

DOI: 10.5846/stxb201905291126

王柯,郭义强,张建军,张亚男,刘时栋.基于时空分析的生态保护与修复试点工程实施效果评估——以赣州市为例.生态学报,2019,39(23): 8867-8877.

Wang K, Guo Y Q, Zhang J J, Zhang Y N, Liu S D. Evaluation on the implementation effect of the pilot project for ecological protection and restoration of multi ecological elements based on spatio-temporal analysis: A case study of Ganzhou. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(23): 8867-8877.

基于时空分析的生态保护与修复试点工程实施效果评估

——以赣州市为例

王 柯¹, 郭义强^{2,3}, 张建军^{1,3,*}, 张亚男^{2,3}, 刘时栋¹

1 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083

2 自然资源部国土整治中心, 北京 100035

3 自然资源部土地整治重点实验室, 北京 100083

摘要:以“山水林田湖草生命共同体”为中心思想,从生态系统的格局和质量两个方面,对赣州市山水林田湖生态保护与修复试点工程实施效果进行了综合评估。结果如下:(1)从生态系统格局来看,2015 到 2018 年,赣州市森林、农田和城镇生态系统面积明显增加,超过 40%的草地生态系统转变为森林生态系统,且近 45%的城镇生态系统面积增量由草地生态系统贡献。此外,多数自然生态系统的斑块破碎化加剧,森林生态系统破碎化现象最为明显,最大斑块指数从 54.36 降低到 37.41,而半自然生态系统最大斑块指数增大。(2)从生态系统质量来看,赣州市归一化植被指数稳定在 0.7 以上并呈增长趋势,水土流失综合治理面积从 16543.8 km²增长到 18550.4 km²,重点流域水质基本稳定在Ⅱ、Ⅲ级,城镇生态系统受土壤重金属污染的风险较小,但部分县区农田生态系统受一种或多种土壤重金属污染的风险较大。整体而言,赣州市山水林田湖生态保护与修复试点工程取得了显著成效,较好的完成了实施方案中的规划目标。在进一步的生态保护与修复工作中,应重视赣州市自然生态系统斑块破碎化严重地区、水质出现波动较大的河流断面以及农田生态系统受土壤重金属污染威胁较大的县区。

关键词:生态保护与修复;山水林田湖草;赣州市;效果评估

Evaluation on the implementation effect of the pilot project for ecological protection and restoration of multi ecological elements based on spatio-temporal analysis: A case study of Ganzhou

WANG Ke¹, GUO Yiqiang^{2,3}, ZHANG Jianjun^{1,3,*}, ZHANG Yanan^{2,3}, LIU Shidong¹

1 School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2 Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resource, Beijing 100035, China

3 Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Natural Resources, Beijing 100083, China

Abstract: From the perspective of the ecosystem pattern and quality, the effectiveness of the pilot project for ecological protection and restoration of multi ecological elements in Ganzhou was comprehensively evaluated based on the central idea of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands system as a community of life. The results are as follows: (1) For ecosystem pattern, the area of forest, farm and urban ecosystems in Ganzhou increased significantly. More than 40% of grassland ecosystems were converted to forest ecosystems, and nearly 45% of urban ecosystem area increment were

基金项目:自然资源部国土整治中心课题(20191603)

收稿日期:2019-05-29; 修订日期:2019-09-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangjianjun_bj@126.com

contributed by grassland ecosystems. In addition, landscape fragmentation in most natural ecosystems was intensified, and the largest patch index (LPI) of forest ecosystems were decreased from 54.36 to 37.41, while the LPI in semi-natural ecosystems were increased. (2) Regarding ecosystem quality, the normalized difference vegetation index (NDVI) of Ganzhou was stable above 0.7 and showed an increasing trend. The comprehensive control area of soil erosion increased from 16543.8 km² to 18550.4 km², and the water quality in key river basins was basically stable at Grade II and III. For the quality of soil environment, urban ecosystems were less threatened by the risk of soil heavy metal pollution. But the soil of farm ecosystems in some areas were at higher risk of being contaminated by one or more heavy metals. Overall, the ecological protection and restoration project in Ganzhou has achieved remarkable effectiveness, and the planning objectives in the implementation plan have been well completed. In the further ecological restoration work, there are three problems should be taken seriously, including the natural ecosystems with severe landscape fragmentation, the rivers with large fluctuations in water quality, and the farm ecosystems with high risk of heavy metal pollution.

Key Words: ecological protection and restoration; mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands system; Ganzhou; effect evaluation

自我国十八大提出生态文明建设以来,生态环境保护上升至我国重要战略位置。此后,在十八届五中全会、中央经济工作会议以及《生态文明体制改革总体方案》中都提出了关于开展山水林田湖生态保护与修复的要求,并且各级行政单位成立了生态文明先行示范区建设领导小组及山水林田湖生态保护修复推进工作领导小组专题研究了“山水林田湖”综合治理试点工作的重要任务、目标和工作分工。目前,针对山水林田湖生态保护与修复的研究多集中在理论内涵^[1-6]、修复内容^[7]、修复工程方案的制订和实施^[8-13]、问题与建议^[14]等方面,但以“山水林田湖草”生命共同体为核心,综合评估试点工程区保护与修复成效的研究还不多见。本文综合利用 2015 年和 2018 年的多源卫星遥感数据和地面观测统计数据,集成地统计学和景观生态学方法,以生态系统格局和质量变化^[15-17]为核心评估内容,以“综合状况-变化趋势”为评估模式^[18],通过工程区多维时空对比分析,揭示了作为第一批山水林田湖生态保护与修复试点工程区的赣州市的生态环境保护与修复成效,为提升山水林田湖生态保护与修复试点工程的整体服务能力提供科学依据。

1 数据资料与方法

1.1 研究区与工程区布局概况

赣州市位于 113°54'—116°38'E, 24°29'—27°09'N 之间,地处赣江、东江的源头区(图 1),南岭山地、武夷山脉、罗霄山脉的交汇地带,呈典型的亚热带季风性湿润气候,是赣江和东江水源的根基和命脉所在、我国生物多样性保护的关键地区,也是南方丘陵山地生态屏障组成部分。同时,赣南作为我国土地革命战争时期重要革命根据地,是我国苏区精神的主要发源地。所以,该地区生态环境关系着我国南方地区的生态安全,同时也关系着赣南苏区的生态文明建设与可持续发展。

赣州市山水林田湖生态保护与修复工程共划分为四个片区,构建了以四片区为主体,以水土流失敏感区、矿山资源及规划矿区、江河湖库、生物多样性保护重要区等区域为网点的生态保护与修复工程实施架构(表 1)。各片区重点工程如下:东北片区拟开展 3 项工程,包括赣州城区水环境与水土流失综合整治工程、贡江下游水土流失与矿山环境综合治理工程、赣江水源区综合保护工程;西北片区拟开展 3 项工程,包括章水源区废弃矿山综合治理工程、章水源区水环境保护工程、章水上游生态廊道与植被提质增效工程;西南片区包含 3 大工程,有桃江中游水质提升示范工程、桃江上游废弃稀土矿综合整治工程、桃江上游水环境综合整治工程;东南片区拟开展东南片区流域水环境综合治理工程 1 项工程。此外,还有 3 个全市统筹推进的整体项目,包括赣州市矿山环境治理工程、赣州市低质低效林改造项目 and 东江源流域水环境综合治理工程。



图 1 研究区示意图

Fig.1 Schematic diagram of study area

表 1 赣州市生态保护与修复分区

Table 1 The subarea of ecological protection and restoration in Ganzhou

生态保护与修复片区 Subarea of ecological protection and restoration	面积 Area/km ²	占比 Proportion/%	工程数 Number of projects	具体项目数 Number of sub-projects
东北片区 Northeast area	22200.34	56.40	3	31
西北片区 Northwest area	5093.11	12.94	3	10
东南片区 Southeast area	6046.82	15.36	1	9
西南片区 Southwest area	6022.68	15.30	3	8

1.2 研究框架

本文基于 2015 年和 2018 年的遥感影像数据、社会经济统计数据 and 地面检测与监测数据,以不同生态系统面积、占比、各类型间的转移情况以及不同类型生态系统的景观指数来综合反映生态系统格局变化;以植被长势情况、水土流失治理情况、重点流域河流水质情况和土壤环境治理状况 4 个方面综合反映生态系统质量状况,并从生态系统格局和生态系统质量两个方面综合对比了工程区实施山水林田湖生态保护与修复工程前后的生态系统变化特征,旨在为山水林田湖生态保护修复试点工程区的生态环境保护与修复成效评估提供借鉴(图 2)。

1.3 数据资料

本文所用数据主要包括影像数据、统计数据以及矢量边界数据(表 2),其中 2015 年和 2018 年美国地质

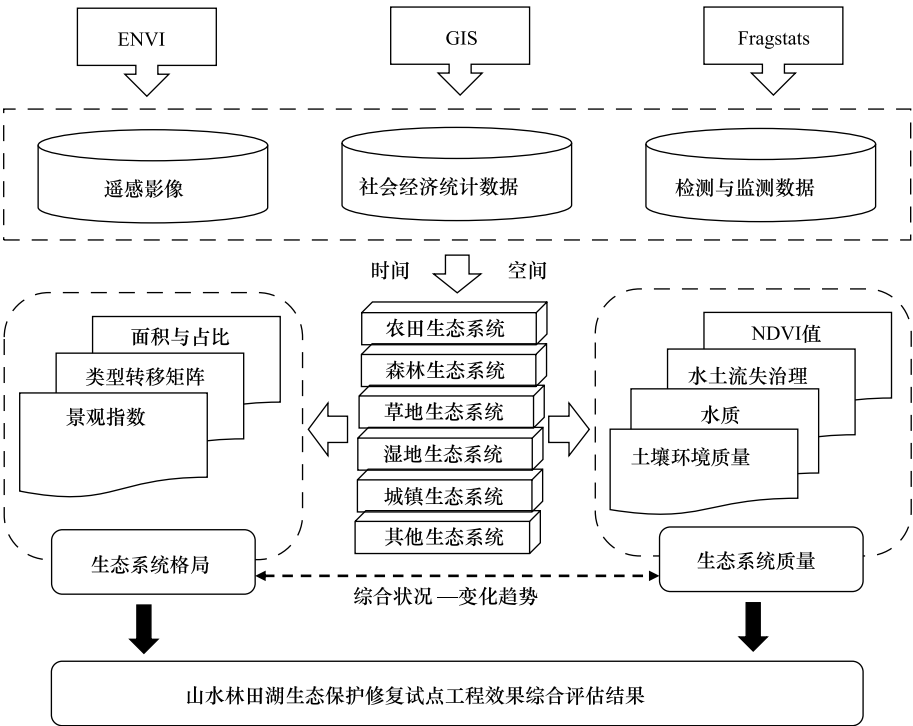


图2 研究框架

Fig.2 Research framework

勘探局(USGS, United States Geological Survey) Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 的卫星遥感数据通过 ENVI 5.1 对影像进行辐射定标、大气校正等图形处理准备工作。对处理好的两期遥感影像图各自的 5 景进行镶嵌,并按照赣州市的行政边界进行裁剪。通过监督分类法和人工目视解译来判读获得土地利用/覆被数据^[21],最终得到赣州市生态系统类型构成及其空间分布数据。

表2 数据说明

Table 2 Data description

数据类型 Type	具体数据 Data	数据描述 Description	数据来源 Source
影像数据 Remote sensing satellite image data	Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 的卫星遥感数据	由条带号 121,行编号 41、42、43;条带号 122,行编号 42、43 五景影像拼接而来(云量均小于 1),用以解译土地利用/覆被数据	https://glovis.usgs.gov/app? fullscreen = 1
	MODIS 数据产品 MOD13Q1	空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 天,利用 Savitzky-Golay 滤波对长时间序列 NDVI 数据进行处理 ^[19-20]	https://lpdaac.usgs.gov
统计数据 Statistical data	水土治理情况		赣州统计年鉴 2015、2016、2017、2018
	重点流域河流水质监测	25 个重点流域河流断面	赣州市生态环境局
	土壤检测	147 个检测点位	赣州市生态环境局
矢量数据 Vector data	赣州市分区县矢量图		http://www.resdc.cn/

1.4 研究方法

1.4.1 生态系统格局研究

对于生态系统格局的研究,首先,本文从生态系统分类出发,基于遥感数据,借鉴国际和国内土地利用/覆被分类体系,确定了农田生态系统、森林生态系统、草地生态系统、湿地生态系统、城镇生态系统和其他生态系

统 6 种生态系统类型,并研究各生态系统类型的面积、占比及不同生态系统之间的相互转换关系(生态系统转移矩阵)^[22],明确生态系统变化的主要类型和区域。其次,基于 Fragstats 4.2 软件,本文选取代表性景观指数中的最大斑块指数(LPI, Largest Patch Index)来反映人类活动的方向和强度以及不同生态系统的破碎化程度^[23],并使用软件平台中的移动窗口功能来反映研究区各生态系统格局的时空变化。

1.4.2 生态系统服务质量研究

从植被长势、水土流失治理、水质治理和土壤重金属污染风险四个方面评估工程区生态系统服务质量。其中,选择归一化植被指数(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)年平均值和标准差为主要指标参数来分析陆表植被长势时空变化特征,选择水土流失综合治理面积、新增小流域综合治理面积、新增水土流失综合治理面积和封禁治理保有面积 4 个指标分析水土流失治理情况,选择地面监测和检测数据来评估水质和土壤环境质量。

2 结果与分析

2.1 工程区生态系统格局时空变化分析

2.1.1 生态系统类型面积变化及转移方向

2015—2018 年,赣州市整体生态系统布局在宏观空间上没有发生明显变化,森林生态系统在整个系统中占比最高,其次是农田生态系统、草地生态系统、城镇生态系统和其他生态系统(图 3)。赣州市南部和西部的森林生态系统面积明显高于北部和东部地区,农田生态系统大多分布在城镇生态系统周边,北部地区的农田生态系统和城镇生态系统面积明显高于南部地区,是人类主要的生活、生产区。

就各生态系统的面积变化而言,赣州市森林生态系统面积增加,森林覆盖率从 74.2% 上升到 76.5%,达到工程规划制订的目标,城镇生态系统呈现明显扩张,而草地和其他生态系统面积显著下降,且减少的草地和其他生态系统多数转变成了森林、农田和城镇生态系统,湿地生态系统面积变化较小(表 3)。

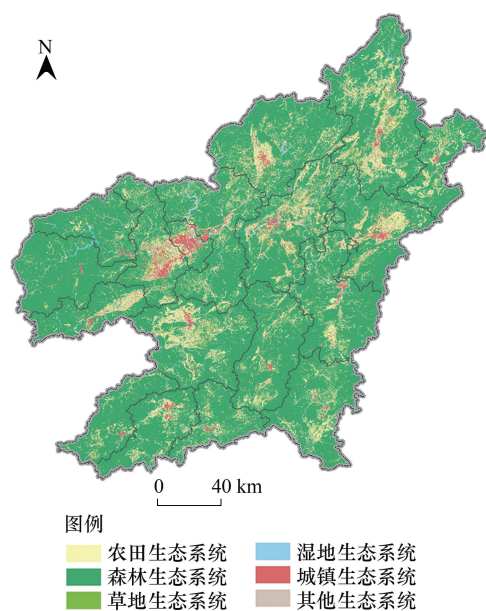


图 3 2018 年赣州市生态系统类型空间分布

Fig.3 Spatial distribution of ecosystem types in Ganzhou (2018)

表 3 赣州市生态系统转移矩阵(2015—2018)/万 km²

Table 3 Ecosystem transfer matrix of Ganzhou (2015—2018)

	农田生态系统 Farm ecosystem	森林生态系统 Forest ecosystem	草地生态系统 Grassland ecosystem	湿地生态系统 Wetland ecosystem	城镇生态系统 Urban ecosystem	其他生态系统 Other ecosystems	总计 Total
农田生态系统 Farm ecosystem	3199.84	1952.23	39.93	23.80	95.27	3.44	5314.51
森林生态系统 Forest ecosystem	1368.47	26830.48	2007.14	21.32	10.36	0.71	30238.49
草地生态系统 Grassland ecosystem	406.87	435.76	1469.57	8.55	55.22	6.71	2382.67
湿地生态系统 Wetland ecosystem	29.11	26.33	25.33	265.13	26.47	2.38	374.75
城镇生态系统 Urban ecosystem	298.61	89.84	349.18	16.14	381.05	32.74	1167.55
其他生态系统 Other ecosystems	3.51	2.12	10.75	1.92	7.13	5.17	30.59
总计 Total	5306.41	29336.76	3901.91	336.85	575.50	51.14	39508.56

从工程分区来看,东北片区的森林生态系统面积占比最小,2015 年仅占片区总面积的 69.82%,到 2018 年

该片区森林生态系统占比上升到 71.34%。西北片区和西南片区的森林生态系统面积占比在 2015 年均超过了 80%,但西南片区森林生态系统面积到 2018 年缩小到 77.10%。值得注意的是,虽然东南片区 2015 年森林生态系统面积占比仅处于全市平均水平,但近年增长显著,2018 年的森林生态系统面积占比已经超过 80% (表 4)。

表 4 分片区生态系统变化/%
Table 4 Ecosystems changes in the subarea

	东北片区 Northeast area		东南片区 Southeast area		西南片区 Southwest area		西北片区 Northwest area	
	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2015	2018
农田生态系统 Farm ecosystem	14.91	19.36	16.04	13.74	9.90	16.80	8.09	8.29
森林生态系统 Forest ecosystem	69.82	71.34	75.32	80.77	81.71	77.10	83.52	85.78
草地生态系统 Grassland ecosystem	12.32	4.24	7.29	3.68	6.17	3.04	6.68	2.99
湿地生态系统 Wetland ecosystem	1.00	1.13	0.33	0.33	0.58	0.74	1.17	1.13
城镇生态系统 Urban ecosystem	1.82	3.84	0.86	1.41	1.59	2.27	0.44	1.73
其他生态系统 Other ecosystems	0.14	0.09	0.17	0.07	0.06	0.04	0.10	0.08

2.1.2 生态系统景观格局时空变化分析

对于整个工程区而言,除了城镇生态系统和湿地生态系统以外,其他生态系统的 LPI 值都有一定程度的下降,尤以森林生态系统的 LPI 值下降最为显著(图 4),这表明人类活动对生态景观格局产生较为强烈的影响,自然和半自然生态景观受到的扰动加剧,生态景观优势度降低。

从空间上来看,森林生态系统的斑块较为完整,相对于其他生态系统破碎程度较低,LPI 值高的地区多分布在西北和西南的南岭山地区。LPI 低值地区主要分布在城市、农田周边,这也进一步从空间上直观反映出人类的生产和生活活动对森林生态系统景观格局具有较大影响。农田生态系统和草地生态系统相较于森林生态系统而言,斑块分布分散,尤其是草地生态系统,主要散布于森林、农田生态系统之间。城镇生态系统 LPI 值较大的区域分布在赣州市中心城区以及其他县市的城区,其他居民点则零星分布,LPI 值较低。

2.2 工程区生态系统质量时空变化分析

2.2.1 陆表植被长势时空变化特征分析

从整体的空间分布来看,植被覆盖度较高的地区大多属于南岭山地森林及生物多样性生态功能区,且赣州市中部和东部地区的植被覆盖状况明显优于西部地区。2018 年的 NDVI 值略高于 2015 年,且 NDVI 高值栅格数量呈增加态势(图 5),这表明工程区植被长势较好、生态质量上升,也侧面反映出工程区在增加生态用地和改造低质、劣质林上取得了一定的成效。

从工程分区的对比来看,2015 年 NDVI 值较高的区域是东南片区和西南片区,NDVI 值达到 0.726。东北片区次之,NDVI 值也超过了 0.7,且东北片区 NDVI 值的标准差相对较小,即东北片区植被覆盖的空间差异性相对较小(表 5)。相较于 2015 年,西北片区和东南片区的 NDVI 值在 2018 年均有上升,尤其是西北片区的 NDVI 值上升幅度较大,可见在工程实施期间,西北片区在森林抚育和森林管护方面取得显著成效。从分区县对比来看,工程区 18 个县市的 NDVI 值在 0.542—0.758 之间,其中有 9 个县市区的 NDVI 在 2015—2018 年有所上升,尤其是南康区、上犹县和大余县上升显著,均上升了 0.5 以上,其他 9 县 NDVI 值呈现小幅下降(图 6)。

2.2.2 水土流失治理情况分析

赣州市水土流失综合治理面积和新增小流域综合治理面积整体呈现增长趋势,分别从 16543.8 km²增长

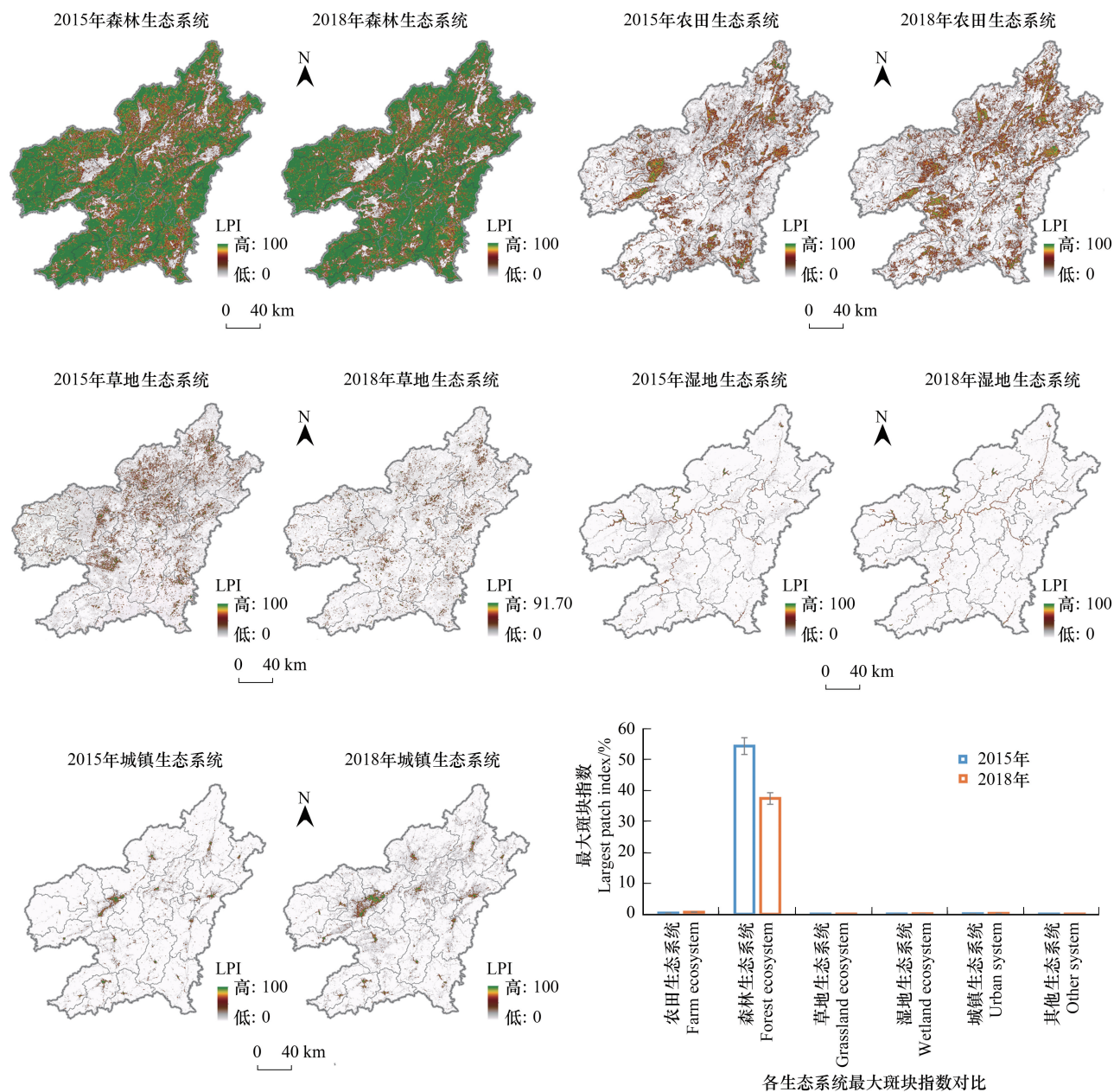


图 4 各生态系统 LPI 的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of LPI in different ecosystems

LPI: 最大斑块指数 Largest Patch Index; 由于未利用地面积较小且空间分布离散,故没有生成未利用地 LPI 移动窗口图

表 5 2015、2018 年分区统计 NDVI 值

Table 5 NDVI of subarea in 2015 and 2018

	平均值 Mean		标准差 Standard deviation	
	2015	2018	2015	2018
东北片区 Northeast area	0.708	0.702	16.248	14.355
西北片区 Northwest area	0.687	0.722	19.487	17.131
东南片区 Southeast area	0.726	0.736	18.379	14.393
西南片区 Southwest area	0.726	0.695	16.702	16.427

到 18550.4 km²以及 395.5 km²增长到 458.4 km²,而新增水土流失综合治理面积和封禁治理保有面积整体呈现减小趋势,分别从 840.8 km²减小到 458.4 km²以及 6029.6 km²减少到 4882.3 km²,这一方面反映了赣州市在水土流失治理力度上的加大,也说明近年来该市新增的水土流失面积得到有效控制。从分区来看,东北片区水土流失治理力度较大,而其他片区水土流失现象相对较少,其主要工程任务更多的是涵养水源和维护生物多样性等方面(图 7)。

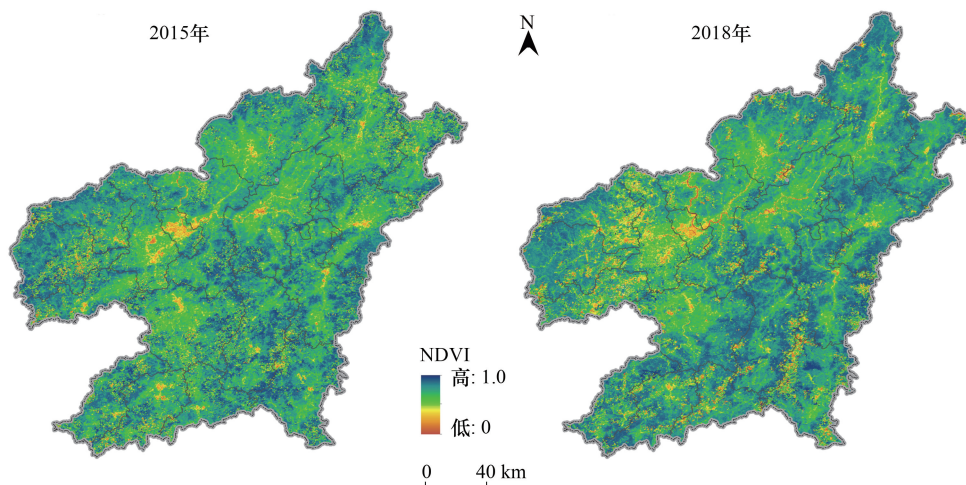


图 5 2015、2018 赣州市 NDVI 空间分布

Fig.5 Spatial distribution of NDVI in Ganzhou (2015 and 2018)

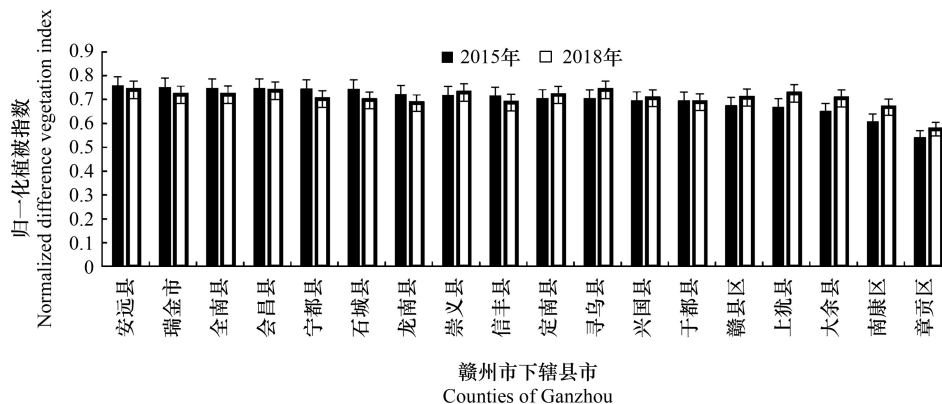


图 6 2015、2018 分县区 NDVI 值

Fig.6 NDVI for each county in 2015 and 2018

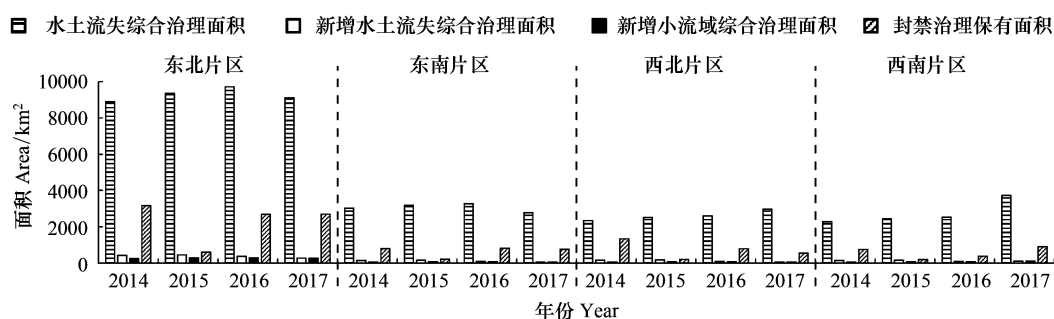


图 7 分片区水土流失治理情况

Fig.7 Soil erosion control in the subarea

2.2.3 重点流域河流水质变化分析

根据 2017 年 1 月—2018 年 6 月赣州市 25 个重点流域水质监测断面的水质检测数据,多数重点流域的水质处于Ⅱ级和Ⅲ级,表明在工程实施期间,赣州市的水质情况基本稳定,甚至一些水质断面优于功能区标准(湘水河口,留金坝电站等水质检测断面)。部分监测断面的水质在此期间呈现出较强的波动,如观河浮桥检测断面、大余新城监测断面虽然在多数月份内水质处在Ⅱ级和Ⅲ级,但在 2017 年 12 月,此二监测断面水质都达到了劣Ⅴ类,尤其是观河浮桥水质监测断面,2017 年 12 月—2018 年 2 月的水质一直处于较差水平(图 8)。

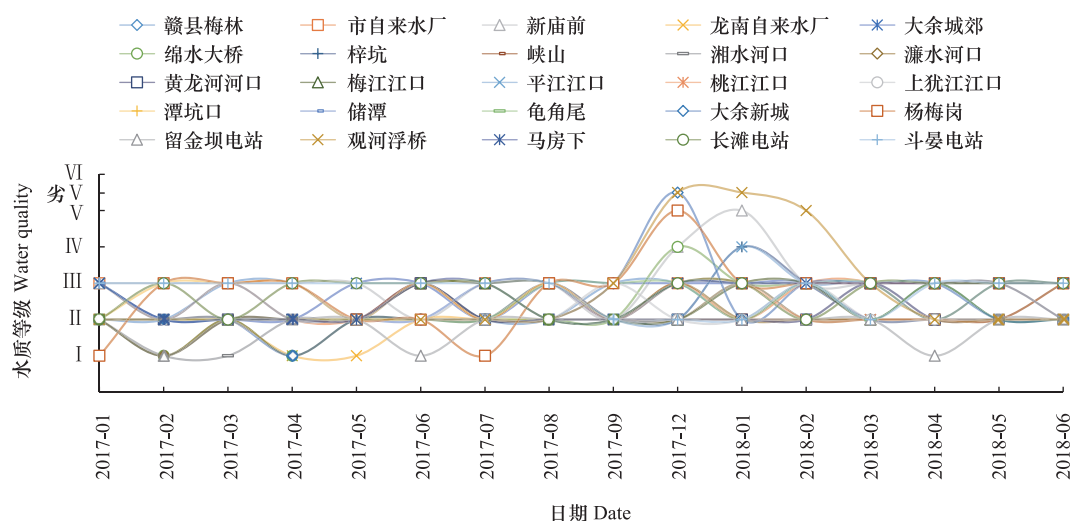


图 8 重点流域监测断面水质变化情况

Fig.8 Changes in water quality in key river basin monitoring sections

2.2.4 土壤环境质量评价

在赣州市章贡区、赣州市经开区、龙南县、南康区、瑞金市、上犹县、信丰县、会昌县、全南县、安远县、赣县区、兴国县、于都县、大余县、定南县、宁都县、石城县、崇义县 18 个县(市/区)范围内,涉及 97 家土壤重点监管企业的周边土壤布设检测点位,共 147 个检测点位(剔除无法获取到经纬度数据的点位),每个点位采集表层土样,每份样品采样量为 2kg,采样深度为 0—20 cm,检测的具体指标包括土壤 pH 值,土壤铜(Cu)、锌(Zn)、铬(Cr)、铅(Pb)、镉(Cd)、砷(As)、汞(Hg)和镍(Ni)8 种重金属的含量,具体点位分布如图 9 所示。

基于 Arcgis10.2 软件平台,采用普通克里金法对土壤检测样点进行最优内插,得到赣州市土壤环境质量的空间特征(图 10)。参考《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》和《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》,建设用地 Cu、Zn、Pb、Cd、As、Hg、Ni 七种金属元素空间插值的最大值没有超过建设用地的筛选值标准,威胁人体健康的风险很小,而建设用地 Cr 金属超过管控值标准的区域主要分布在赣州市的西北和西南地区,且整个赣州市建设用地 Cr 金属普遍高于筛选值,存在危害人体健康的风险。就农田生态系统来看,会昌县、寻乌县、章贡区和南康区受

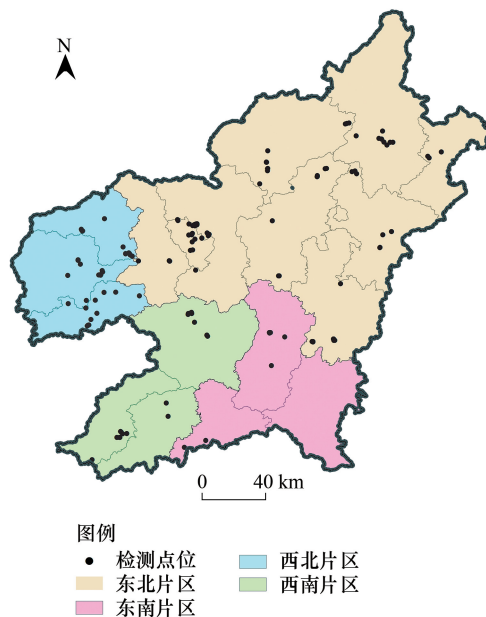


图 9 土壤检测点位空间分布

Fig.9 Spatial distribution of soil detection points in Ganzhou

Cu 金属超过土壤污染风险值的威胁较大,全南县和龙南县受到 Pb 金属超过土壤污染风险值的威胁较大,章贡区、南康区和赣县区受 Cd 金属土壤污染的风险较高,As 金属超过风险阈值的县市主要有宁都县、兴国县、于都县、瑞金市、大余县、崇义县等,赣县区 Hg 金属超过农田土壤风险阈值。

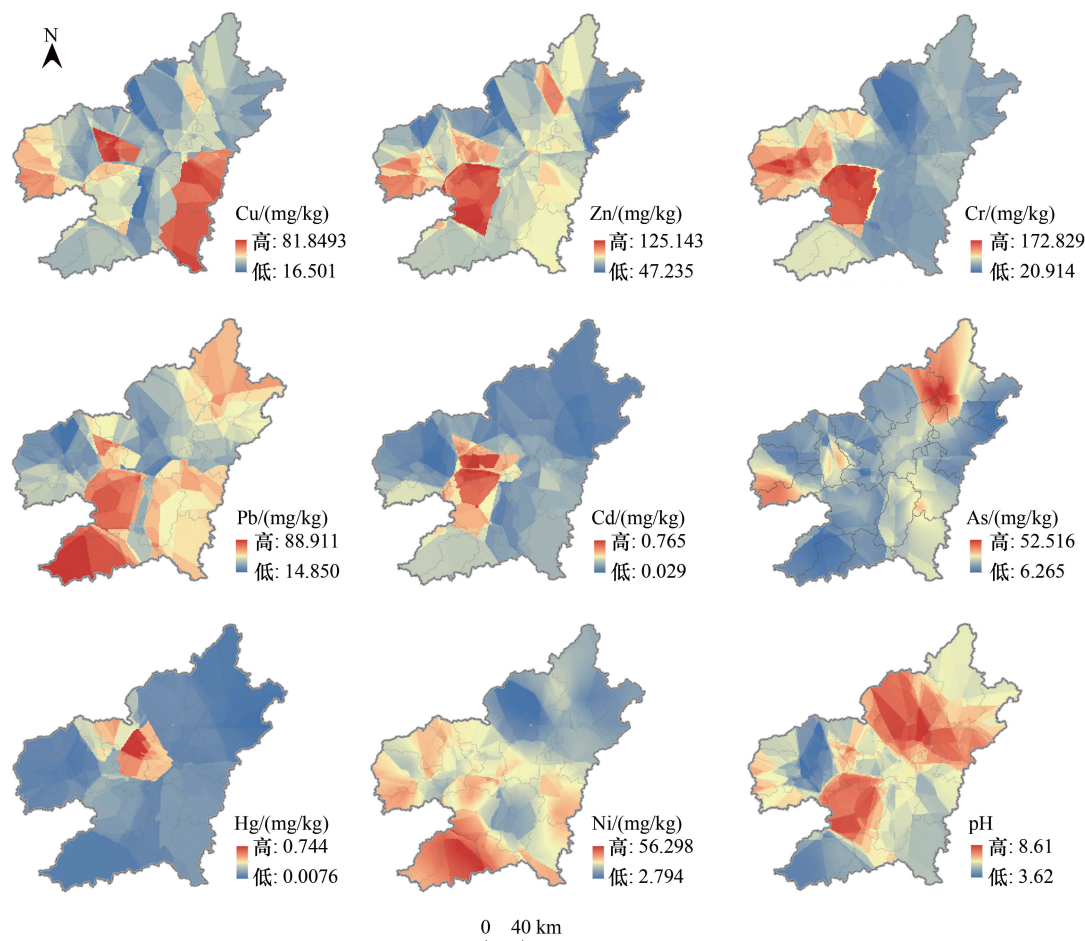


图 10 赣州市土壤环境质量空间插值

Fig.10 Spatial interpolation of soil environmental quality in Ganzhou

3 结论与讨论

(1)从生态系统的格局来看,工程区主要的生态系统变化表现为森林生态系统、农田生态系统和城镇生态系统面积增加,草地生态系统面积下降显著且主要向森林生态系统转变。此外,工程区多数自然生态系统更加趋向破碎化,如森林生态系统 LPI 值从 54.36 降低到 37.41,而半自然生态系统 LPI 值都在增加,城镇生态系统 LPI 值从 0.14 增加到 0.26,农田生态系统 LPI 值从 0.34 增加到 0.67。

(2)从生态系统质量来看,工程区植被长势较好,尤其是西北片区增长最为显著,NDVI 值从 0.687 上升到 0.722;工程区水土流失现象得到有效防治,全市水土流失综合治理面积增长 2006.6 km²;河流水质基本稳定在Ⅱ级和Ⅲ级水质;城镇生态系统土壤污染风险较小,但农田生态系统土壤受重金属污染的风险较大,尤其是赣县区、南康区和章贡区,2—3 种重金属接近或超过农用土壤污染风险值。

整体而言,赣州市山水林田湖生态保护与修复工程取得了显著成效,较好的完成了实施方案中的规划目标。基于此工程,在接下来的生态修复中,应进一步重视赣州市自然态系统斑块破碎化严重的地区、水质出现波动较大的断面以及农田生态系统受土壤重金属污染威胁较大的县区。

值得注意的是,本文虽无法保证所有生态系统变化都是该试点工程实施所产生的结果,但本文选取的评估对象、评估指标均是该生态保护与修复试点工程总体目标的一部分,因而可以较为科学的评估试点工程的实施效果。此外,本文存在解译精度带来的误差以及检测样点不足导致的空间插值误差,因此可能会对本文的结果产生一定影响。

参考文献 (References):

- [1] 邹长新,王燕,王文林,徐德琳,林乃峰,李文静. 山水林田湖草系统原理与生态保护修复研究. 生态与农村环境学报, 2018, 34(11): 3-9.
- [2] 刘威尔,宇振荣. 山水林田湖生命共同体生态保护和修复. 国土资源情报, 2016, (10): 37-39, 15-15.
- [3] 宇振荣,郅文聚. “山水林田湖”共治共管“三位一体”同护同建. 中国土地, 2017, (7): 8-11.
- [4] 黄贤金,杨达源. 山水林田湖生命共同体与自然资源用途管制路径创新. 上海国土资源, 2016, 37(3): 1-4.
- [5] 王夏晖,何军,饶胜,蒋洪强. 山水林田湖生态保护修复思路与实践. 环境保护, 2018, 46(3/4): 17-20.
- [6] 张惠远,郝海广,舒昶,王一超. 科学实施生态系统保护修复切实维护生命共同体. 环境保护, 2017(6): 31-34.
- [7] 吴运连,谢国华. 赣州山水林田湖草生态保护修复试点的实践与创新. 环境保护, 2018, 46(13): 80-83.
- [8] 吕小永. 陕西省黄土高原地区山水林田湖生态保护修复工程实践. 中国资源综合利用, 2018, 36(10): 157-159.
- [9] 陈艳华,赖庆标. 探索“山水林田湖”生命共同体村庄综合整治之路——福建省长汀县南山下村和半坑村的创新实践. 中国土地, 2017, (1): 46-48.
- [10] 夏文博. 环巢湖地区山水林田湖生态修复治理探讨. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2017, 17(2): 19-21.
- [11] 王波,王夏晖. 推动山水林田湖生态保护修复示范工程落地出成效——以河北围场县为例. 环境与可持续发展, 2017, 42(4): 11-14.
- [12] 杨新民. “山水林田湖”美丽库区的实现路径——河南省移土培肥工程的探索. 中国土地, 2017, (2): 46-48.
- [13] 郎需利,曹波. 山水林田湖生态保护修复分区方案研究. 铁路节能环保与安全卫生, 2018, 8(2): 85-92.
- [14] 王涛,高峰,王宝,王鹏龙,王勤花,宋华龙,尹常亮. 祁连山生态保护与修复的现状问题与建议. 冰川冻土, 2017, 39(2): 229-234.
- [15] 王晓峰,吕一河,傅伯杰. 生态系统服务与生态安全. 自然杂志, 2012, 34(5): 273-276, 298-298.
- [16] 郑华,李屹峰,欧阳志云,罗跃初. 生态系统服务功能管理研究进展. 生态学报, 2013, 33(3): 702-710.
- [17] 侯鹏,翟俊,曹巍,杨旻,蔡明勇,李静. 国家重点生态功能区生态状况变化与保护成效评估——以海南岛中部山区国家重点生态功能区为例. 地理学报, 2018, 73(3): 429-441.
- [18] 侯鹏,王桥,申文明,翟俊,刘慧明,杨旻. 生态系统综合评估研究进展: 内涵、框架与挑战. 地理研究, 2015, 34(10): 1809-1823.
- [19] Chen J, Jönsson P, Tamura M, Gu Z H, Matsushita B, Eklundh I. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter. Remote Sensing of Environment, 2004, 91(3/4): 332-344.
- [20] Savitzky A, Golay M J E. Smoothing and differentiation of data by simplified least-squares procedures. Analytical Chemistry, 1964, 36: 1627-1639.
- [21] Ning J, Liu J Y, Kuang W H, Xu X L, Zhang S W, Yan C Z, Li R D, Wu S X, Hu Y F, Du G M, Chi W F, Pan T, Ning J. Spatiotemporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(5): 547-562.
- [22] 刘时栋,徐丽萍,张婕. 新疆土地生态安全时空变化. 生态学报, 2019, 39(11): 3871-3884.
- [23] 彭建,王仰麟,张源,叶敏婷,吴健生. 土地利用分类对景观格局指数的影响. 地理学报, 2006, 61(2): 157-168.