

政策驱动下石羊河流域生态效应变化分析

徐晓宇, 郭萍, 张帆, 武慧, 郭文贤

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 生态政策对于区域的生态健康与可持续发展具有深刻的影响。以石羊河流域为研究对象, 借助遥感信息从地表植被动态变化、土地利用、生态系统服务价值 3 个角度对《石羊河重点治理规划》实施的生态效应进行分析。遥感数据选用了 2000—2018 年 MODIS—NDVI 数据及中国多时期土地利用/土地覆盖遥感监测数据集(CNLUCC)。通过分析政策实施前后植被覆盖变化趋势、土地利用类型转换、生态系统服务价值变化等信息, 获得了政策驱动下石羊河流域生态效应变化趋势。结果表明: 2000—2018 年间, 石羊河流域植被覆盖情况明显改善。2007 年《石羊河流域重点治理规划》实施后, 流域 NDVI 明显增加, 区域比例从 27.41% 增加到 41.44%, 严重退化区域从 37.86% 下降为 12.14%; 流域内水域、耕地和城乡工矿居民用地明显增加, 林地、草地面积略有下降; 19 年间流域生态系统服务价值从 232.82 亿元增加到 236.89 亿元, 其中 2015—2018 年间的增长趋势最为显著。研究成果对于衡量生态保护政策对石羊河流域生态系统恢复的促进作用提供了参考依据。

关键词: NDVI; 土地利用; 生态系统服务价值; 石羊河流域; 政策分析

中图分类号: X171

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)06-0185-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2020.06.027

Analysis for Changing Ecological Effects Under Policy-Driven in Shiyang River Basin

XU Xiaoyu, GUO Ping, ZHANG Fan, WU Hui, GUO Wenxian

(College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

Abstract: Regional ecological policy has a profound impact on regional ecological health and sustainable development. This study took the Shiyang River basin as the study area, and attempted to analyze the ecological effects of the *Shiyang River Key Management Plan* (SRKMP) implementation from three perspectives of surface vegetation dynamic change, land use, and ecosystem service value. Based on the remote sensing data, the MODIS—NDVI data from 2000 to 2018 and China's Multi-period Land Use Land Cover Remote Sensing Monitoring Dataset (CNLUCC) were selected. By analyzing vegetation coverage trends, land use type conversion, and ecosystem service value changes before and after policy implementation, the policy-driven impacts on the ecological effects of the Shiyang River basin were obtained. The results showed that the vegetation coverage in Shiyang River basin had been improved significantly from 2000 to 2018. After implementing the SRKMP in 2007, the proportion of area where NDVI increased had risen from 27.41% to 41.44%, and the severely degraded area decreased from 37.86% to 12.14%. Water, cultivated land and construction land were increased significantly, while the area of forest and grassland decreased slightly. The ecosystem services value in the basin increased from 23.282 billion yuan to 23.689 billion yuan in the past 19 years, with the most significant growth trend from 2015 to 2018. These research results provide a reference for measuring the promoting effect of ecological protection policy on ecosystem restoration in Shiyang River basin.

Keywords: NDVI; land use; ecosystem services value; Shiyang River basin; policy analysis

土地是人类赖以生产生活和生存发展的物质基础, 具有自然和人文双重属性。土地利用作为地球表层最突出的景观标志, 与区域生态系统结构和服务功能有着紧密联系, 可以在一定程度上反映区域生态环

境质量和优劣程度。不科学的土地利用结构是生态系统退化最普遍的驱动因素, 而区域发展政策对于土地利用结构和生态系统发展具有深刻影响。因此, 科学评价政策实施的生态效应对于区域发展和未来政

收稿日期: 2020-05-26

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“考虑水转化和不确定性的干旱区水资源优化管理模型研究”(41871199)

第一作者: 徐晓宇(1999—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事生态环境变化与环境系统规划模型研究。E-mail: serenal999@163.com

通信作者: 郭萍(1963—), 女, 教授, 主要从事水资源及环境系统不确定性研究。E-mail: 09020@cau.edu.cn

策制定具有重要的现实意义。

近年来,随着遥感和地理信息技术的迅速发展,利用遥感监测陆地表层变化成为相关领域的研究热点之一^[1-2],也为政策的生态评价提供了更强有力的工具^[3]。在各遥感监测数据中,土地利用与 NDVI 是最常使用的地表植被动态变化监测指标,国内外学者基于这 2 类数据进行了很多生态环境变化分析研究工作^[4-6]。现有的关于土地利用/覆被动态变化的研究^[7-8]大多聚焦于其与气象因子、水资源变化之间的响应关系,充分证明了降水等气象因素对于植被覆盖变化的驱动作用,而针对政策驱动下的生态环境变化的研究较少。因此,本文尝试借助遥感信息,分析流域内植被覆盖及土地利用地类转化的政策推动力,对现有政策的生态效应进行分析。

石羊河流域(101°41′—104°16′E,36°29′—39°27′N)位于我国西北干旱内陆区,是河西走廊人口最为密集、水资源开发强度最大、生态环境最严重、水土资源对社会经济发展制约性最强的地区^[9]。为了遏制石羊河流域生态环境持续恶化的趋势,2007 年开始实施的《石羊河流域重点治理规划》(以下简称《规划》)标志着石羊河流域走上了依法改善生态环境、建设节水型社会的道路^[10]。《规划》治理投资达 47.49 亿元,计划在 2010 年之前投资 31.04 亿元,2011—2020 年投资 16.45 亿元。经过一系列的治理措施,石羊河流域生态环境已经有所改善,下游消亡近 60 年的青土湖尾间湿地在规划实施后重现碧波,预定的生态指标已经基本实现。

本文以石羊河流域为研究区域,利用一元线性回归法在像元尺度上对流域 2000—2018 年 NDVI 进行时空趋势变化分析。以《规划》实施为时间节点划分研究时段,分析生态保护政策对石羊河流域植被覆盖变化的驱动作用,并基于 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2018 年 5 期土地利用数据信息,监测流域内土地利用时空变化及生态系统服务价值变化,为流域决策者制定生态修复、生态保护措施提供参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源及预处理

本文所使用的 NDVI 数据来源于美国宇航局(NASA)免费提供的 MOD13Q1(16 d 最大合成植被指数产品)数据产品(条带号为 h25v05、h26v05,空间分辨率为 250 m×250 m,数据格式为 EOS—HDF)。本文研究时段为 2000—2018 年主要农作物的生长季(4—9 月),因此选取期间共 456 景影像数据进行下载。原始影像通过 MRT(MODIS Reprojection Tools)工具进行批量镶嵌、重投影及格式转换,并在 ArcGIS 软件中利用研究区矢量边界对处理后的数据

进行裁剪。为消除云层、大气与太阳高度角等对 NDVI 数值的干扰影响,利用最大值合成法(maximum value composites, MVC)合成月 NDVI 数据,再利用均值法获得 2000—2018 年逐年年平均 NDVI 影像,以减小极端年份气候异常和季节变化对植被生长状态的影响^[11]。当 NDVI≤0 时,通常认为像元是水体,或者受到了云、冰雪等外界影响,因此将这些异常值统一赋值为 NoData,使其不参与统计计算,从而提高分析结果的可靠性。

土地利用数据选取资源环境数据云平台(www.resdc.cn)所提供的中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC)^[12],该数据集以 Landsat 遥感数据作为主信息源,通过人工目视解译将土地利用分为了耕地、林地、草地、水域、居民地(城镇工矿用地)和未利用地 6 个一级地类和 25 个二级地类,数据分辨率为 1 km×1 km。本文选取研究区 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2018 年的土地利用数据,运用 ArcGIS 软件对 5 期遥感数据进行裁剪、重分类。

1.2 研究方法

1.2.1 植被覆盖趋势分析 每个栅格的 NDVI 变化趋势常通过一元线性回归分析进行模拟。通过各个年份的数据值进行拟合,消除研究时段内偶然异常因素对植被长势的影响,更真实地反映长时间序列植被变化趋势^[13]。 θ_{slope} 表示某个时间段内植被指数年际变化的线性回归方程的斜率,可综合反映该时间段内研究区域内植被的变化情况^[14-15]。其公式为:

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times \text{NDVI}_i - (\sum_{i=1}^n i) (\sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}$$

式中: n 为时间序列长度, NDVI_i 为第 i 年的植被指数。如果 $\theta_{\text{slope}} > 0$,则表示 NDVI 与时间成正相关,该区域植被面积增加,且 θ_{slope} 越大,说明该区域植被覆盖增加越明显;反之,则说明该区域植被覆盖随着时间的变化而恶化。

1.2.2 生态系统服务价值评估 生态服务是指生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然效用,生态系统服务价值是能够直接反映自然资源所具有的直接或间接价值的有效指标。1997 年,Costanza 等^[16]提出了生态系统服务价值的原理与方法,给出不同生态系统的不同服务功能价值。其计算公式为:

$$\begin{aligned} \text{ESV}_i &= \sum_j A_i \times \text{VC}_{ij} \\ \text{ESV}_j &= \sum_i A_i \times \text{VC}_{ij} \\ \text{ESV} &= \sum_i \sum_j A_i \times \text{VC}_{ij} \end{aligned}$$

式中: i 为土地利用类型的种类; j 为生态服务功能的

种类; A_i 为第 i 种土地利用类型的面积; VC_{ij} 表示第 i 种土地利用类型第 j 项生态服务功能的单价; ESV_i 、 ESV_j 、 ESV 分别表示第 i 类土地利用类型的生态系统服务价值、第 j 项中生态服务功能的服务价值和区域整体生态系统服务价值。

谢高地等^[17] 基于 Constanza 等^[16] 的成果,对我国生态学家进行问卷调查,建立了中国陆地生态系统单位面积服务价值当量表。有研究^[18] 证明,基于生态系统服务理论计算开展的生态服务不变价格计算与实际情况基本吻合,该评估方法更加适合中国实际情况。由于不同的生态环境区域生态系统的服务价值有一定差异,因此,采用石羊河流域研究时段内多年平均粮食产量 $3\,676.83\text{ kg/hm}^2$ 为基准单产,粮食价格采用 2011 年甘肃省粮食报价 2.2 元/kg 计算^[19]。将研究区域看作是没有人力投入的自然生态系统,故采用现有单位农田生产服务经济价值的 $1/7$ 来核算自然生态系统单位面积耕地提供的经济价值,得出石羊河流域农田自然粮食产量的经济价值为 $1\,155.58\text{ 元}/(\text{hm}^2\cdot\text{kg})$ 。根据以上数据测算出石羊河流域不同生态系统单位面积生态系统服务价值表(表 1)。

表 1 石羊河流域不同生态系统单位面积生态系统服务价值
单位:元/hm²

类型	林地	草地	耕地	水域	未利用地
气体调节	4044.51	924.46	577.79	0	0
气候调节	3120.05	1040.02	1028.46	531.56	0
水源涵养	3697.84	924.46	693.35	23550.62	34.67
土壤形成与保护	4506.74	2253.37	1687.14	11.56	23.11
废物处理	1513.80	1513.80	1895.14	21008.36	11.56
生物多样性保护	3767.17	1259.58	820.46	2877.38	392.90
食物生产	115.56	346.67	1155.58	115.56	11.56
原材料生产	3004.50	57.78	115.56	11.56	0
娱乐文化	1479.14	46.22	11.56	5015.20	11.56
合计	25249.32	8366.36	7985.02	53121.79	485.34

2 结果与分析

2.1 植被覆盖年际变化分析

通过年 NDVI 均值变化情况来看来反映 2000—2018 年的流域植被覆盖年际变化规律。由图 1 可知,近 19 年来,石羊河流域的植被覆盖总体呈缓慢波动增长态势,年 NDVI 由 2000 年的 0.219 4 上升到 2018 年的 0.250 6,增长速率为 $0.07\%/a$ 。结合年 NDVI 距离平均值(0.236 2)高低的变化情况来看(图 2),全流域植被覆盖情况较为恶劣的年份有 2000 年和 2001 年,其中以 2001 年植被覆盖形势最差,出现了整个研究时段内年 NDVI 最低值(0.210 1,距平为 $-0.026\,1$)。资料^[20] 显示,2000 年、2001 年为特大干旱年,全国大范围降水偏少,我国北方及西部地区出现了长时间的旱灾,其影响范围之广,干旱程度之高

为建国以来之最。

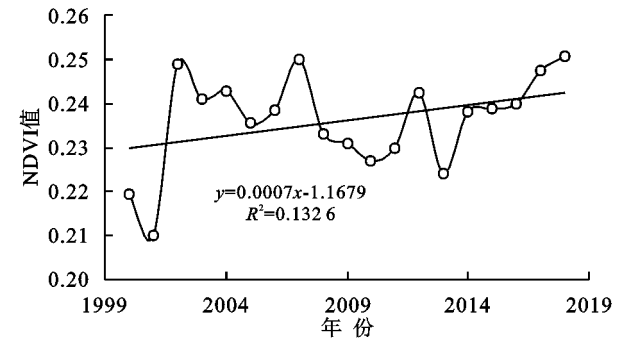


图 1 2000—2018 年石羊河流域 NDVI 年际变化

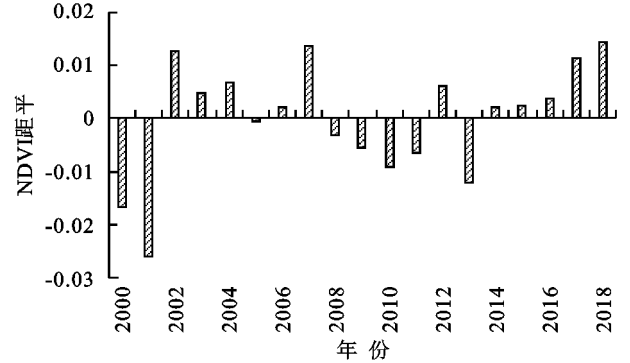


图 2 2000—2018 年石羊河流域 NDVI 距平

2.2 政策驱动下的植被覆盖演变分析

参照前文对于 NDVI 年际变化的分析,剔除 2000 年、2001 年 2 个特大干旱年,基于一元线性回归法计算区域中每个栅格的 θ_{slope} 数值,模拟不同时间段中逐个像元的 NDVI 变化趋势。对石羊河 17 年的 NDVI 变化趋势分析结果进行统计, θ_{slope} 的取值范围为 $-0.038\sim0.040$,说明石羊河流域植被覆盖存在显著的空间异质性。为定量评价研究区域的植被变化状况,采用自然间断点分级法^[21],将研究区域内的 θ_{slope} 划分为严重退化、中度退化、轻度退化、基本不变、轻微改善、中度改善、明显改善 7 个等级。表 2 列出的 2002—2018 年间石羊河流域植被覆盖变化趋势结果表明,流域内植被覆盖情况以稳定不变为主,但是改善趋势明显,明显改善区域集中在流域中上游以及下游民勤绿洲区边缘区。植被退化面积占全区域的 11.95% ,其中,严重退化面积为 161.44 km^2 ,主要集中于武威盆地,多为凉州区城市化扩张所致(图 3)。民勤绿洲区自实施关井压田措施以来,退耕造成的耕地面积减少导致了不同程度上的植被退化。

本文以 2007 年为时间节点,将研究时间序列划分为 2002—2007 年、2008—2018 年 2 个时间段,用来分析《规划》实施前后石羊河流域的植被覆盖变化趋势差异。从《规划》实施前后石羊河流域植被覆盖变化趋势统计表(表 3)、图 4 及图 5 明显可以看出,2002—2007 这 6 年间,石羊河流域植被覆盖出现明显退化趋势,退化区域占全流域的 51.90% ,其中严重

退化区域主要集中在西北沙漠区以及东南部地区。而植被状况改善区域占比 42.60%，说明流域颁布的关井压田、退耕还林等生态环境保护措施使得绿洲区域周围植被覆盖状况转好。石羊河流域生态治理工程实施以来，石羊河流域植被覆盖程度显著提高，流域内植被得到改善的区域面积达 59.09%，16 055.69 km² 土地的植被覆盖情况得到明显提高，远高于其他变化趋势的土地面积，上游山区及中游出山口植被聚落进一步扩大，生态系统稳定性更强。虽然流域中下游西北部地区还是有植被退化情况，但是植被严重退化区域相比于 2002—2007 年间下降 25.72%，西北部地区沙丘移动减缓，荒漠化得到了良好的遏制。

表 2 石羊河流域 2002—2018 年变化趋势结果统计

θ_{slope}	变化程度	2002—2018 年	
		面积/km ²	百分比/%
≤ -0.0015	严重退化	161.44	0.42
$-0.0015 \sim -0.0007$	中度退化	1290.00	3.33
$-0.0007 \sim -0.0002$	轻度退化	3179.56	8.21
$-0.0002 \sim 0.0002$	基本不变	26958.81	69.57
$0.0002 \sim 0.0007$	轻度改善	5708.69	14.73
$0.0007 \sim 0.0015$	中度改善	664.00	1.71
≥ 0.0015	明显改善	130.13	0.34

表 3 《规划》实施前后石羊河流域植被覆盖变化趋势统计

程度	2002—2007 年		2008—2018 年	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
严重退化	14670.00	37.86	4703.75	12.14
中度退化	3179.81	8.21	4263.50	11.00
轻度退化	2258.19	5.83	3724.06	9.61
基本不变	2131.75	5.50	3164.38	8.17
轻度改善	2675.06	6.90	3167.69	8.18
中度改善	3211.50	8.29	3669.31	9.47
明显改善	10622.06	27.41	16055.69	41.44

2.3 土地利用时空演变分析

利用 ArcGIS 对 5 期石羊河流域土地利用数据进行重分类,统计分析得到 2000—2018 年石羊河土地利用类型面积数据(表 4)。石羊河流域内主要生态景观为草地,其次为耕地、林地、水域。在研究时段内,石羊河流域水域和城乡工矿居民用地呈显著上升趋势,分别由 2000 年的 139 km² 和 361 km² 增加到 2018 年的 191 km² 和 575 km²,涨幅分别为 37.4% 和 59.3%,林地和草地的面积呈现微弱减少趋势,减幅分别为 1.1% 和 1.7%。

由于石羊河流域地处西北内陆,区域内耕地主要依赖流域内地表径流进行灌溉,所以耕地主要分布在 7 大河流两侧,且多为平原旱地。在耕地外围,草地过渡带成斑块状分布,且由于其位于荒漠景观与绿洲生态系统的过渡区域,对水资源的丰枯变化极为敏感,生态稳定性极低^[22]。流域上中游山区部分主要

为林地和草地,下游地区除民勤绿洲以外,多为未利用土地(图 6)。

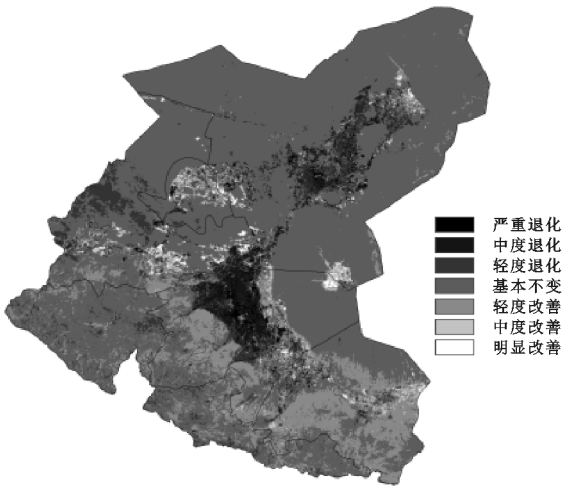


图 3 2002—2018 年流域 NDVI 变化趋势空间分布

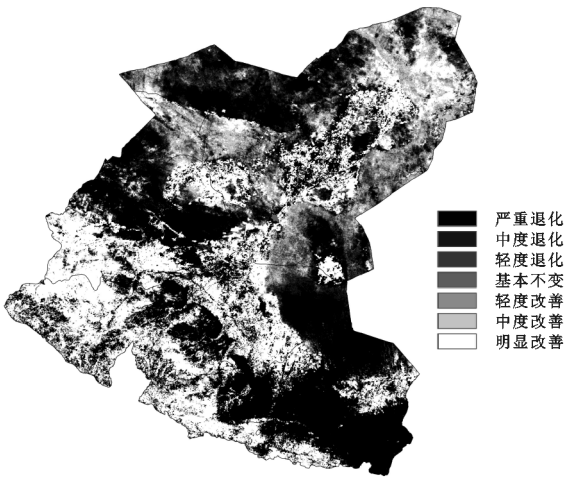


图 4 2002—2007 年流域 NDVI 变化趋势空间分布

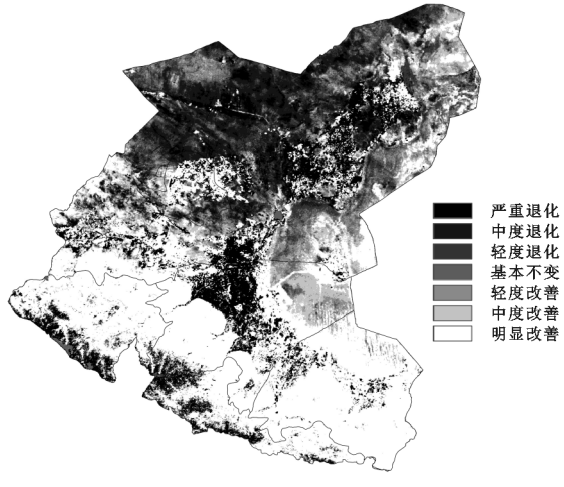


图 5 2008—2018 年流域 NDVI 变化趋势空间分布

土地利用变化矩阵是 Markov 模型在土地利用变化方面的应用。土地利用类型即为 Markov 模型中“系统状态变量”,而所求得的状态转移概率即为土地利用类型之间的相互转换面积。利用 2000 年和 2018 年 2 期土地利用数据,通过 ArcGIS 空间叠加运算来分析研究时段内土地利用类型之间的相互转换,得出 2000—2018 年

间石羊河土地利用变化矩阵(表 5)。

表 4 2000—2018 年石羊河各土地利用类型面积
单位:km²

年份	耕地	林地	草地	水域	城乡工矿居民用地	未利用土地	总计
2000	6852	2661	11121	139	361	19367	40501
2005	7148	2649	11081	141	364	19118	40501
2010	7199	2650	11096	147	369	19040	40501
2015	7239	2647	11048	155	476	18936	40501
2018	7284	2632	10927	191	575	18868	40477

表 5 中横向为初始年份 2000 年的数据,纵向为 2018 年数据,主对角线上表示各土地利用类型不变的面积。从图 7 可以看出,2000—2018 年间,石羊河流域土地利用类型净转入项(面积增加)有城乡工矿

居民用地、水域和耕地。随着城市化进程的加快,武威市和金昌区内城乡工矿居民用地显著增加,主要流入项为耕地和未利用地,分别为 307 km² 和 147 km²;在石羊河流域生态保护政策全面推进下,流域内河滩地与耕地、草地之间的转化使得水域面积增加,青土湖重现碧波。流域内未利用土地面积减少最为明显,转出量由大到小分别为草地(2 329 km²)、耕地(903 km²)、林地(148 km²)、城乡工矿居民用地(147 km²)、水域(45 km²)。在所有土地类型变换中,草地的流转变变化最为明显,这是由于草地生态系统作为耕地和荒漠的过渡区域,系统稳定性较低,生态环境比较脆弱,主要体现在退耕还草、禁牧措施下草地生态系统的恢复导致草地面积增加,以及干旱和沙漠化进程导致的草地面积减少。

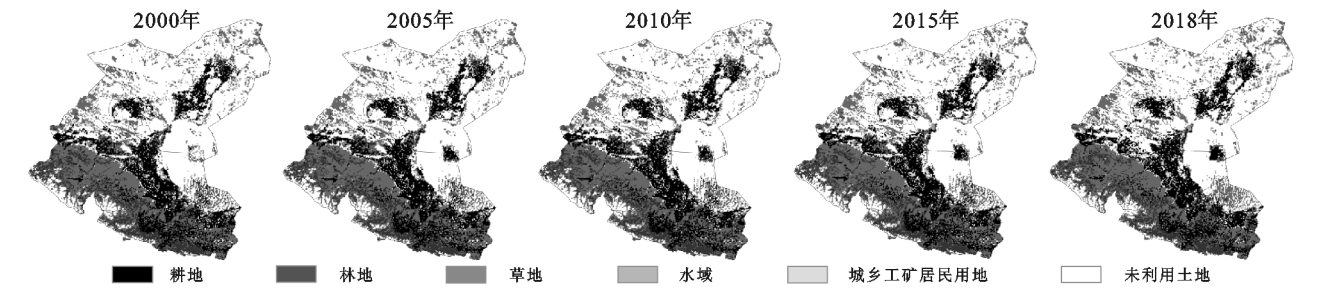


图 6 2000—2018 年流域土地利用情况

表 5 2000—2018 年石羊河流域土地利用变化矩阵

项目	耕地	林地	草地	水域	城乡工矿居民用地	未利用土地	2000 年面积
耕地	4608	136	1141	44	307	615	6851
林地	200	1397	921	29	11	96	2654
草地	1317	925	6462	45	48	2317	11114
水域	28	19	42	25	1	24	139
城乡工矿居民用地	228	6	27	3	61	36	361
未利用土地	903	148	2329	45	147	15756	19328
2018 年面积	7284	2631	10922	191	575	18844	
转出量	2243	1257	4652	114	300	3572	
转入量	2676	1234	4460	166	514	3088	
变化面积	433	− 23	− 192	52	214	− 484	
百分比	6.32	− 0.87	− 1.73	37.41	59.28	− 2.50	

注:表中百分比的单位为%,其他项目的单位为 km²。

综上所述,2000—2018 年石羊河流域内以耕地、草地和未利用土地的变化为重点,流域内水域和城乡工矿居民用地呈现明显增长态势,11 年间林地和草地面积均呈现轻微下降趋势。

2.4 生态系统服务价值变化分析

由表 6 可知,石羊河流域 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2018 年的生态系统服务总价值分别为 232.82,234.56,235.49,235.70,236.89 亿元,呈稳定增加的趋势,年平均增长率为 2.05%。由各地类生态系统服务价值所占比例可知,随着全流域生态系统服务价值的增加,各地类所占比例基本稳定,其中,草地生态系统服务价值占比最大,约占 39%,其次分别林

地、耕地、未利用地和水域。从净增长的角度来说,耕地对全流域生态系统服务价值净增长贡献最大,19 年间其净增长量为 3.81 亿元,足以弥补其他生态系统服务价值的减少;其次是水域生态系统,净增长价值为 2.76 亿元,增长率高达 37.68%。林地和草地的生态系统服务价值分别降低 0.76%和 1.85%。从时间上来看,2015—2018 年是全流域的土地利用转换最为频繁的时间段,期间生态系统服务价值变化率最高。随着《规划》中各项生态保护措施的实施,人们生态意识的提高,流域内生态环境逐渐恢复,石羊河重点治理进入后续调整阶段。为巩固前期治理成效,2015 年甘肃省人民政府印发《甘肃省“6363”水利保

障行动方案》，确保了流域生态系统的有效恢复。

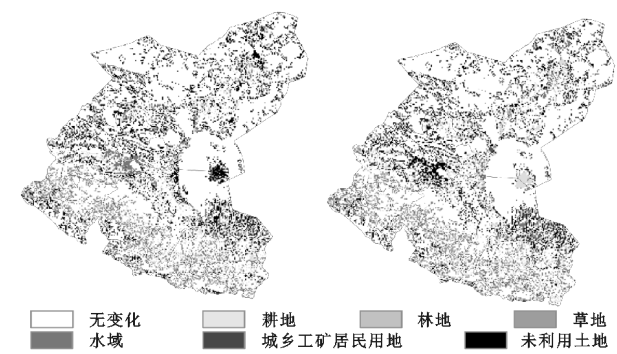


图 7 2000—2018 年流域土地利用转移空间明细

2000—2018 年石羊河流域各行政县市单位面积生态系统服务价值变化见图 8。各县市的单位面积

表 6 石羊河流域 2000—2018 年生态系统服务价值及其变化

年份	价值及变化	耕地	林地	草地	水域	未利用土地	合计
2000	价值/ 10^6 元	5624.65	6675.92	9299.21	733.08	949.23	23282.10
2005	价值/ 10^6 元	5872.99	6643.10	9259.89	743.71	936.71	23456.39
2010	价值/ 10^6 元	5922.49	6648.15	9270.77	775.58	932.34	23549.32
2015	价值/ 10^6 元	5954.43	6640.57	9230.61	818.08	926.57	23570.25
2018	价值/ 10^6 元	6005.54	6625.42	9126.87	1009.31	922.34	23689.48
2000—2005	变化/ 10^6 元	248.33	−32.82	−39.32	10.62	−12.52	174.29
	变化率/%	4.42	−0.49	−0.42	1.45	−1.32	3.63
2005—2010	变化/ 10^6 元	49.51	5.05	10.88	31.87	−4.37	92.94
	变化率/%	0.84	0.08	0.12	4.29	−0.47	4.86
2010—2015	变化/ 10^6 元	31.94	−7.57	−40.16	42.50	−5.78	20.93
	变化率/%	0.54	−0.11	−0.43	5.48	−0.62	4.85
2015—2018	变化/ 10^6 元	51.10	−15.15	−103.74	191.24	−4.22	119.23
	变化率/%	0.86	−0.23	−1.12	23.38	−0.46	22.43
2000—2018	变化/ 10^6 元	380.89	−50.50	−172.35	276.23	−26.89	407.39
	变化率/%	6.77	−0.76	−1.85	37.68	−2.83	39.01

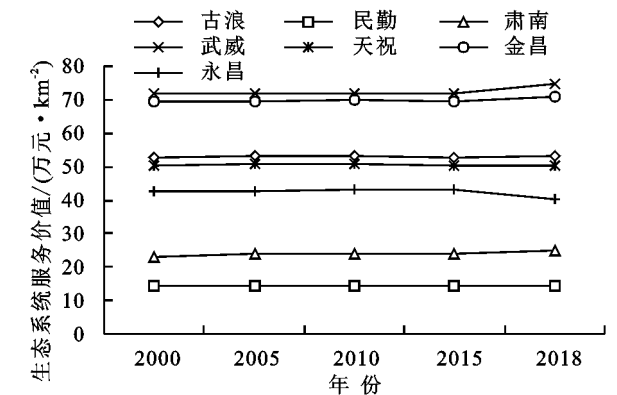


图 8 2000—2018 年石羊河流域各行政县市单位面积生态系统服务价值变化

3 讨论

本文利用 NDVI 和土地利用 2 种遥感数据对石羊河流域地表景观变化情况进行监测并探究其变化趋势。结果表明,2 种遥感数据的模拟结果较为吻合。从空间角度来看,区域耕地、林地的增加,未利用地的减少导致 NDVI 呈现上升趋势,而城镇化地区原有 NDVI 值较高的其他地类被取代,导致 NDVI

生态系统服务价值有所差异,由大到小排序为肃南、天祝、古浪、武威、永昌、民勤、金昌。除永昌县外,其他各县市的单位面积生态系统服务价值基本稳定,有小幅增长。2000—2018 年间,民勤县治理成果显著,在灌区增加的同时,水域面积明显扩大,民勤绿洲持续扩张,区域内单位面积生态系统服务价值年增长率达 0.43%。位于流域上游的肃南县和天祝县内未利用土地减少,林地和耕地明显增加,单位生态系统服务价值也呈现增长态势。而永昌县的单位面积生态系统服务价值减少主要是生态系统服务价值高的水域转换为了生态系统服务价值低的城乡工矿居民用地和未利用土地所致。

值降低。相比于以往单纯利用 NDVI 或土地利用类型进行土地利用/覆被变化的研究来说,2 种数据的计算结果相互佐证,使分析结果具有更高可信度。此外,利用生态系统服务价值理论进一步量化检验了石羊河生态环境质量的改善情况。采用多时段对比分析,在分析生态保护治理政策取得的成效的同时,更加直观且科学地体现出生态保护治理政策对于生态环境改善的驱动作用。

通过 3 个生态效应指标的评估可以发现,《规划》出台至今,取得了较好的生态效益,但是还有部分区域的生态环境有待进一步改善,比如具有很大生态改善潜力的武威盆地及北部沙漠区。武威盆地以地下水为主要供水源,但是由于工农业的快速发展,地下水污染严重^[23],直接影响到区域的生态环境质量,所以如何控制武威盆地的水污染,实现水质恢复,完善防治污染考核监督机制,是地方政府需要考虑的主要问题。石羊河位于巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠中央,流域的生存与发展受到荒漠化严重威胁,如何有效遏制荒漠化是石羊河流域治理一直面临的难题^[24]。面对

这一问题,管理者应在坚持退耕还林的同时修复退化植被,扩大绿洲生态屏障过渡带,落实防沙治沙工作。

4 结 论

(1)2000—2018 年间,石羊河流域植被覆盖趋势总体向好,呈波动增长态势。政策实施前,由于生态保护意识薄弱和原有的土地利用缺乏科学性,流域范围内植被退化现象严重。2007 年出台的《石羊河流域重点治理规划》使得石羊河流域生态保护进入新的阶段。2008—2018 年间,流域内植被覆盖明显改善,改善最为明显的地区集中在流域中上游以及下游民勤绿洲边缘,西北部的荒漠化速度明显减缓。

(2)石羊河流域土地利用结构以未利用土地为主,其次是草地、耕地、林地、城乡工矿居民用地和水域,还有很大的治理空间。2000—2018 年间,研究区内耕地、草地及未利用土地之间的相互转换剧烈,水域和城乡工矿居民用地显著增长,耕地面积扩大,而林地、草地呈略下降趋势。

(3)流域生态系统服务价值在研究时段内稳定上升,生态系统服务价值较高的耕地和水域面积扩大是流域总生态系统服务价值上升的主要因素。由于上游林地耕地增加,下游民勤绿洲进一步扩张,水面增加,生态系统更加稳定,肃南和天祝以及民勤的生态系统服务价值都有显著增加。

流域内生态用水的短缺其实是导致生态环境恶化的根本原因,水资源和气象因素对于石羊河生态效应变化具有十分重要的影响。面对不可控的气象因素,政策应该作为流域生态保护的有效抓手,加快水权改革,完善流域生态补偿机制,科学优化配水与石羊河土地利用结构,平衡石羊河社会经济发展与水资源之间的关系,使得石羊河流域绿洲面积保持在一个适宜的范围内,协调生态用水、生产用水之间的冲突,推进生态文明建设,实现流域的可持续发展。

参考文献:

[1] 刁维杰,赵勇,翟家齐,等.1987—2017 年民勤绿洲面积时空演变规律及驱动因素解析[J].灌溉排水学报,2019,38(10):106-113.

[2] 石培基,王祖静,刘春芳.石羊河流域土地覆被空间演化及驱动机制[J].生态学报,2014,34(15):4361-4371.

[3] Cao F F, Li J X, Fu X, et al. Impacts of land conversion and management measures on net primary productivity in semi-arid grassland[J].Ecosystem Health and Sustainability,2020,6(1):1749010.

[4] 苏芳,尚海洋,张志强.1980—2010 年石羊河流域生态服务类型变化与分析[J].冰川冻土,2017,39(4):917-925.

[5] 封建民,郭玲霞,李晓华.汉中市土地利用时空变化及其对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2020,

27(1):275-282.

[6] Tang Z G, Ma J H, Peng H H, et al. Spatiotemporal changes of vegetation and their responses to temperature and precipitation in upper Shiyang river basin[J].Advances in Space Research,2017,60(5):969-979.

[7] 张立峰.西北生态环境脆弱区典型内陆河流域植被覆盖变化及其影响因素研究[D].兰州:兰州交通大学,2017.

[8] Yang X M, Liu S Z, Yang T B, et al. Spatial-temporal dynamics of desert vegetation and its responses to climatic variations over the last three decades: A case study of Hexi region in Northwest China[J]. Journal of Arid Land,2016,8(4):556-568.

[9] 任立清,冉有华,任立新,等.2001—2018 年石羊河流域植被变化及其对流域管理的启示[J].冰川冻土,2019,41(5):1244-1253.

[10] 贾玉婷.甘肃石羊河流域水资源治理政策研究[D].兰州:兰州大学,2016.

[11] 袁丽华,蒋卫国,申文明,等.2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化[J].生态学报,2013,33(24):7798-7806.

[12] 徐新良,刘纪远,张树文,等.中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC)[EB/OL].[2020-03-16].<http://www.resde.cn/DOI/DOI.aspx?DOIid=54>.

[13] 刘启兴,董国涛,景海涛,等.2000—2016 年黄河源区植被 NDVI 变化趋势及影响因素[J].水土保持研究,2019,26(3):86-92.

[14] 张更喜,栗晓玲,马心依.黑河中游植被覆盖率变化趋势及其驱动因子分析[J].干旱地区农业研究,2018,36(3):251-257.

[15] 蓝欣,郑娇玉,江帆,等.石羊河流域下游植被覆盖变化与地下水和气候的响应分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2015,51(6):865-870.

[16] Costanza R, d'Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J].Nature,1997,387:253-260.

[17] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.

[18] Huang X, Ma J X. Changes in the ecosystem service values of typical river basins in arid regions of North-west China[J].Ecohydrology,2013,6(6):1048-1056.

[19] 魏伟,雷莉,石培基,等.石羊河流域经济发展与生态环境协调度评价[J].环境科学学报,2014,34(8):2140-2147.

[20] 李强,张翀.基于 NDVI 时间序列的近 12 年中国植被覆盖的单调趋势分析[J].水土保持通报,2014,34(3):135-140.

[21] 杨艳丽.海河流域植被动态变化及其与气候、人类活动的关系研究[D].天津:天津师范大学,2017.

[22] 郝丽娜.面向生态的绿洲适度农业规模及布局优化研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2019.

[23] 张玲.武威市凉州区地下水污染现状评价探析[J].地下水,2017,39(4):90-92.

[24] 任亚萍.武威荒漠化治理的实践及启示[J].甘肃农业,2019(6):64-66.