

# 汾河流域植被覆盖度时空特征与地形因子的关系

张会霞, 李永梅, 张娜

(太原师范学院 地理科学学院, 山西 榆次 030619)

**摘要:** [目的] 研究汾河流域植被覆盖度在时间以及空间上的变化特征, 及其与地形因子的关系, 为汾河流域的绿色发展提供科学依据。[方法] 基于 MODIS NDVI 遥感影像数据, 选取汾河流域 2005—2020 年中的 2005, 2009, 2013, 2017, 2020 年数据, 采用像元二分模型估算汾河流域 15 a 的 5 个时期的植被覆盖度; 结合线性趋势分析研究汾河流域植被覆盖度的时空变化特征; 结合 DEM 数据探讨植被覆盖度与地形因子的关系。[结果] 2005—2020 年汾河流域的植被覆盖度总体呈现增加趋势, 植被覆盖度均值超过 60%, 其中主要以中、中高和高植被覆盖度为主, 沿着吕梁山脉和太行山脉的植被覆盖度状况良好。从地形因子对植被覆盖度的影响来看: ①随着高程的不断增高, 汾河流域植被覆盖度不断增高, 在 2 000 m 以上的地区植被覆盖度较高; ②随着坡度的增大, 汾河流域植被覆盖度在不断提高, 在大于 12° 的地区覆盖度达到最大; ③坡向与汾河流域植被覆盖度关系较小, 植被覆盖变化呈现平缓趋势, 但在阴坡覆盖度较高。[结论] 汾河流域植被覆盖状况良好, 植被生长状况逐年变好, 地形因子是植被生长的重要影响因素。

**关键词:** 汾河流域; 植被覆盖度; 时空特征; 地形因子

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2022)01-0353-07

**中图分类号:** P463.22, TP79

**文献参数:** 张会霞, 李永梅, 张娜. 汾河流域植被覆盖度时空特征与地形因子的关系[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 353-359. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.046; Zhang Huixia, Li Yongmei, Zhang Na. Relationship between temporal and spatial characteristics of vegetation coverage and topographic factors in Fenhe River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 353-359.

## Relationship Between Temporal and Spatial Characteristics of Vegetation Coverage and Topographic Factors in Fenhe River Basin

Zhang Huixia, Li Yongmei, Zhang Na

(Institute of Geography Science, Taiyuan Normal University, Yuci, Shanxi 030619, China)

**Abstract:** [Objective] The spatiotemporal variation characteristics of vegetation coverage in Fenhe River basin and their relationship with topographic factors were studied in order to provide a scientific basis for the green development of the basin. [Methods] Based on MODIS NDVI remote sensing images data, five years (2005, 2009, 2013, 2017 and 2020) of data for the Fenhe River basin from 2005 to 2020 were selected. A pixel dichotomy model was used to estimate the vegetation coverage of Fenhe River basin over the past 15 years. The spatio-temporal variation characteristics of vegetation coverage in Fenhe River basin were studied combined with linear trend analysis. Associated with DEM data, the relationship between vegetation coverage and topographic factors was discussed. [Results] The vegetation coverage of Fenhe River basin demonstrated an increasing trend from 2005 to 2020, with an average of more than 60%, mainly medium, medium-high, and high vegetation coverage. The vegetation coverage along the Lüliang Mountains and Taihang Mountains was in good condition. The impact of topographic factors on vegetation coverage could be summarized as: ① Vegetation coverage in Fenhe River basin increased continuously with increasing vegetation, and was greatest in areas higher than 2 000 m in elevation. ② Vegetation coverage in Fenhe River basin increased with increasing slope, and the coverage reached maximum values in areas with slopes greater than 12°. ③ There was little

收稿日期: 2021-06-28

修回日期: 2021-08-23

资助项目: 山西省自然科学基金项目“大数据支持下的城市功能区识别及热点区域研究”(201901D111291)。

第一作者: 张会霞(1972—), 女(汉族), 山西省运城市人, 博士, 副教授, 主要从事自然资源遥感应用研究。Email: zhanghx@tynu.edu.cn。

correlation between slope aspect and vegetation coverage in Fenhe River basin. Changes in vegetation coverage showed a gentle trend, but coverage was higher on shady slopes. [Conclusion] Vegetation coverage in Fenhe River basin is good, and vegetation growth is getting better year by year. Topography is an important factor affecting vegetation growth.

**Keywords:** Fenhe River basin; vegetation coverage; spatio-temporal characteristics; topographic factors

近几年,自然环境问题在经济发展中日益突出,对人民生活造成了很大的影响<sup>[1]</sup>。中国不断加大生态文明建设,力求建设更加文明和谐更加美丽的中国。植被作为陆地生态系统最为重要的主体,不仅可以保留土壤中的水分,还可以防沙固土,减少水土流失,一定程度上反映出全球生态环境变化状况<sup>[2]</sup>。植被覆盖变化已是全球环境变化和陆表生态系统相关研究的热门问题之一<sup>[3-4]</sup>,对研究植被变化情况及其程度则需引用植被覆盖度(FVC)来进行反演,植被覆盖度可将地表植被在遥感影像上量化,便于更好地进行研究分析<sup>[5]</sup>。

目前,植被覆盖度提取方法主要以地表实测和遥感监测为主<sup>[5-6]</sup>,但多采用遥感监测。面对研究范围较大的地区,在时间序列较长的情况下多数学者采用了高分辨率的 MODIS 数据产品<sup>[6]</sup>,以便得到更加精准的数据,如孙天瑶等<sup>[7]</sup>选取 MODIS NDVI 数据对塔里木河流域 2000—2018 年的植被覆盖度时空格局进行研究,同时探讨了气候和人类活动对植被变化的影响;齐敬辉等<sup>[8]</sup>基于 MODIS 数据,采用像元二分模型、趋势分析方法对 2000—2014 年疏勒河流域植被覆盖时空变化进行研究,得出疏勒河流域植被覆盖度呈明显改善的状态;李晓蕾等<sup>[9]</sup>同样基于 MODIS 遥感数据,利用趋势分析、偏相关分析方法对叶尔羌河流域植被覆盖度时空变化进行研究,得出植被覆盖度在 16 a 间呈现微弱的增长趋势。

汾河作为黄河的主要支流,其生态环境保护状况和沿线城市经济构成黄河流域生态保护和高质量发展的重要组成部分和影响因素<sup>[10]</sup>。汾河流域地处黄土高原,土壤疏松、植被稀疏,在夏季多雨季节很容易造成水土流失,是严重缺水的区域。植被是地表生态系统中最为重要的组成部分<sup>[11]</sup>,是生态环境进行监测的基础,因此对流域内的植被覆盖度进行时空变化的研究具有一定的理论价值,结合遥感技术对植被进行反演,可为汾河流域的生态环境保护 and 经济发展提供一定程度上的理论科学帮助。

本研究以汾河流域为研究区,选取 2005—2020 年中的 5 a(2005, 2009, 2013, 2017, 2020 年) MODIS NDVI 数据,利用 ArcGIS 10.2, ENVI 5.3 等软件对 NDVI 数据进行处理,对汾河流域的植被覆

盖度进行模型估算,从而研究其时空特征,同时探讨不同地形因子与汾河流域植被覆盖度关系。

## 1 研究区概况

汾河处于黄河的中游地段,其流域坐落于山西省内,地理位置 35°13′04″—39°04′04″N, 110°26′42″—113°26′56″E。汾河全长约为 715 km,主要流经运城、临汾、吕梁、晋中、太原、忻州等地级市中的 43 个县市(区),万荣县作为最终的流经地,在此处汇入黄河。汾河流域面积达到 39 740 km<sup>2</sup>,超过山西全省总面积的四分之一。汾河,是山西最大的河流,汾河流域则是山西人口密集、工农业集中的重要区域,是山西省重点的发展保护地区。汾河流域地理位置见图 1。

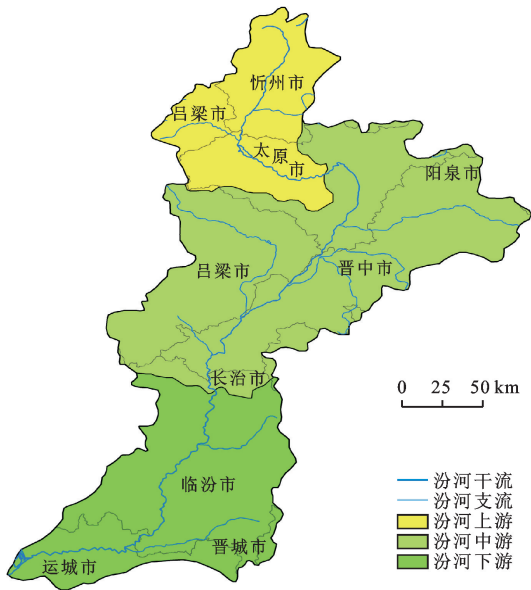


图 1 汾河流域在山西省的位置

## 2 研究数据与方法

### 2.1 数据来源及处理

2.1.1 数据来源 本研究采用的 MODIS NDVI 遥感数据是从 NASA 官网(<http://ecocast.arc.nasa.gov>)下载的 MOD13Q1 数据产品,该产品的空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 d,研究区域处在的行列号为 h26v05 和 h27v05。其中选取了汾河流域 2005—2020 年中的 5 a 数据(2005, 2009, 2013, 2017,

2020 年)来研究,以 7—10 月作为研究时段,此时段植物生长处于旺季,可更好的对研究区的植被覆盖度进行时空特征的分析。DEM 数据(数字高程模型)则是从地理空间数据云官网(<http://www.gscloud.cn>)下载所得,所用产品为 90 m 空间分辨率的 SRTM DEM数据。

2.1.2 数据处理 对于 MODIS 遥感影像数据,所获取的数据格式为 HDF,因汾河流域处在两个行列号间(h26v05 和 h27v05),则需利用 MRT(MODIS Reprojection Tool)软件进行拼接和格式转化,地理坐标统一转化为 WGS-1984 坐标系。在 ENVI 5.3 中利用波段运算去除 NDVI 中的无效值。在 ArcGIS 10.2 软件中利用 ArcMap 根据汾河流域的矢量数据进行掩膜提取,从而得到汾河流域研究时段的所有影像数据。为了方便对每年的植被覆盖度进行研究,本研究利用最大值合成法(MVC)将每年研究时段(7—10 月)的 MODIS NDVI 数据合成最大 NDVI 数据集。

将 DEM 数据在 ArcGIS 10.2 软件中进行地理坐标转化为 WGS-1984 坐标系,再根据研究区进行掩

膜提取,从而得到研究区的 DEM 数据,并在 ArcGIS 10.2 软件中分别生成坡度图、坡向图、高程图。

2.2 研究方法

2.2.1 像元二分模型 像元二分模型是一种利用遥感数据来进行估算的模型,它不仅简单,而且很实用,它通常被用来估算某地区的植被覆盖度<sup>[12]</sup>。植被覆盖度(FVC)通常需要利用 NDVI(归一化植被指数)来辅助计算,利用植被在红光波段具有高吸收,而在近红外波段具有高反射的特点,采用改进的像元二分模型来进行估算植被覆盖度,其公式为<sup>[6]</sup>:

$$FVC=\frac{NDVI-NDVI_{soil}}{NDVI_{veg}-NDVI_{soil}}$$

(1)

式中:FVC 表示植被覆盖度;NDVI<sub>soil</sub>表示裸土或没有植被覆盖地区植被指数;NDVI<sub>veg</sub>表示完全被植被覆盖地区植被指数。本研究选取置信度为 0.5%附近累计百分比作为 NDVI<sub>soil</sub>,同样选取置信度在 99.5%附近累计百分比作为 NDVI<sub>veg</sub>,根据以上估算模型在 ENVI 5.3 中估算汾河流域每年植被覆盖度。参考韩丽君等<sup>[6]</sup>对汾河流域研究将植被覆盖度进行等间距分级,分级标准见表 1。

表 1 汾河流域植被覆盖度划分

类 别	低覆盖度	中低覆盖度	中覆盖度	中高覆盖度	高覆盖度
植被覆盖度/%	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
赋 值	1	2	3	4	5

2.2.2 线性趋势分析 为了更好地对汾河流域 2005—2020 年的植被覆盖度进行时空变化趋势研究,植被覆盖度随时间变化研究采取了一元线性回归分析法,基于最小二乘法来拟合植被覆盖度的变化斜率<sup>[13]</sup>。具体公式为:

$$\theta_{slope}=\frac{n\times(\sum_{i=1}^ni\times FVC_i)-(\sum_{i=1}^ni)(\sum_{i=1}^nFVC_i)}{n\times\sum_{i=1}^ni^2-(\sum_{i=1}^ni)^2}$$

(2)

式中:θ<sub>slope</sub>表示研究时段植被覆盖度线性拟合变化趋势斜率;n 为总的研究年数(n=5);FVC<sub>i</sub>表示第 i 年的植被覆盖度(这里取植被覆盖度均值)。其中 θ<sub>slope</sub>为正则表示植被覆盖度改善,为负则代表植被覆盖度减弱,为零则表示植被覆盖度无变化。

3 结果与分析

3.1 汾河流域植被覆盖度时空变化特征

3.1.1 植被覆盖随时间变化的特征 通过线性趋势分析,再借助于 ArcGIS 10.2 软件中的面积制表可得到汾河流域上、中、下游的植被覆盖度变化程度。从

整体上(表 2)可以看出,2005—2020 年汾河流域植被覆盖度的变化程度主要为增加趋势,其占据了研究区植被覆盖总面积的 70.19%;而植被覆盖度不变的区域只有 0.39%。其中,植被增加区域主要集中在汾河流域中下游地区,其在中游地区尤为显著,面积比例为 31.12%。同时,植被覆盖度下降区域以中游地区为主,占据总面积的 19.82%,植被覆盖度不变的区域占比极少,但还是可以看出,汾河中游区域的植被变化程度不变的占比最多,但总体上来说,汾河流域的植被覆盖度整体呈现改善的趋势。

表 2 2005—2020 年汾河流域上、中、下游趋势分析结果

位置	植被覆盖度变化比例/%		
	下降	不变	增加
上游	5.07	0.05	12.85
中游	19.82	0.20	31.12
下游	4.54	0.13	26.22
小计	29.43	0.39	70.19

利用像元二分模型,对汾河流域植被覆盖度 2005—2020 年整合的 5 期遥感数据进行估算统计分析,以此得到每年不同植被覆盖度的分布类型的面积和比例情况(图 2)。从图 2 中可以看出,从 2005—2020 年整体上看,研究区的植被覆盖呈现改善状态,植被覆盖度主要由低、中低、中向中高、高变化,其中:中、中高植被覆盖度变化最为显著,中覆盖度区域面积减少了 10.93%,中高覆盖度区域面积增加了 15.56%。

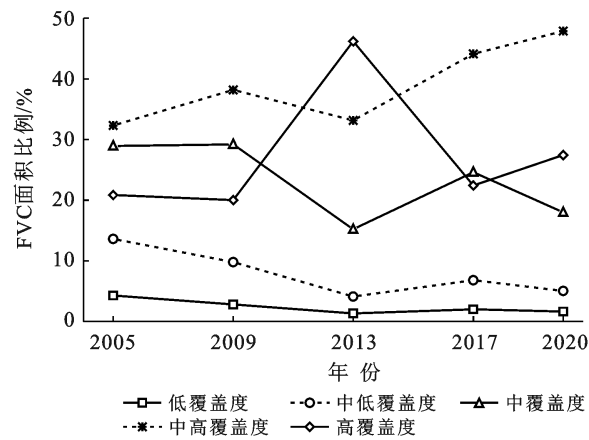


图 2 2005—2020 年汾河流域不同植被覆盖度区域面积比例

据图 2 可知,2005—2009 年汾河流域的植被覆盖度变化主要体现在中高覆盖度上,即从 2005 年的 32.31% 增加到 2009 年的 38.18%,增加了 5.87%,低、中低植被覆盖度均下降。

2013 年的植被覆盖度显著增高,从中可以看出中高、高植被覆盖度占据汾河流域总植被覆盖区的 79.35%,其增加的主要原因是于 2009 年开始,为加大水资源管理力度并改善汾河流域的水污染状况,山西省政府开始实行绿化政策工作,将流域的绿化与植树造林相结合起来,组织各级政府进行人工植树造林并加大其力度。

从 2013—2017 年高植被覆盖区明显降低,由 2013 年的 17 836.13 km<sup>2</sup> 减少到 2017 年的 8 656.69 km<sup>2</sup>,但中、中高植被覆盖区显著增加,由 2013 年的 18 668.75 km<sup>2</sup> 增加到 2017 年的 26 544.56 km<sup>2</sup>,在此期间由于汾河流域遭遇了旱情,造成了植被的退化,且在 2017 年山西省天气冷暖异常,7 月高温天气历史最多,最高气温为 41.9 ℃。

2017—2020 年低、中低、中植被覆盖区显著减少,中高、高植被覆盖度显著上升,高覆盖度达到了 27.44%。2017 年 6 月,山西省全面开启了汾河流域生态保护绿色发展修复工作,先后出台了各种修复方案和条例,截止目前,已初步实现了“水量丰富起来、

水质好起来”。2020 年汾河流域的植被覆盖度出现上升的趋势。

3.1.2 植被覆盖空间分布及变化特征 在 ArcGIS 10.2 中将 5 期汾河流域植被覆盖度图进行分级,结果如图 3。由图 3 可知,高植被覆盖度主要分布在汾河流域边界的县市,沿着吕梁山脉和太行山脉分布,而处于两条山脉之间的太原盆地植被覆盖度受人文因素的影响则主要以中高植被覆盖度为主,其周围区域是低覆盖度,但太原市主城区的植被覆盖度明显一直处于低覆盖度的情况,忻定盆地的植被覆盖度则一直处于中度覆盖以下。

2005 年,处于汾河下游地区的植被覆盖度主要的植被覆盖度类型很明显为低植被覆盖度,植被覆盖率极低,是因为人们长期对水资源的过度开采利用与污染。2005—2009 年,植被覆盖明显改善的区域为汾河下游以南的区域地段,主要为从低植被覆盖度转变为中植被覆盖度,对于忻州盆地以北部分区域,植被覆盖度由低覆盖转变为中度覆盖。2013 年,植被覆盖度显著大幅改善,低、中低植被覆盖度几乎都转变为中高、高植被覆盖度,尤其表现在临汾盆地和运城盆地,使汾河流域的高植被覆盖度达到最大化,可以看出省政府对汾河流域的重视。2013—2017 年,沿太行山脉西北区域的县市、汾河流域下游以南地区,植被覆盖度由原来的高植被覆盖度变为中及中高植被覆盖度,汾河流域一半以上的地区植被覆盖度达到 60%。2017—2020 年,汾河流域管辖区主要对低植被覆盖度的地区(植被覆盖度在 60% 以下)进行大力整改,沿太行山脉的区域植被再次得到改善。

2005—2020 年,汾河流域植被覆盖类型分布如图 3 所示,太原市主城区的植被覆盖度虽在不同程度上得到改善,但幅度较小,因此是需要重点关注。

3.2 地形因子与植被覆盖度的关系分析

地形因子的不同会造成水热状况的不同,从而对植被覆盖度的分布格局具有不同的影响程度<sup>[14-15]</sup>。本研究对汾河流域的坡度、坡向、高程的划分参考白建伟<sup>[5]</sup>对汾河流域的分级(表 3)。2005—2020 年汾河流域高程分布特征如图 4 所示。

表 3 2005—2020 年汾河流域地形因子划分指标

级别	高程分类/m	坡度分类	坡向分类
1	0~500	0°~3°	无坡向(—1)
2	500~1 000	3°~6°	阴坡(315°~45°)
3	1 000~1 500	6°~9°	半阴坡(45°~135°)
4	1 500~2 000	9°~12°	阳坡(135°~225°)
5	>2 000	>12°	半阳坡(225°~315°)



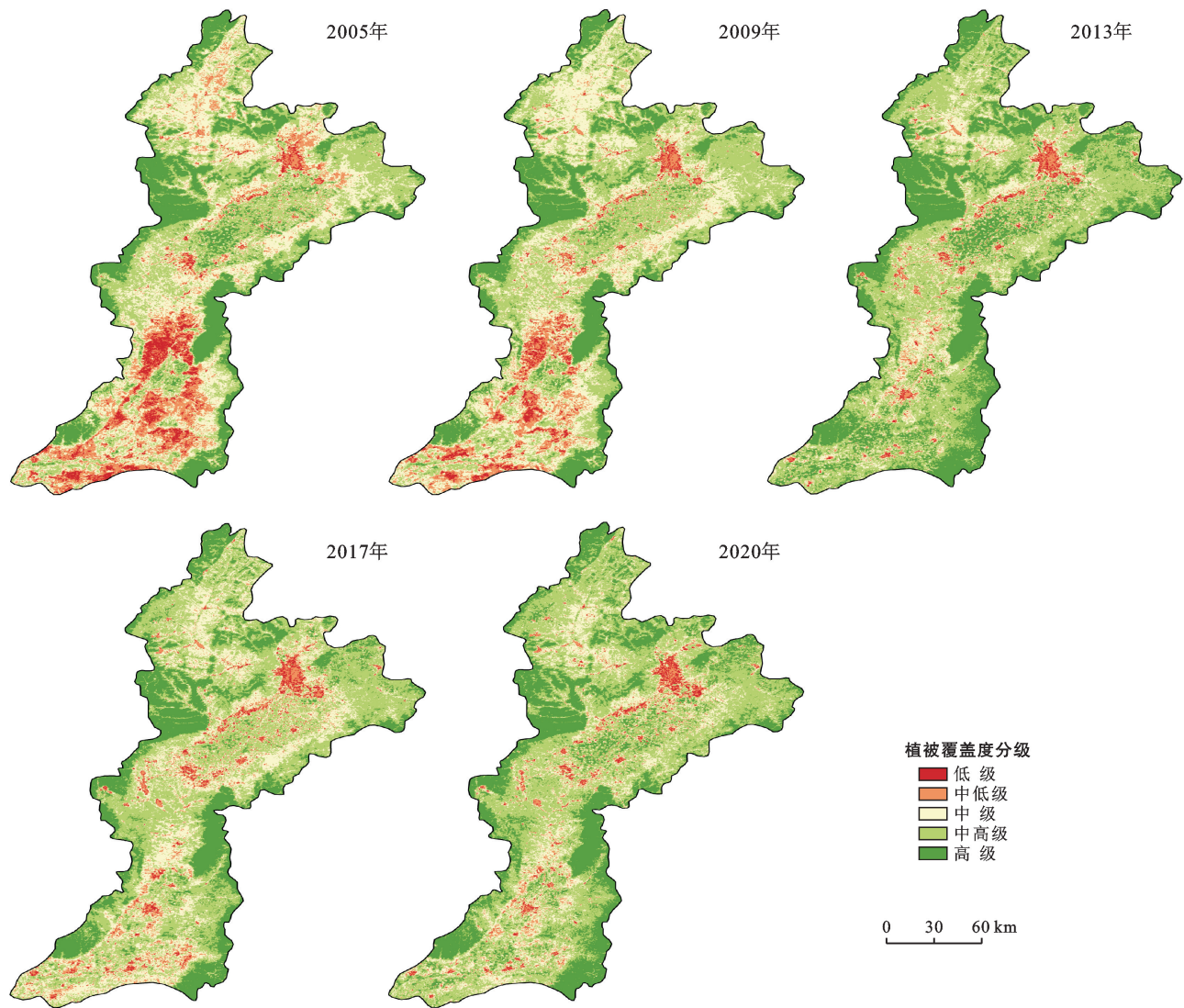


图 3 2005—2020 年汾河流域各期植被覆盖度分布

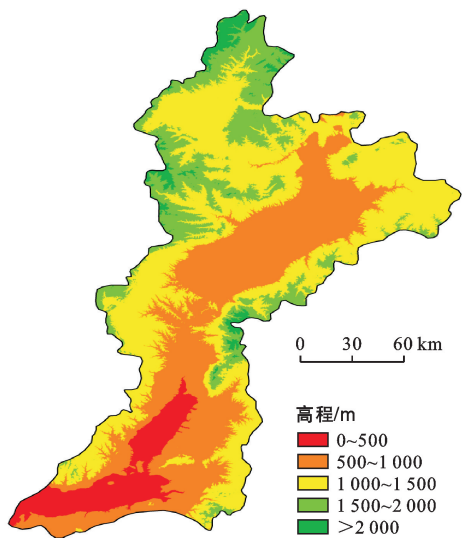


图 4 汾河流域高程分布特征

河流域的高程(图 4)。植被覆盖度在不同的高程(海拔)有着不同的分布。

在 ArcGIS 10.2 中将转换为矢量数据的高程图与各时期的植被覆盖度进行分区统计,计算得到各期不同高程下的植被覆盖度均值(图 5)。由图 5 可见,随着高程的不断增高,汾河流域的平均植被覆盖度在不断增加,且在大于 2 000 m 的高程地区汾河流域的平均植被覆盖度达到最大,超过了 85%,同时在 1 500~2 000 m 的地区平均植被覆盖度达到了 80%左右。得益于在海拔地区人类无法干预植被的生长。在 1 000~1 500 m 的高程地区,汾河流域的植被覆盖度超过 60%但不足 80%。而在小于 1 000 m 的地区,由于人类活动频繁,对于植被覆盖具有一定的破坏程度,其植被覆盖度不超过 60%,覆盖类型主要为中低植被覆盖度。

3.2.1 高程与汾河流域植被覆盖度的关系 通过对汾河流域的 DEM 数据进行分级划分,从而得到汾

2005—2020 年汾河流域的平均植被覆盖度在逐年增高,自山西省政府出台《山西省汾河流域水资源

管理和水环境保护条例》以来,汾河流域实施绿化工作,2013 年汾河流域实施大量的人工造林和退耕还林政策,此年不同高程的平均植被覆盖度略高于其余研究年份。

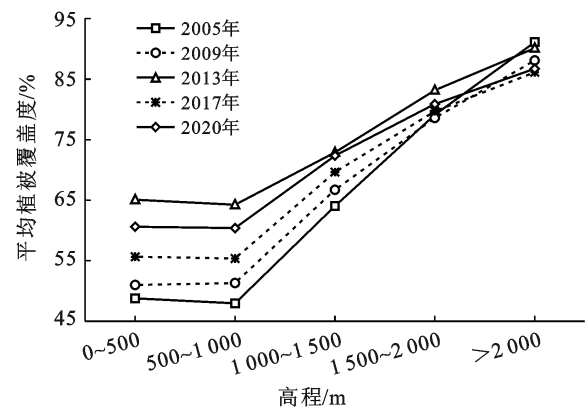


图 5 2005—2020 年汾河流域各时期不同高程的平均植被覆盖度

3.2.2 坡度与汾河流域植被覆盖度的关系 利用 DEM 数据,依据表 3 的分级指标在 ArcGIS 10.2 下生成坡度图(图 6)。坡度代表了地表单元的陡缓程度。在很大程度上,坡度会大幅度影响水分再分配的过程,在再分配过程中对土壤中的有机物和水分进行控制,从而影响植被的生长与空间分布<sup>[16]</sup>。

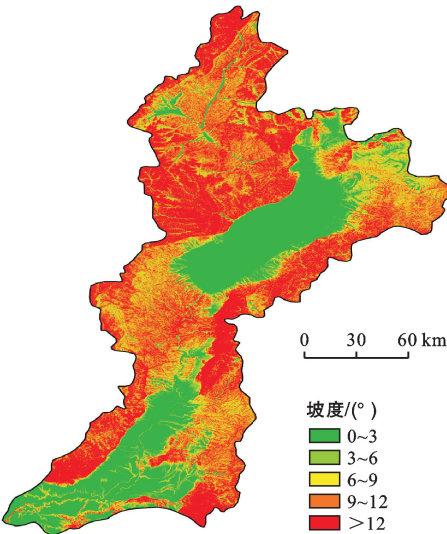


图 6 汾河流域坡度分布特征

在 ArcGIS 10.2 中将转换为矢量数据的坡度图与各时期的植被覆盖度进行分区统计,计算得到各期不同坡度下的植被覆盖度均值(图 7)。从图 7 中可以看出,随着坡度的不断增大,汾河流域的平均植被覆盖度呈现微弱的上升趋势,但上升的程度不大。在坡度大于 12°的区域,汾河流域的平均植被覆盖度达到

了最大,超过了 70%,但不足 80%,并没有达到高植被覆盖度。在 9°~12°的坡度范围内,其平均植被覆盖度超过了 60%。综合来看,在坡度超过 9°的区域,汾河流域的植被覆盖度处于中高覆盖度,而且在 2013,2020 年不同坡度的平均植被覆盖度均超过了 60%,2005—2020 年汾河流域的植被呈现缓慢的改善趋势。

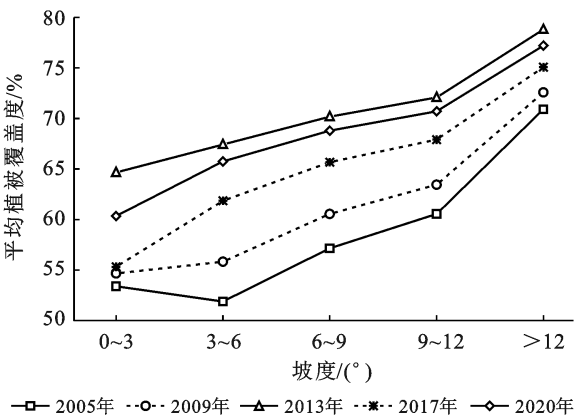


图 7 2005—2020 年汾河流域各时期不同坡度下的平均植被覆盖度

3.2.3 坡向与汾河流域植被覆盖度的关系 通过 DEM 数据,依据表 3 的分级指标在 ArcGIS 10.2 下生成坡向图(图 8)。坡向就是坡面法线在水平面上的投影的方向(也可以通俗理解为由高及低的方向),不同的坡面朝向会使太阳辐射量及土壤水分的多少存在着明显的差异,进而造成植被分布特征的不同<sup>[17]</sup>。

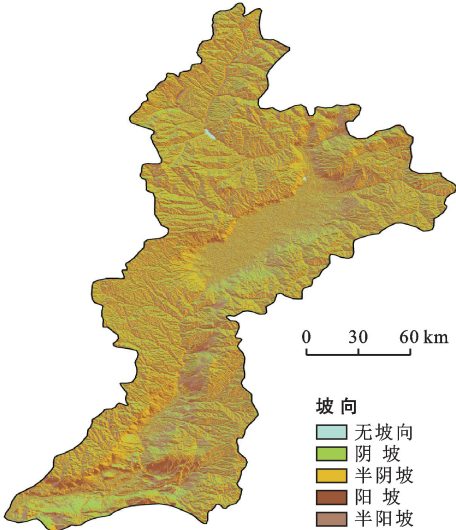


图 8 汾河流域坡向分布特征

在 ArcGIS 10.2 中将转换为矢量数据的坡向图与各时期的植被覆盖度进行分区统计,计算得到各期

不同坡向下的植被覆盖度均值(图 9)。由图 9 可知,坡向对于汾河流域植被覆盖的分布没有特别明显的影响,平均植被覆盖度基本都超过了 60%。但在无坡向地区,汾河流域植被覆盖度明显低于其他坡向,阴坡地区的平均植被覆盖度明显高于其他坡向,相反在半阴坡、阳坡、半阳坡平均植被覆盖度呈现稍下降趋势。是因为坡向对植被覆盖的主要影响体现在温度和降水上<sup>[18]</sup>,阴坡的太阳辐射小,土壤水分大幅度保留,造就了植被的相对茂盛。

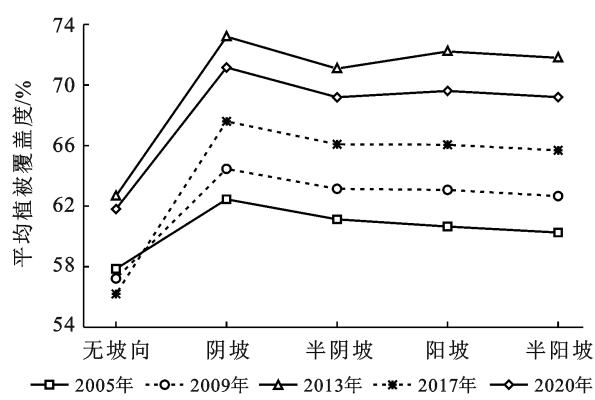


图 9 2005—2020 年汾河流域各时期不同坡向下的平均植被覆盖度

在各坡向的地区内,变化起伏不明显,但总体上呈现小幅度上升的趋势。2013 年,各坡向的植被覆盖度达到最大值,除无坡向外,其他坡向平均植被覆盖度均超过了 70%,且最大值为 73.19%。综上所述,坡向对汾河流域的植被覆盖度的影响程度不大。

## 4 讨论与结论

### 4.1 结论

2005—2020 年,汾河流域植被覆盖度总体呈现增加趋势,增幅相对比较明显,2013 年汾河流域的平均植被覆盖度明显高于其他年份,较为突出。2005—2020 年,汾河流域植被覆盖度主要以中高覆盖度为主,其面积比例均超过了 30%,其次为中高、高覆盖度,低覆盖度所占比例极低,表明汾河流域的植被覆盖度状况整体呈现良好的状态。

(1) 从空间分布上来看,高植被覆盖度主要分布在汾河流域周边的县市,沿着吕梁山脉和太行山脉分布,中高植被覆盖度分布较为均匀,低、中低植被覆盖度主要分布在临汾、运城、太原市的主城区。从总体特征上来看,越靠近山区的区域植被覆盖度越高,而处于盆地的区域植被覆盖度不高,可能受人文因素的影响较大。

(2) 随着高程的不断增高,汾河流域植被覆盖度

呈现明显的上升趋势,在大于 2 000 m 的区域,植被覆盖度达到最高。

(3) 随着坡度增大,汾河流域平均植被覆盖度不断上升,但上升的程度不大,在坡度大于 12°时,植被覆盖度最高。

(4) 坡向对汾河流域植被覆盖度影响不明显,但在阴坡处,植被覆盖度较高。

### 4.2 讨论

汾河流域的植被覆盖度在时间跨度上总体呈现逐步增加的趋势,这与白建伟<sup>[5]</sup>、韩丽君等<sup>[6]</sup>对汾河流域植被覆盖度的研究相符合。其次,汾河流域植被覆盖度与高程和坡度存在着明显的相关性,但相对于坡向而言,对植被造成影响的主要是太阳的辐射及土壤中水分,而汾河流域的坡向相对均匀一些,所以坡向对汾河流域的植被覆盖度影响并不明显。本文对汾河流域植被覆盖度的研究存在着一定的局限性和不足,如对汾河流域植被覆盖度的分布变化并未逐年进行研究分析,人类活动及气候变化对植被覆盖度的具体影响划分研究等等。本研究对汾河流域植被覆盖度的研究内容相对较少,其土地利用类型也可能为汾河流域植被覆盖度的重要影响因素,但受数据等各方面的限制,影响因子只是结合地形因子进行探讨,且因汾河流域相对较大,对研究数据的获取和处理存在一定的限制。应在往后的研究中加入更多的影响因素分析,采用更便捷的数据处理方法,进而实现汾河流域最大程度的绿色发展。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 李茂华,郭松.涑水河流域 1990—2011 年植被覆盖度变化研究[J].地理空间信息,2018,16(7):104-107,116.

[2] 汤巧英,戚德辉,宋立旺,等.基于 GIS 和 RS 的延河流域植被覆盖度与地形因子的相关性研究[J].水土保持研究,2017,24(4):198-203.

[3] Liu Qiping, Yang Yongchun, Tian Hongzhen, et al. Spatial-temporal difference of vegetation changes in Built-up areas in China during the period of rapid urbanization [J]. Journal of Natural Resources, 2014,29(2): 223-236.

[4] Anatoly A G, Yoram J K, Robert S, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. Remote Sensing of Environment, 2002,80(1):76-87.

[5] 白建伟.汾河流域近 17 年植被覆盖度时空特征变化研究[D].山西 晋中:山西农业大学,2019.

[6] 韩丽君,李晶.近 10 年汾河流域植被覆盖时空变化研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2017,48(6): 824-831.



- [14] Ngo T S, Nguyen D B, Rajendra P S. Effect of land use change on runoff and sediment yield in Da River Basin of Hoa Binh Province, Northwest Vietnam [J]. Journal of Mountain Science, 2015, 12(4): 1051-1064.
- [15] 尹占娥, 许世远. 上海浦东新区土地利用变化及其生态环境效应[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(4): 430-434.
- [16] 张芳怡, 邢元志, 濮励杰, 等. 苏州市土地利用变化的生态环境效应研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(5): 98-103.
- [17] 黄忠华, 杜雪君. 快速城市化地区土地利用变化的生态环境效应: 以杭州市中心城区为例[J]. 水土保持通报, 2015, 35(6): 223-229.
- [18] 曹茜, 于德永, 孙云, 等. 土地利用/覆盖变化与气候变化定量关系研究进展[J]. 自然资源学报, 2015, 30(5): 880-890.
- [19] 牛璐珍, 石英. 土地利用/覆盖变化研究进展综述[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2014, 16(S1): 25-26, 97.
- [20] 李保杰. 矿区土地景观格局演变及其生态效应研究: 以徐州市贾汪矿区为例[D]. 江苏 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- [21] 欧维新, 杨桂山, 于兴修, 等. 盐城海岸带土地利用变化的生态环境效应研究[J]. 资源科学, 2004, 26(3): 76-83.
- [22] 李晓文, 方创琳, 黄金川, 等. 西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应: 以甘肃河西地区为例[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 280-290.
- [23] 赵晶晶, 张伟, 高伟明. 昌黎黄金海岸国家级自然保护区土地利用/覆被变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 211-216.
- [24] 张杨, 刘艳芳, 丁庆, 等. 1996—2006 年武汉市土地利用/覆被变化研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2534-2539.
- [25] 侯蕾, 彭文启, 刘培斌, 等. 永定河上游流域土地利用变化及生态环境效应研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2017, 15(06): 430-438.
- [26] 刘云霞, 陈爽, 姚士谋, 等. 南京市域土地利用变化对生态环境影响的圈层结构分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2008, 32(2): 29-33.
- [27] 吕立刚, 周生路, 周兵兵, 等. 区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究: 以江苏省为例[J]. 地理科学, 2013, 33(12): 1442-1449.
- [28] Zhang Chen, Li Yangfan, Xiong Shu, et al. Regional environmental risk assessment and management guide for rapid urbanization process of a city cluster in China [J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2016, 22(2): 283-301.
- [29] 张景华, 封志明, 姜鲁光. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1195-1203.
- [30] 方创琳, 高倩, 张小雷, 等. 城市群扩展的时空演化特征及对生态环境的影响: 以天山北坡城市群为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(9): 1413-1424.
- [31] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.
- [32] 苑韶峰, 唐奕钰, 申屠楚宁. 土地利用转型时空演变及其生态环境效应: 基于长江经济带 127 个地级市的实证研究[J]. 经济地理, 2019, 39(9): 174-181.

(上接第 359 页)

- [7] 孙天瑶, 李雪梅, 许民, 等. 2000—2018 年塔里木河流域植被覆盖时空格局[J]. 干旱区地理, 2020, 43(2): 415-424.
- [8] 齐敬辉, 牛叔文, 马利邦, 等. 2000—2014 年疏勒河流域植被覆盖时空变化[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(5): 757-766.
- [9] 李晓蕾, 徐丽萍, 位宏, 等. 叶尔羌河流域植被覆盖度时空变化分析[J]. 西部林业科学, 2019, 48(4): 86-93.
- [10] 岳强, 翟鹏芳. 汾河生态保护与流域高质量发展的关联特征: 基于河流沿线城市数据的实证研究[J]. 山西师大学报(社会科学版), 2021, 48(3): 98-106.
- [11] 张韵婕, 桂朝, 刘庆生, 等. 基于遥感和气象数据的蒙古高原 1982—2013 年植被动态变化分析[J]. 遥感技术与应用, 2016, 31(5): 1022-1030.
- [12] 徐勇, 奚砚涛, 刘欣婷. 2000—2013 年江苏省植被覆盖度时空变化特征[J]. 西南农业学报, 2016, 29(2): 437-444.
- [13] 孟浩斌, 周启刚, 李明慧, 等. 基于 MODIS 像元尺度的三峡库区植被覆盖度变化的地形分布特征[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(8): 1790-1799.
- [14] 蔡宏, 何政伟, 安艳玲, 等. 基于 RS 和 GIS 的赤水河流域植被覆盖度与各地形因子的相关强度研究[J]. 地球与环境, 2014, 42(4): 518-524.
- [15] 田地, 刘政, 胡亚林. 福州市植被覆盖度时空特征及与地形因子的关系[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(6): 1158-1165.
- [16] 陈家良, 夏建国, 余雨红. 基于 RS 和 GIS 的雅安市植被覆盖度与地形因子相关分析[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(5): 88-92.
- [17] 熊俊楠, 张昊, 彭超, 等. 汶川地震灾区植被覆盖度变化与地形因子的关系[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 24-31, 37.
- [18] 张诗羽, 张毅, 王昌全, 等. 岷江上游流域植被覆盖度及其与地形因子的相关性[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 69-75.