

雄安新区生态支撑区水土保持功能时空格局及人为驱动因素分析

吕田田¹, 陈艳梅¹, 宋婷², 丁疆辉¹, 张扬¹, 刘铭华¹

(1.河北师范大学 资源与环境科学学院, 河北省环境变化遥感识别技术创新中心, 河北省环境演变与生态建设实验室, 石家庄 050024; 2.中国环境科学研究院, 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012)

摘要:水土保持功能是生态系统重要功能之一,关系着区域生态安全和水环境质量。利用通用水土流失方程(RUSLE)对雄安新区生态支撑区 2000—2018 年水土保持功能进行评测,分析了该区水土保持功能时空格局与主要人为驱动因素。结果表明:(1) 研究区水土保持功能多年均值呈西高东低的空间分布格局。西部太行山区多年均值为 191.10 t/(hm²·a),中部丘陵为 119.25 t/(hm²·a),东部平原为 30.25 t/(hm²·a)。(2) 2000—2018 年,研究区水土保持量年均值整体呈显著增加趋势,年际间变化较大,介于 39.78~135.62 t/(hm²·a);像元尺度上,水土保持功能呈增强趋势区域占比为 63.89%,通过显著性检验的为 28.75%;呈退化趋势区域占比为 36.11%,通过显著性检验的为 8.2%。(3) 水土保持功能变化的人为驱动因素主要包括生态建设活动、农业生产活动和建设用地扩张以及采矿业扰动生态系统稳定性等。该研究为雄安新区生态支撑区的生态保护和修复工作提供科学依据。

关键词:雄安新区生态支撑区;水土保持功能;时空格局;人为驱动因素

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)01-0319-07

Spatiotemporal Pattern of Soil and Water Conservation Functions and Human Driving Forces in the Ecological Supporting Area of Xiong'an

LYU Tiantian¹, CHEN Yanmei¹, SONG Ting², DING Jianghui¹, ZHANG Yang¹, LIU Minghua¹

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Hebei Technology Innovation Center for Remote Sensing Identification of Environmental, Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Shijiazhuang 050024, China; 2.State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Eco-Process and Function Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Soil and water conservation is one of the important functions of the ecosystem, which is related to the regional ecological security and water environment quality. Based on the Universal Soil Loss Equation (RUSLE), the soil and water conservation function of the ecological supporting area in Xiong'an from 2000 to 2018 was evaluated, then the function pattern and its human driving forces were analyzed. The results show that: (1) the soil and water conservation function presented a spatial pattern with the high level in the west and low level in the east, with a multi-year average value of 191.10 t/(hm²·a) in the Taihang Mountains, 119.25 t/(hm²·a) in the central hills, and 30.25 t/(hm²·a) in the eastern plain; (2) from 2000 to 2018, the function of soil and water conservation showed an increasing trend in the study area, and varied from 39.78 t/(hm²·a) to 135.62 t/(hm²·a); on the pixel scale, the area with the enhanced soil and water conservation function accounted for 63.89% of the study area, of which 28.75% passed the significance test; while the area with a degraded tendency accounted for 36.11%, of which 8.2% passed the significant test; (3) based on the analysis of typical soil and water conservation function areas in the Xiong'an New District, it was found that the human driving forces of the variety function of soil and water conservation mainly included the ecological construction, agricultural production, construction land expansion, and mining indus-

收稿日期:2020-12-30

修回日期:2021-01-22

资助项目:国家重点研发计划“雄安新区生态安全格局构建与优化”(2018YFC0506905)

第一作者:吕田田(1992—),女,河北保定人,硕士研究生,主要研究方向为区域生态学。E-mail:2530983897@qq.com

通信作者:陈艳梅(1970—),女,河北邢台人,教授,博士,主要从事区域生态系统评估、生态安全与生态补偿机制研究。E-mail:330896729@qq.com

try disturbing ecosystem stability. This study can offer the scientific basis for determining ecological protection and restoration priorities and improving the ecological environment quality in the ecological supporting area of the Xiong'an New District.

Keywords: ecological supporting area of Xiong'an; soil and water conservation function; spatiotemporal pattern; human driving forces

2017 年 4 月 1 日,中共中央、国务院决定在河北省雄县、容城、安新三县及周边部分区域设立雄安新区,用以转移北京的非首都职能^[1-2],雄安新区所在区域生态环境保护与修复工作引起各界重视。雄安新区生态支撑区为大清河流域,是全国水土流失严重区域之一^[3],研究该区域水土保持功能时空格局对于有针对性进行区域生态保护、修复以及生态建设工作具有重要意义。

水土保持功能是生态系统通过其结构与过程相互作用所具有的减少土壤水蚀作用的能力,即单位面积潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量的差值,受到自然地理要素及人类生态建设活动、农业生产活动、采矿业扰动等多种因子影响,是生态系统提供的重要功能之一^[4-5]。学者们一直进行着水土保持算法的研究,并取得了丰硕的成果,其中,使用最成熟的就是通用水土流失模型(USLE)^[6-7]。1965 年在美国农业部正式开始使用该模型^[8];1978 年 W.H. Wischmeier 和 D.Smith 针对原有模型在实际应用中存在的问题进行了修正,形成 RUSLE 模型^[9];2009 年 Terranova 等^[10]采用 RUSLE 模型定量分析了意大利南部 Calabria 地区的水土流失情况,为当地政府及规划部门治理水土流失提供了科学的参考和依据;Park 等^[11]采用 RUSLE 模型从流域视角对韩国 1985—2005 年的土壤侵蚀状况进行评估,发现其年均土壤侵蚀模数逐渐增加。Khalid chadli 等^[12]通过优化 RUSLE 模型,对摩洛哥塞布流域的土壤侵蚀量进行评估,其结果在该区域土地规划方面发挥了重要作用。国外学者经过多年的研究与改进,该模型已经成为评估精度较高、实用性较强的水土保持功能定量研究模型之一。在国内,学者们也不断对该模型进行修正和改进,王万中、毕小刚、宁婷等^[13-15]对降水侵蚀因子进行了修正和改进;高江波等^[16]利用该模型评价了京津冀农业生态系统的水土保持功能及价值,王娇等^[17]利用此模型并添加沟壑密度因子对河北太行山区水土流失进行评价,揭示了不同地理背景下的水土流失敏感区的空间分布特征。以上研究不断完善 RUSLE 模型中各因子取值与算法,使该方法在国内应用越来越广泛。

该研究在 ArcGIS 10.4 软件中采用 RUSLE 模

型,对雄安新区生态支撑区 2000—2018 年水土保持功能时空格局进行评价与分析,研究结果为确定雄安新区生态支撑区生态保护、建设与修复重点提供科学依据。

1 研究区概况

本研究确定的雄安新区生态支撑区为新区所在大清河流域全域,见图 1,对雄安新区生态环境具有重要影响。该流域地处 113°39′—117°47′E,38°01′—40°03′N,面积约 4.74 万 km²。全区包括太行山区及大清河冲积平原,地形以山地、丘陵和平原为主,地势西部高,东部低。气候属于暖温带半湿润大陆季风性气候,年降水量在 400~650 mm,降水集中于夏季。区域地带性植被为温带落叶阔叶林,太行山区植被覆盖度高,平原地区以农田、绿地等人工植被为主。土壤主要为褐土、潮土、粗骨土、栗褐土和棕壤等。2018 年底,研究区内常住人口约 2 944.05 万人。

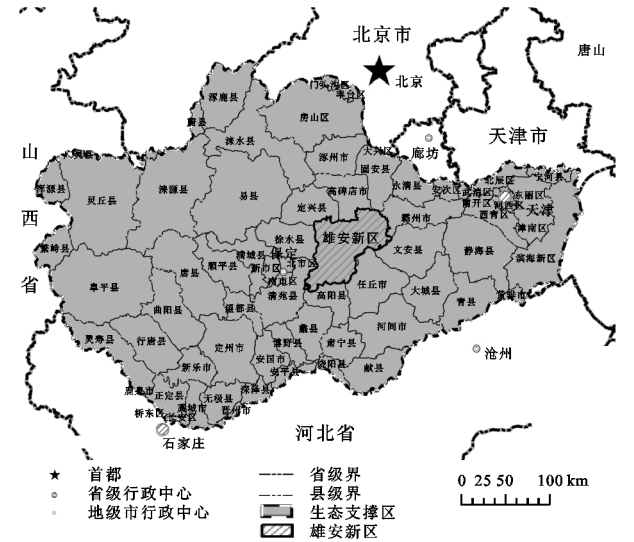


图 1 雄安新区生态支撑区位置与范围

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

本研究使用的数据包括气象数据、土壤类型数据、遥感数据、DEM 数据以及土地利用类型数据等。其中,气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)的中国地面气候标准值数据集,主要收集 2000—2018 年北京市、天津市、河北省和山西省气象

站点数据,包括年降水量、月降水量等,并利用 ArcGIS 10.4 进行反距离权重插值分析。土壤类型数据,来源于世界土壤数据库(HWDS),该数据库由联合国粮农组织(FAO)和维也纳国际应用系统研究所(IIASA)构建。遥感 NDVI 数据来源于 MODIS 网站,通过 ENVI 4.7 软件进行校正和格式转化,在 ArcGIS 10.4 中进行合成、裁切和重采样,并通过栅格统计得到。DEM 高程数据为 SRTM 地形数据,空间分辨率为 90 m,来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站。土地利用类型数据为 ArcInfo coverage 格式,比例尺为 1:10 万,来源于中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊一流域数据集成与模拟中心。

2.2 研究方法

2.2.1 评估方法 修正通用水土流失模型(RUSLE)考虑了降水、土壤的可蚀性、地表植被覆盖情况、地形坡度坡长和水土保持措施五大因子^[18-19]。其表达式为:

$$A_p = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

$$A_r = R \times K \times LS \quad (2)$$

$$A = A_p - A_r \quad (3)$$

式中: A_p 为潜在土壤侵蚀量; A_r 为现实土壤侵蚀量; A 为水土保持量; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可侵蚀因子; LS 为地形因子; C 为植被覆盖因子; P 为水土保持措施因子。

降雨侵蚀力因子 R ,参考王万中等人关于 R 值的计算^[13],并结合京津冀晋的实际情况对参数进行调整,得到各气象站点的 R 值,并通过 ArcGIS 10.4 掩膜提取雄安新区生态支撑区的 R 值。该 R 值能够反映降水量与降水集中程度^[20]。土壤可侵蚀因子 K ,采用威斯奇迈尔等人 EPIC 模型的 K 值估算方法^[21-22]。地形因子 LS ,利用黄炎和^[23]建立的 LS 计算方程,并结合京津冀晋数字高程模型(DEM),通过 ArcGIS 10.4 掩膜提取得到。植被覆盖因子 C ,利用马超飞等^[24]人关于植被覆盖因子的计算公式,并结合京津冀晋植被覆盖度提取得到。水土保持措施因子 P ,根据研究区土地利用实际情况,参考张宪奎等人^[25]的研究进行赋值:林地赋值 1,草地赋值 1,农田赋值 0.4,水面和建设用地赋值 0,未利用地赋值 1。

2.2.2 时空格局分析方法 本研究使用时间序列数据变化趋势分析方法^[26],来研究雄安新区生态支撑区每个像元水土保持量随时间的变化趋势。采用相关系数的统计检验方法对每个像元水土保持变化趋势的相关系数进行显著性检验,得到相关系数 R ,对比相关系数显著性检验表,得到与皮尔森相关系数 0.01,0.05 相对应的 R 值^[27],并利用 ArcGIS 10.4 进

行分级和重分类处理,得到研究区水土保持功能显著性检验结果。

3 结果与分析

3.1 水土保持功能空间格局分析

水土保持量多年均值大于 240 t/(hm²·a)的区域分布在研究区西部和北部山区,呈零星状分布,具体包括房山区、阜平县、涞水县西部,灵寿县西北部,易县西北部和南部;水土保持量多年均值在 120~240 t/(hm²·a)的分布区域呈东北—西南走向、面状分布在最高值区的周围;60~120 t/(hm²·a)的区域呈面状分布在研究区太行山及山前丘陵,具体包括房山区、阜平县、灵寿县东部,曲阳县、行唐县、灵丘县全域;低于 60 t/(hm²·a)的区域分布在研究区东部平原,见图 2。

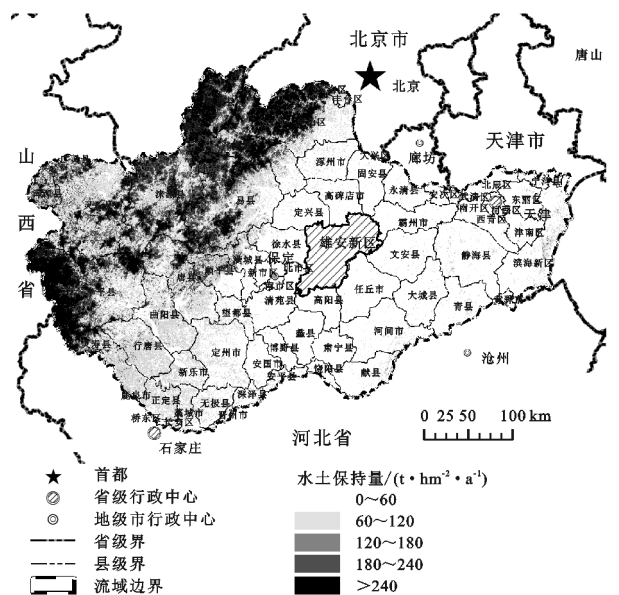


图 2 2000—2018 年雄安新区生态支撑区水土保持功能均值空间分布

3.2 水土保持功能时空格局变化

3.2.1 水土保持量年均值变化 2000—2018 年,雄安新区生态支撑区水土保持量年均值呈显著增加趋势,见图 3。研究区 2000—2018 年水土保持量各年均值变化较大,介于 39.78~135.62 t/(hm²·a),总体趋势显著增强。其中,2018 年水土保持量均值最大,约为 135.62 t/(hm²·a);2001 年水土保持量均值最小,约为 39.78 t/(hm²·a),这与当年降水量大小有直接关系。

3.2.2 像元尺度水土保持功能时空格局动态变化 像元尺度上,2000—2018 年水土保持功能呈增强趋势的面积比例较大,见表 1。19 a 间研究区水土保持功能呈增强趋势的区域占研究区的 63.89%,其中通过显著性检验的占研究区 28.75%,未能通过显著性

检验的占研究区 35.14%；呈退化趋势的区域占研究区 36.11%，其中通过显著性检验的占研究区 8.2%，未能通过显著性检验的占研究区 27.91%。

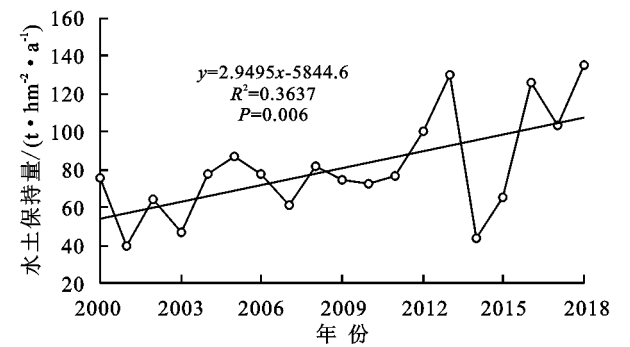


图 3 水土保持量各年均值变化

研究区水土保持功能通过 0.01, 0.05 显著性检验的增强区面积分别为 8 656.58 km², 4 971.00 km², 主要分布在研究区太行山北部, 涉及房山区、涞水县、易县、涞源县、灵丘县、阜平县、顺平县、满城区等区县。其中, 通过 0.01 显著性检验的增强区占辖区面积较大的是房山区、涞水县、涞源县、易县等; 通过

0.05 显著性检验的增强区占辖区面积比例较大的是阜平县、易县等, 详见表 2。

表 1 2000—2018 年水土保持功能变化显著性检验

变化趋势	统计		显著性检验水平	统计	
	面积/	占辖区面积		面积/	占辖区面积
	km ²	比例/%		km ²	比例/%
增强	17117.05	63.89	通过 0.01 显著性检验	8656.58	18.26
			通过 0.05 显著性检验	4971.00	10.49
			未通过显著性检验	16656.35	35.14
			未通过显著性检验	13229.33	27.91
退化	30282.95	36.11	通过 0.05 显著性检验	1738.15	3.67
			通过 0.01 显著性检验	2148.59	4.53

统计分析发现, 房山区显著性检验增强区面积为 1 490.21 km², 占房山区 75.45%; 显著性检验退化区面积为 25.52 km², 占房山区 1.29%; 未能通过显著性检验的面积为 459.25 km², 占房山区 23.26%。房山区是研究区内显著性检验增强区占比最大的区县, 是研究区内水土保持功能增强典型区。

表 2 重点生态功能区水土保持功能增强情况

行政区	通过显著性检验水平				合计	
	$p=0.05$		$p=0.01$			
	面积/km ²	占辖区面积比例/%	面积/km ²	占辖区面积比例/%	面积/km ²	占辖区面积比例/%
房山区	200.61	10.16	1289.59	65.30	1490.21	75.45
涞水县	217.98	13.21	889.67	53.90	1107.66	67.11
易县	445.93	17.50	1014.47	39.80	1460.40	57.30
涞源县	353.58	14.51	1004.59	41.23	1358.17	55.75
灵丘县	357.80	13.75	933.20	35.86	1291.00	49.61
阜平县	563.91	22.62	560.73	22.49	1124.64	45.11
顺平县	112.89	15.88	142.97	20.11	255.86	35.98
满城区	94.27	14.48	111.23	17.08	205.50	31.56
唐县	212.35	15.03	213.08	15.08	425.43	30.11
曲阳县	108.78	10.15	111.02	10.36	219.80	20.51
灵寿县	123.89	12.82	61.86	6.40	185.74	19.22
行唐县	88.96	9.23	70.71	7.34	159.67	16.57

研究区水土保持功能通过 0.01, 0.05 显著性检验的退化区域面积分别为 2 148.59 km², 1 738.15 km², 主要分布在研究区内太行山区西南部及东部平原, 因平原区水土保持功能不突出, 不作为重点分析区域, 主要分析太行山区水土保持功能变化。在太行山区, 显著性检验退化区占辖区面积比例较大的是行唐县、曲阳县、灵丘县、唐县、灵寿县、阜平县、涞源县等, 其中通过 0.01 显著性检验的退化区占辖区面积比例较大的是行唐县、曲阳县、灵丘县等, 通过 0.05 显著性检验的退化区占辖区面积比例较大的是曲阳县、行唐县等(表 3)。

统计分析发现, 行唐县显著性检验退化区面积为

99.69 km², 占行唐县 10.35%; 显著性检验增强区面积为 159.67 km², 占行唐县 16.57%; 未能通过显著性检验的面积为 704.20 km², 占行唐县 73.08%。曲阳县显著性检验退化区面积为 110.48 km², 占曲阳县 10.31%; 显著性检验增强区面积为 219.80 km², 占曲阳县 20.51%; 未能通过显著性检验的面积为 633.28 km², 占曲阳县 65.72%。按照显著性检验退化区面积占比, 行唐、曲阳是太行山区诸县中的第一、二名, 是研究区内水土保持功能退化典型区。

3.3 水土保持功能时空格局变化人为驱动因素分析
水土保持功能是生态系统重要功能之一, 其功能强

弱受到自然和人类活动等诸多因素共同影响。降水、土壤等自然因素对水土保持功能影响巨大,但人类在短时间内难以改变,本研究选择人为驱动因素进行分析。根

据雄安新区生态支撑区水土保持功能时空格局研究结果及实际调研,发现人为驱动因素主要有生态建设活动,农业生产与建设用地扩张,采矿业发展等。

表 3 重点生态功能区水土保持功能退化情况

行政区	通过显著性检验水平				合计	
	$p=0.05$		$p=0.01$		面积/km ²	占辖区面积比例/%
	面积/km ²	占辖区面积比例/%	面积/km ²	占辖区面积比例/%		
行唐县	33.70	3.50	66.00	6.85	99.69	10.35
曲阳县	39.67	3.70	70.81	6.61	110.48	10.31
灵丘县	78.68	3.02	129.02	4.96	207.70	7.98
唐县	37.59	2.66	41.01	2.90	78.60	5.56
灵寿县	20.74	2.15	28.23	2.92	48.97	5.07
阜平县	47.63	1.91	70.98	2.85	118.61	4.76
涞源县	32.29	1.33	35.19	1.44	67.47	2.77
顺平县	11.05	1.55	4.64	0.65	15.69	2.21
房山区	21.93	1.11	19.00	0.96	40.93	2.07
易县	30.13	1.18	19.55	0.77	49.67	1.95
涞水县	16.21	0.98	15.34	0.93	31.55	1.91
满城县	8.28	1.27	3.55	0.54	11.82	1.82

3.3.1 生态建设活动提高植被覆盖度,增强水土保持功能 利用土地利用转移矩阵法,分析 2000—2018 年水土保持功能典型增强区(房山区)土地利用类型构成与变化特征,详见表 4。19 a 间由耕地向林地、草地等生态用地转化面积为 65.89 km²,说明该区域退耕还林还草等措施增加生态空间的占比,增强

了区域水土保持功能。另外,该区对已有的生态空间进行了生态修复,据北京市水土保持公报^[28]显示,2000—2018 年房山区累计完成水土保持生态修复面积达 320.65 km²,生态建设与生态修复利于地表植被自然恢复,植被覆盖度明显提高,增强区域生态空间的水土保持功能。

表 4 2000—2018 年水土保持功能典型增强区(房山区)土地利用转移矩阵

土地利用类型	草地		林地		建设用地		采矿用地		耕地		裸地		水域		合计	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
草地	35.11	2.36	59.72	4.01	1.36	0.09	0.00	0.00	1.06	0.07	0.02	0.00	0.06	0.00	97.33	6.53
林地	5.55	0.37	874.85	58.71	9.53	0.64	2.93	0.20	11.91	0.80	0.02	0.00	0.80	0.05	905.59	60.77
建设用地	0.84	0.06	3.09	0.21	167.18	11.22	1.36	0.09	3.63	0.24	0.17	0.01	0.62	0.04	176.89	11.87
采矿用地	0.38	0.03	2.93	0.20	0.31	0.02	17.41	1.17	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.09	1.41
耕地	24.76	1.66	41.13	2.76	55.74	3.74	0.68	0.05	144.58	9.70	0.85	0.06	1.74	0.12	269.48	18.08
裸地	0.04	0.00	0.11	0.01	0.98	0.07	0.31	0.02	3.07	0.21	3.75	0.25	0.00	0.00	8.26	0.55
水域	3.66	0.25	0.43	0.03	0.60	0.04	0.00	0.00	1.22	0.08	0.05	0.00	5.60	0.38	11.56	0.78
合计	70.33	4.72	982.27	65.92	235.70	15.82	22.70	1.52	165.50	11.11	4.87	0.33	8.83	0.59	1490.21	100.00

注:该处增强区为通过显著性检验的增强区域。

3.3.2 农业生产活动和建设用地扩张,降低水土保持功能 利用土地利用转移矩阵法,分析 2000—2018 年水土保持功能典型退化区(行唐和曲阳两县)土地利用类型构成与变化特征,详见表 5。由于两县耕地占土地总面积比例较大,耕地水土保持功能退化面积也较多,为 168.20 km²,占两县水土保持功能退化区面积的 45.05%。耕地水土保持功能退化主要原因是该典型区位于低山丘陵和山前平原区,长期以来该区域农业生产活动不规范,甚至出现很多撂荒和人为破坏现象,水土保持功能有所降低。另外,水土保持功能退化与建设

用地面积增加有关。截至 2018 年,建设用地面积为 15.56 km²,自 2000 年来各类用地向建设用地转化面积为 4.96 km²,分析发现显著性退化区多分布于建设用地以及向建设用地转化的区域周围,建设活动使地表受到人类扰动,导致其水土保持能力下降。

3.3.3 采矿业扰动生态系统稳定性,降低区域水土保持能力 采矿用地上的生产建设活动,包括开挖土石方、采掘矿石、修建工程设施、堆置矿渣等,若缺乏植被保护,极易造成水土保持功能退化。2000 年研究区采矿用地面积为 56.10 km²,2018 年为 84.63 km²,19 a 间采矿

用地面积增加 51.86%。采矿活动扰动生态系统稳定性,降低区域生态空间的水土保持功能。研究发现,有采矿用地的县级行政区内,水土保持功能退化区占辖区面积比例与新增采矿用地面积呈显著正相关关系($R=0.463$,p<0.05),新增采矿用地面积越多,退化区占辖区面积比例越大(图 4),如曲阳县采矿用地增加面积最多,面积为 4.26 km²,该县水土保持功能退化面积占辖区面积比例也较大,为 10.31%。

表 5 2000—2018 年水土保持功能典型退化区(行唐和曲阳两县)土地利用转移矩阵

土地利用类型	草地		林地		建设用地		采矿用地		耕地		裸地		水域		合计	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
草地	44.68	21.24	1.37	0.65	0.21	0.10	0.11	0.05	0.58	0.27	2.28	1.08	0.27	0.13	49.50	23.53
林地	1.45	0.69	53.03	25.21	0.18	0.08	0.21	0.10	1.12	0.53	0.64	0.30	0.05	0.03	56.67	26.94
建设用地	0.12	0.06	0.08	0.04	10.60	5.04	0.01	0.00	0.60	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	11.41	5.42
采矿用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.07
耕地	1.86	0.88	1.16	0.55	4.57	2.17	0.04	0.02	79.90	37.98	1.76	0.84	0.27	0.13	89.55	42.57
裸地	0.10	0.05	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.16	0.08	0.00	0.00	0.32	0.15
水域	0.11	0.05	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.05	0.10	0.05	2.45	1.16	2.79	1.33
合计	48.31	22.97	55.71	26.48	15.56	7.40	0.50	0.24	82.31	39.13	4.94	2.35	3.05	1.45	210.37	100.00

注:该处退化区为通过显著性检验的退化区域。

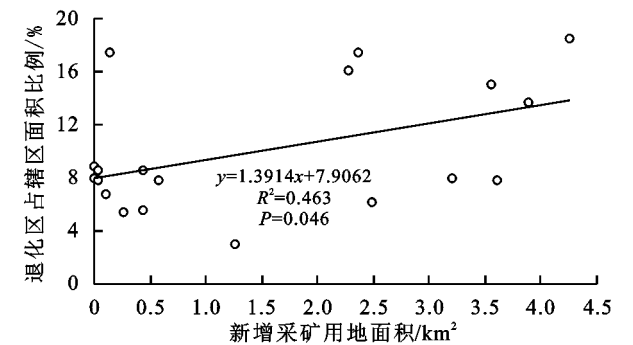


图 4 水土保持功能退化区占辖区面积比例与辖区新增采矿用地面积相关关系

4 讨论

本研究对雄安新区生态支撑区 2000—2018 年水土保持功能进行评测,发现该区水土保持功能整体呈增强趋势。其他学者多是针对京津冀开展研究,如李素晓^[29]和潘梅等^[30]也有较为一致的研究结果,本研究主要针对大清河流域开展研究,研究不仅发现区域水土保持功能整体增强,且水土保持功能时空变化异质性明显,研究区太行山区北部水土保持功能明显增强,研究区西南部太行山区部分区域和东部平原区呈现退化趋势。同时,有学者针对太行山水土保持功能退化的人为驱动因素进行研究,提出人口增长、森林遭到破坏、过度放牧以及生产建设活动不合理^[31]是水土保持功能退化的原因,但大部分研究成果主要对水土保持功能退化因素进行定性分析。本研究通过调研并结合实际,采用转移矩阵法、相关分析法,针对水土保持功能变化典型区的人为驱动因素进行定量分析,证明生态建设活动是区域水土保持功能增强的主要原因,而农业生产活动和建设用地扩张及采矿业

扰动会导致研究区内水土保持功能退化。研究成果能够直接服务于雄安新区生态安全格局构建,有利于提升新区人居环境适宜性。

基于水土保持功能时空格局变化和人为驱动因素分析结果,本研究提出以下三点建议:一是将显著性检验增强区作为重点生态保护区,坚持保护优先,自然恢复为主,人工措施为辅的方针进行保护,对现有森林、草地、未利用土地等进行维护、管理,适当控制人类活动,维持生态系统稳定性。二是将显著性检验退化区作为重点生态修复区,以人工方式为主对该区域进行重点修复,加强农田水土保育,规范农业生产活动,对坡耕地进行退耕还林还草,增加林草地面积;严格控制建设用地无序扩张,禁止生产生活用地挤占生态用地。三是严格管控生态支撑区的采矿用地,从规划到闭矿全过程进行矿区生态建设和生态修复,提高矿区植被覆盖度,提升该区域水土保持功能。

5 结论

(1) 研究区多年平均水土保持量呈西高东低分布格局。西部太行山区多年均值为 191.10 t/(hm²·a),中部丘陵为 119.25 t/(hm²·a),东部平原为 30.25 t/(hm²·a)。

(2) 2000—2018 年,研究区水土保持功能整体有所增强。研究区水土保持年均值呈显著增加趋势,介于 39.78~135.62 t/(hm²·a);像元尺度上,水土保持功能呈增强趋势的区域占研究区的 63.89%,其中通过显著性检验的有 28.75%,面积为 13 627.58 km²,主要分布在研究区太行山北部;呈退化趋势的区域占研究区的 36.11%,其中通过显著性检验的有 8.20%,面积为 3 886.74 km²,主要分布在研究区太

行山西南部和东部平原。

(3) 研究区水土保持功能时空格局变化人为驱动因素主要包括:一是生态建设活动提高植被覆盖度,增强水土保持功能;二是农业生产活动不合理和建设用地无序扩张,导致水土保持功能退化;三是采矿业扰动生态系统稳定性,降低区域水土保持能力。

基于上述分析,提出应将水土保持功能显著增强区作为重点生态保护区,水土保持功能显著退化区作为重点生态修复区,严格管控生态支撑区的采矿用地,从规划到闭矿进行全过程严格管理。

参考文献:

- [1] 彭建,李慧蕾,刘焱序,等.雄安新区生态安全格局识别与优化策略[J].地理学报,2018,73(4):701-710.
- [2] 申嘉澍,梁泽,刘来保,等.雄安新区生态系统服务簇权衡与协同[J].地理研究,2020,39(1):79-91.
- [3] 王效科,欧阳志云,肖寒,等.中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J].生态学报,2001,21(1):14-19.
- [4] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998,25(1):3-15.
- [5] 刘月,赵文武,贾立志.土壤保持服务:概念、评估与展望[J].生态学报,2019,39(2):432-440.
- [6] 于兴修,杨桂山.通用水土流失方程因子定量研究进展与展望[J].自然灾害学报,2003,12(3):14-18.
- [7] 周夏飞,马国霞,曹国志,等.基于 USLE 模型的 2001—2015 年江西省土壤侵蚀变化研究[J].水土保持通报,2018,38(1):8-11,17.
- [8] 陈永宝,黄传伟,陈志伟,等. USLE 在我国的应用和发展[J].中国水土保持,2003,11(10):15-17.
- [9] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. Washington D C: USDA Agriculture Handbook, 1978.
- [10] Terranova O, Antronico L, Coscarelli R, et al. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: an application model for Calabria (southern Italy) [J]. Geomorphology, 2009, 112 (3/4):228-245.
- [11] Soyoung P, Cheyoung O, Seongwoo J, et al. Soil erosion risk in Korean watersheds, assessed using the revised universal soil loss equation[J]. Journal of Hydrology, 2011,399(3/4):263-273.
- [12] Khalid C. Estimation of soil loss using RUSLE model for Sebou watershed (Morocco) [J]. Modeling Earth Systems and Environment, 2016,2(2):1-10.
- [13] 王万中,焦菊英,郝小品,等.中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布(I)[J].水土保持学报,1995,9(4):5-18.
- [14] 毕小刚,段淑怀,李永贵,等.北京山区土壤流失方程探讨[J].中国水土保持科学,2006,4(4):6-13.
- [15] 宁婷,桑满杰,郭新亚,等.山西省 2000—2016 年降雨侵蚀力时空分布特征[J].中国水土保持科学,2020,18 (1):1-7.
- [16] 高江波,周巧富,常青,等.基于 GIS 和土壤侵蚀方程的农业生态系统土壤保持价值评估:以京津冀地区为例[J].北京大学学报:自然科学版,2009,45(1):151-157.
- [17] 王娇,程维明,祁生林,等.基于 USLE 和 GIS 的水土流失敏感性空间分析:以河北太行山区为例[J].地理研究,2014,33(4):614-624.
- [18] 王婷,郑帅霖,李深泉,等.晋北地区土壤保持量时空变化特征研究[J].干旱区资源与环境,2018,32(7):188-195.
- [19] 周来,李艳洁,孙玉军.修正的通用土壤流失方程中各因子单位的确定[J].水土保持通报,2018,38(1):169-174.
- [20] 温天福,张范平,胡建民,等.1958—2014 年赣江流域降雨侵蚀力时空变化特征[J].水土保持研究,2020,27 (1):7-14,20.
- [21] Sharoly N, William J R. EPIC-erosion/productivity impact calculator:1. model documentation[M]. Washington D C: USDA Technical Bulletin, 1990:3-9.
- [22] 曹祥会,龙怀玉,雷秋良,等.河北省表层土壤可侵蚀性 K 值评估与分析[J].土壤,2015,47(6):1192-1198.
- [23] 黄炎和,卢程隆,付勤,等.闽东南土壤流失预报研究[J].水土保持学报,1993,3(4):13-18.
- [24] 马超飞,马建文,布和敖斯尔. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J].水土保持通报,2001,2 (4):6-9.
- [25] 张宪奎,许靖华,卢秀琴,等.黑龙江省水土流失方程的研究[J].水土保持通报,1992,12(4):1-9.
- [26] 潘颖,林杰,佟光臣,等.2004—2014 年太湖流域植被覆盖时空变化特征[J].生态与农村环境学报,2018,34 (1):37-45.
- [27] 吴楠,高吉喜,苏德毕力格,等.长江上游植被净初级生产力年际变化规律及其对气候的响应[J].长江流域资源与环境,2010,19(4):389-396.
- [28] 北京市水务局.2000—2018 年北京市水土保持公报[EB/OL].(2019-11-11)[2020-11-24] <http://swj.beijing.gov.cn/zwgk/stbcgb/>.
- [29] 李素晓.京津冀生态系统服务演变规律与驱动因素研究[D].北京:北京林业大学,2019.
- [30] 潘梅,陈天伟,黄麟,等.京津冀地区生态系统服务时空变化及驱动因素[J].生态学报,2020,40(15):5151-5167.
- [31] 杜春利.河北省太行山区水土流失及其防治对策[J].中国水土保持,1995,2(9):5-7.