和草地景观破碎度、分离度增大, 加之社会经济的不断发展, 人类活动最密集、城市化进度最快的汉中盆地、各县城及周边地区景观生态风险愈加恶化; 并且, 随着耕地的大面积减少, 道路、城市建设用地的快速增加, 人类活动逐渐向中高山区扩散, 进一步加剧了景观的破碎化程度, 景观在空间上的分布更加分散, 使汉中市 10 a 间的景观生态风险总体有明显加剧趋势, 并导致中高山区原有的集中连片分布的低风险格局被打破。因此, 建议今后在实施相关生态环境保护 and 建设过程中, 除大力进行小流域生态环境治理与保护, 以及生态建设数量化指标提

升外,应着重从景观连通、稳定的景观角度,宏观布局,标本兼治,优化景观安全网络格局,降低景观破碎化和分离化程度,科学调控人类活动对景观的干扰,构建景观生态安全网络体系,以确保区域生态安全、社会经济与生态环境可持续发展,保障南水北调中线工程的水源安全以及调水工程的长效安全运行。

3.2 结论

(1) 2007—2017年汉中市景观类型均以林地景观占绝对优势,呈现出林地和建设用地持续增加、耕地稳定减少。研究区景观格局破碎化程度加剧。

(2) 汉中市景观生态风险总体处于较低水平,以低风险和较低风险为主。但10a间,景观生态风险呈现出“总体恶化,局部波动缓解”的特征。低风险区面积由2007年的65.72%降低到2017年的39.33%,而其他较高等级风险区的面积几乎均有不同程度的增加。高风险区主要集中在人类活动最密集、城市化进度最快的汉中盆地、各县城及周边地区。汉江沿岸两侧低山丘陵区景观生态风险经历了由“低风险→中等、较高风险→较低风险”的波动缓解过程,中高山区景观生态风险呈现由汉江两侧辐射状扩散加剧的趋势。

(3) 2007—2017年汉中市景观生态风险具有显著的空间相关性。不同景观格局生态风险水平具有强烈的空间正相关关系,景观生态相近区域在空间上的聚集态势呈逐步减弱趋势。并且,汉中市景观生态风险存在明显的空间关联,“高一高”和“低—低”风险聚集区分布随时间推移逐渐缩小,“低—高”和“高一低”风险聚集区分布随时间推移逐渐扩大,高风险和低风险间的分化程度也在逐渐减小。

参考文献:

- [1] 曹祺文,张曦文,马洪坤,等.景观生态风险研究进展及基于生态系统服务的评价框架:ESRISK[J].地理学报,2018,73(5):843-855.
- [2] 彭建,党威雄,刘焱序,等.景观生态风险评价研究进展与展望[J].地理学报,2015,70(4):665-679.
- [3] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等.景观生态学原理[M].北京:科学出版社,2002.
- [4] 阳文锐,王如松,黄锦楼,等.生态风险评价研究及进展[J].应用生态学报,2007,18(8):1869-1876.
- [5] Suter G W. Endpoints for regional ecological risk assessments[J]. Environmental Management, 1990, 14(1): 9-23.
- [6] Landis W G. Twenty years before and hence; ecological risk assessment at multiple scales with multiple stressors and multiple endpoints[J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2003, 9(5): 1317-1326.
- [7] Adams S M, Bevelhimer M S, Greeley M S, et al. Ecological risk assessment in a large river-reservoir: 6. Bioindicators of fish population health[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1999, 18(4): 628-640.
- [8] Changqing Z, Bin D, Liping L, et al. Study on ecological risk assessment for land-use of wetland based on different scale[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2015, 44(5): 1-8.
- [9] 王志杰,苏嫒.南水北调中线水源地生态脆弱性评价与特征分析[J].生态学报,2018,38(2):1-12.
- [10] 张莹,雷国平,林佳,等.扎龙自然保护区不同空间尺度景观格局时空变化及其生态风险[J].生态学杂志,2012,31(5):1250-1256.
- [11] 高宾,李小玉,李志刚,等.基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析[J].生态学报,2011,31(12): 3441-3450.
- [12] 段晓艳,胡业翠.基于景观类型的北京市生态风险时空特征分析[J].中国农学通报,2015,31(29):82-89.
- [13] 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.
- [14] 李小燕,王志杰.汉江源土壤流失状况及生态效益测评[J].长江流域资源与环境,2013,25(4):672-680.
- [15] 徐玉霞.陕南秦巴山地退耕还林工程综合效益评价[J].中国农学通报,2017,33(28):104-110.
- [16] 周汝佳,张永战,何华春.基于土地利用变化的盐城海岸带生态风险评价[J].地理研究,2016,35(6):1017-1028.
- [17] 康璇,王雪梅.基于景观格局的新疆渭干河—库车河三角洲绿洲的生态风险评价[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2017,45(8):139-156.
- [18] 韩晓佳,刘小鹏,王亚娟,等.基于景观格局的干旱区绿洲生态风险评价与管理[J].水土保持研究,2017,24(5):285-290.
- [19] 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.
- [20] 公云龙,张绍良,章兰兰.城市地价空间自相关分析:以宿州市为例[J].经济地理,2011,31(11):1908-1911.
- [21] 李小燕,任志远,张翀.汉江流域NDVI与水热指数时空变化及相关性分析[J].地理研究,2013,32(9):1623-1634.
- [22] 马乃喜,周文涛,孙纲.陕西汉江流域的生态环境问题及其对丹江口水库的影响[J].陕西环境,2003,10(6): 1-3.
- [23] 赵佐平,闫莎,同延安,等.汉江流域上游生态环境现状及治理措施[J].水土保持通报,2012,32(5):32-36,60.