

官渡河流域植被覆盖变化与地形因子相关性

陈洪磊, 欧阳炜, 吕凤玲, 宋艳曦, 郝 蓉

(华中农业大学 资源与环境学院 水土保持研究中心, 武汉 430070)

摘 要:以南水北调中线水源区源头之一的官渡河流域为研究区域,区域内以山地为主,生态环境脆弱。基于 GIS 和 RS 技术,利用 1990 年、1999 年、2004 年、2007 年、2010 年 Landsat TM 遥感影像,基于像元二分模型和变化斜率法,从数理统计角度定量估算了研究区各时期植被覆盖度及其时空分布特征。结果表明:(1) 植被覆盖度在不同河段呈现明显的规律性,上、中、下游植被覆盖度 5 期平均值分别为 94.52%, 87%, 81.69%。(2) 植被覆盖变化受地形因子影响比较明显,植被覆盖度与不同地形因子响应程度不同,对不同时期植被覆盖度,高程和坡度对其影响明显高于坡向。随着坡度的不断增加,植被覆盖度也随着增大;整体上向阳区植被覆盖度要大于同区域的背阳区;官渡河流域不同时期植被覆盖度随着高程的增加均出现先增加后减少的趋势。(3) 不同地质单元组植被覆盖变化各不相同。

关键词:植被覆盖度; 像元二分模型; 地形因子; 官渡河流域

中图分类号:S127; X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)03-0135-06

Variation of Vegetation Cover and Its Correlation of Topographic Factors in Guandu River Basin

CHEN Honglei, OUYANG Wei, LYU Fengling, SONG Yantun, HAO Rong

(Research Center of Water and Soil Conservation, College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In South-to-North Water Transfer Project source, Guandu River Basin was selected as the study area. The area is mainly mountainous and the ecological environment is fragile. Based on GIS and RS technology, using 1990, 1999, 2004, 1999 and 2010, Landsat TM remote sensing image, binary model based on pixels, and changes the slope method, vegetation coverage of different periods in the study area was quantitatively estimated and its space-time distribution characteristics were analyzed. The results showed that: (1) the vegetation coverage had obvious regularity in different river sections, the average values of the five periods of vegetation coverage in upper, middle and lower reaches were 94.52%, 87%, and 81.69%, respectively; (2) the change of vegetation cover was obviously influenced by topographic factors, the vegetation coverage was different from that of different terrain factors, and the effect of vegetation coverage, elevation and slope on different periods was significantly higher than that of aspect; as the slope increases, the vegetation coverage increases; the vegetation coverage of the whole area was greater than that of the region in terms of slope aspect; the vegetation coverage of Guandu River Basin increased with the increase of elevation in different periods; (3) vegetation cover changes in different geological units were different.

Keywords: vegetation coverage; dimidiate pix model; topographic factors; Guandu River Basin

植被是反映某一区域的生态环境状况最为重要的因素,是连接土壤圈、大气圈、水圈、生物圈的自然纽带^[1]。植被覆盖度是定量研究时首要考虑的因子

之一,通常指植被在地面的垂直投影面积与所占统计区域总面积的比值,是衡量植被变化、生态环境变化、气候变化等研究的重要指标之一^[2-3]。常用的测量方

收稿日期:2018-05-27

修回日期:2018-07-14

资助项目:国家自然科学基金“堤坝调控水文过程与植被形成的生态过程耦合模拟研究”(41471432),“受控河岸带植物繁殖体扩散与植被恢复机制”(40901277)

第一作者:陈洪磊(1990—),男,安徽太和人,硕士研究生,从事生态遥感与 GIS 应用研究。E-mail:hzauhongleichen@163.com

通信作者:宋艳曦(1976—),男,山西太原人,博士,副教授,从事水文生态、生态遥感与水土保持研究。E-mail:songyt@mail.hzau.edu.cn

法有地表实测法和遥感监测方法。宏观尺度上由于地表实测法工作量大、耗时多、受自然环境影响较大,而利用遥感影像则可以很好地避免以上问题,并且遥感影像还具有多空间、多光谱、多时相等特点,使遥感影像监测法成为最简洁高效的估算植被覆盖度的主要手段。在众多植被指数中,NDVI 是最常见、有效的反映植被生长状态和植被覆盖度的指标之一^[4]。

自 20 世纪 80 年代以来,国内外大量学者已经对植被变化与气候因子二者之间的响应关系做了大量研究。如 Posse 等对 10 aNDVI 进行逐月分析,得到影响植被覆盖变化最为重要的两个因素是降雨量和温度。何月等利用 1982—2010 年浙江省两种 NDVI 指数反演了该地区植被覆盖状况,并从不同的时间尺度分析了气温、降雨、湿润指数等气象因子与植被覆盖变化的响应特征,发现 GIMMS 和 MODIS 两种不同的 NDVI 指数显著性具有一致性,湿润指数与 NDVI 的相关关系较降雨、气温更高^[5-9]。

流域植被的形成和变化与流域下垫面因子相适应,且受其制约^[10]。流域下垫面因子包括土壤物理性质、地形、地貌、土地利用方式等方面^[11]。在山地生态学研究,地形分异主要体现在坡度、坡向和高程上^[12]。了解不同地形植被分异,有利于制定因地制宜的生态保护政策,推动研究区决策的可行性和科学性,是山地生态学研究的核心热点问题^[13]。国内学者已经对不同地区的植被 NDVI 时空变化趋势及其在地形因子上的分布做了很多研究^[14-16]。吴志杰等利用 Landsat 8 OLI 提取出 NDVI 数据,并基于像元二分模型估算南方丘陵区植被覆盖度,发现当坡度大于 10°时,阳坡植被覆盖度明显比阴坡植被覆盖度偏高的结论^[17]。目前,学者对官渡河所属的堵河流域已经开展了大量研究^[18-19],对采取定量分析的方式分析植被覆盖度在不同影响因子下具体的变化研究比较少。本文定量计算植被覆盖度等级与各地形因子等级的相关性及时空动态变化趋势,这对保护和监测南水北调中线水源区水量变化、用水安全及水土保持研究具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

官渡河流域位于南水北调中线水源区,为汉江最大的支流堵河上游,发源于神农架西麓和重庆市巫山县东北部山麓,流经湖北省竹溪县、竹山县、房县、神农架林区,汇入堵河,最终汇入汉江。介于 31°25′—32°16′N 和 109°38′—110°23′E,面积约 2 871 km²。官渡河流域位于中国地势第二阶梯东源,属于亚热带湿润气候区,流域地势由西南向东北倾斜,最高海拔

2 994 m,最低海拔 277 m,平均海拔 1 342 m,最高落差 2 717 m。土地利用类型以林地为主,其次为坡耕地和灌木丛。研究区属于亚热带常绿阔叶混交林带,植被覆盖度较高,植物种类多,生物多样性丰富。

1.2 数据来源及处理

采用 ArcGIS 10.2, ENVI 5.3.1 进行遥感、地形数据处理,并使用 Origin 2010 进行图表的绘制和相关分析。研究区遥感和 DEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>),分辨率均为 30 m。研究区地质数据来源于中国地质局。共选取有代表性的 5 a 遥感数据,本文选取遥感数据 2007 年获取时间为 8 月份,其余 4 期数据均为 9 月份,平均云量均低于 20%,具有可比拟性,能充分代表研究区植被覆盖的基本情况。Landsat7 ETM+ 机载扫描校正器在 2003 年发生故障,导致 2003 年以后获取的影像无法正常使用,因此我们对 2004 年的数据需要使用 SLC-OFF 模型校正^[20]。分别对 5 期遥感进行大气校正操作,经过 5,4,3 波段组合后裁剪出 5 期遥感数据。

1.3 分析方法

1.3.1 像元二分模型 像元二分模型是基于线性混合像元分解模型中估算植被覆盖度简单实用的模型^[21]。其原理是假设遥感影像的每个像元只有绿色植被和裸土两种地表覆盖组成,则通过遥感传感器所观测到的每个像元的光谱信息 S_{SUM} 就可以通过绿色植被所贡献的信息 S_{VEG} 与裸土覆盖所贡献的信息 S_{SOIL} 两部分构成。将 S_{SUM} 线性分解为 S_{VEG} 和 S_{SOIL} 两部分:

$$S_{SUM} = S_{VEG} + S_{SOIL} \quad (1)$$

式中: S_{VEG} 和 S_{SOIL} 都是像元二分模型的参数,实际上表达了遥感信息与植被覆盖度之间的关系,将 NDVI 同像元二分模型相结合,得到:

$$F_C = (N_{NDVI} - N_{NDVISoil}) / (N_{NDVIveg} - N_{NDVISoil}) \quad (2)$$

式中: F_C 为一个像元内的植被覆盖度; N_{NDVI} 为该像元上的归一化植被指数; $N_{NDVIveg}$ 为影像上植被对应的 NDVI 值; $N_{NDVISoil}$ 为影像上裸土对应的 NDVI 值。

参照陈云浩等^[22]对植被覆盖等级划分及植被类型界定,对官渡河流域植被覆盖度植被覆盖等级进行划分。

1.3.2 变化斜率法 利用变化斜率法^[23]对官渡河流域 1990—2010 年植被覆盖度趋势变化进行分析,计算公式为:

$$VFC_{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times VFC_i - (\sum_{i=1}^n i) (\sum_{i=1}^n VFC_i)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}$$

植被覆盖变化程度划分标准^[24]及变化程度状况见表 1。

表 1 植被覆盖变化程度划分标准及变化程度状况

VFCslope 范围	变化程度	所占 面积/km ²	所占 百分比/%
$-0.38772 < \text{slope} < -0.107204$	严重退化	268.48	0.09
$-0.107204 \leq \text{slope} < -0.0412$	中度退化	1024.72	0.36
$-0.0412 \leq \text{slope} < -0.010555$	轻微退化	27396.04	9.54
$-0.010555 \leq \text{slope} < 0.003588$	基本不变	117280.98	40.85
$0.003588 \leq \text{slope} < 0.022447$	轻微改善	86918.68	30.27
$0.022447 \leq \text{slope} < 0.050734$	中度改善	40474.94	14.10
$0.050734 \leq \text{slope} < 0.213386$	明显改善	13736.17	4.78

1.3.3 地形、地貌因子的提取与分级 基于官渡河流域 30 m 分辨率的 DEM 数据,利用 ArcGIS 10.2 提取地形因子并进行子流域的划分与构建。高程是影响植被分布的另一个重要因素,受垂直地带性影响,山地中在一定高程范围内,随着海拔升高,相应的温度和湿度相应增加,由于海拔变化,不同海拔土壤理化性质也会相应发生变化^[25]。汉江流域高程 200 m 以下垂直地带性受人为因素影响较大,本研究区最低高程为 277 m,参照张静等^[26]对南水北调中线水源区高程因子划分,本文以 151 m 为间隔将官渡河流域划分 18 个高程带;依据水土流失调查常用的 8°法作为区别斜坡和缓坡的界限的依据^[27],将坡度划分为 6 个等级;以 22.5°为步长提取坡向因子。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖随坡度变化特征分析

利用重分类后的坡度栅格图分别与 1990—2010 年不同年份的植被覆盖度栅格图进行叠加分析操作,并分区统计得到不同时期植被覆盖度在坡度上的变化趋势如图 1 所示:

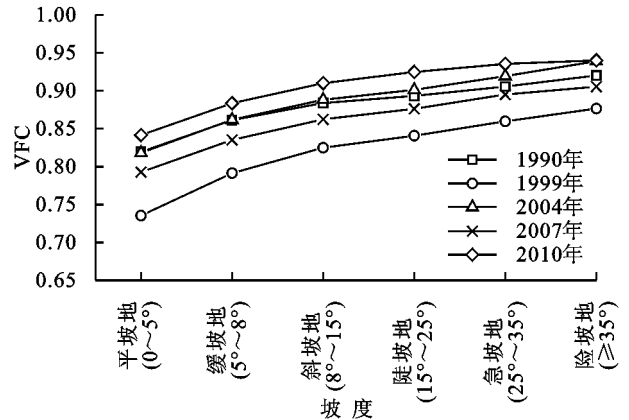


图 1 植被覆盖度在坡度上变化趋势

从图 1 中可以看出,随着坡度增加,植被覆盖度也不断增加。平坡地植被覆盖度最低,植被覆盖度 5 期均值约为 88.07%;植被覆盖度最高的为险坡地,植被覆盖度 5 期均值约为 90.60%。坡度范围在 0°~

15°范围内随着坡度的增加植被覆盖度变化量增大,说明平坡地、缓坡地、斜坡地植被覆盖度受坡度影响较大;斜坡地至陡坡地之间和陡坡地至急坡地之间变化量较少,明显看出陡坡地即坡度范围在 15°~25°为明显的分界线,坡度范围在 15°~25°以下的区域植被覆盖度受坡度影响比较明显,坡度范围在 15°~25°以上的区域植被覆盖度受坡度影响相对比较小。

将植被覆盖变化趋势斜率图和坡度等级栅格图进行叠加分析,并分区统计植被覆盖斜率在不同坡度上变化状况(图 2)。

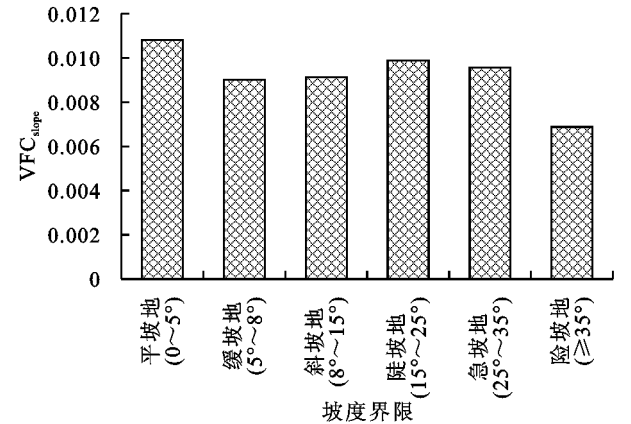


图 2 植被覆盖度变化斜率在坡度上变化趋势

从图 2 可以看出:总体上植被覆盖变化趋势(斜率平均值)随着坡度的增大呈现先降低后升高,随后逐渐降低的趋势。植被覆盖斜率变化趋势最明显的为平坡地(0°~5°),斜率平均值为 0.010 8。其次是陡坡地(15°~25°),斜率平均值为 0.009 0,小于 25°坡度变化趋势明显,险坡地(>35°)植被覆盖变化趋势减弱。

2.2 植被覆盖随坡向变化特征分析

将得到的官渡河流域坡向分布栅格图和不同时期植被覆盖度栅格图进行叠加,并分区统计出不同时期官渡河流域植被覆盖度在不同坡向上变化的趋势如图 3 所示。平面植被覆盖度最低,阳坡植被覆盖度最高,半阴坡和半阳坡植被覆盖度相当。说明官渡河流域植被覆盖度变化受坡向影响明显。

将植被覆盖变化趋势斜率图和不同坡向等级栅格图进行叠加,并统计不同坡度上植被覆盖斜率变化如图 4 所示。向阳的坡向植被覆盖斜率变化趋势相对较高,背阳的坡向植被覆盖斜率变化趋势相对较低。阳坡植被覆盖斜率变化趋势最高,变化斜率为 0.010 2,半阳坡次之,变化斜率为 0.009 5。半阴坡变化斜率为 0.007 5,阴坡的变化斜率为 0.006 6。

2.3 植被覆盖随高程变化特征分析

按照 151 m 为间隔,将官渡河流域重分类为 18

个高程带,得到高程带栅格图。通过高程带栅格图与不同时期植被覆盖度栅格图进行叠加统计分析,得到不同时期植被覆盖变化随高程变化特征如图 5 所示。

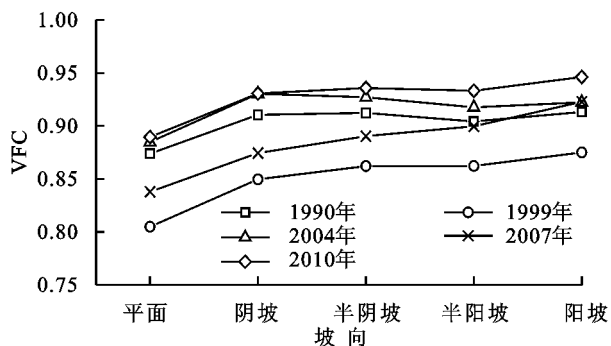


图 3 植被覆盖度在坡向上变化趋势

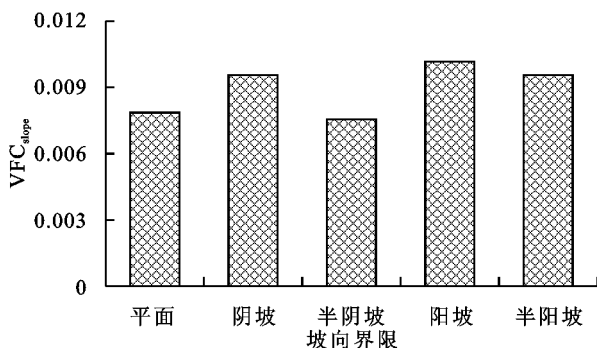


图 4 植被覆盖度变化斜率在坡向上变化趋势

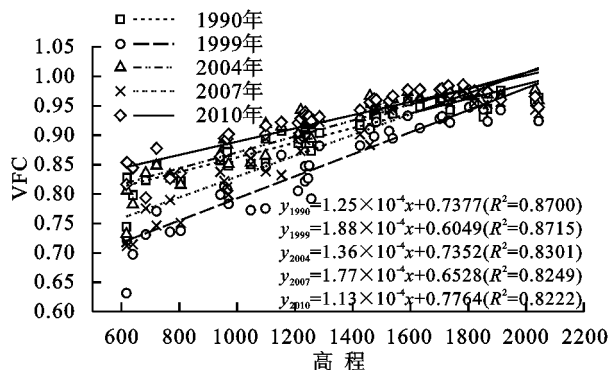


图 5 植被覆盖度在高程上变化趋势

从图 5 可以看出,不同时期植被覆盖度与高程相关性系数 R^2 分别为 0.870 0, 0.871 5, 0.830 1, 0.824 9, 0.822 2, 相关性较强。不同时期植被覆盖度随着高程的增加均呈现先增加后减少的趋势。277~500 m 高程带植被覆盖度最低, 1 771~1 887 m 高程带植被覆盖度最高, 超过 1 771~1 887 m 后随着高程的增加, 植被覆盖度逐渐减少。

将植被覆盖斜率图同高程带栅格图进行叠加分析,并分区统计出结果,得到植被覆盖斜率在不同高程带上变化趋势如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,随着高程的增加,植被覆盖度变化斜率呈现先增加,再减少的趋势。当高程带在 782~905 m 的时候,植被覆盖变化趋势达到最大值,

斜率为 0.012 6,随后植被覆盖斜率随着高程的增加不断降低,1 887~2 016 m 高程带为转折点,高程带在 1 887~2 016 m 时,植被覆盖变化斜率为 0.003 3,高程带介于 1 887~2 016 m 和 2 166~2 342 m 之间,植被覆盖斜率随着高程的增加而增加。从变化量上看,当高程超过 1 350~1 455 m 时,植被覆盖变化斜率幅度较大。

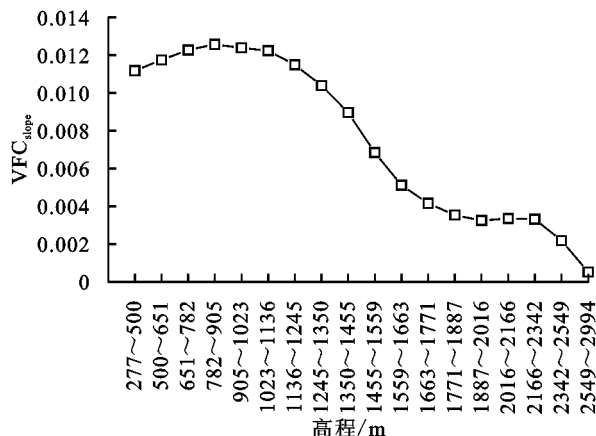


图 6 植被覆盖度变化斜率在高程上变化趋势

2.4 植被覆盖随地质变化特征分析

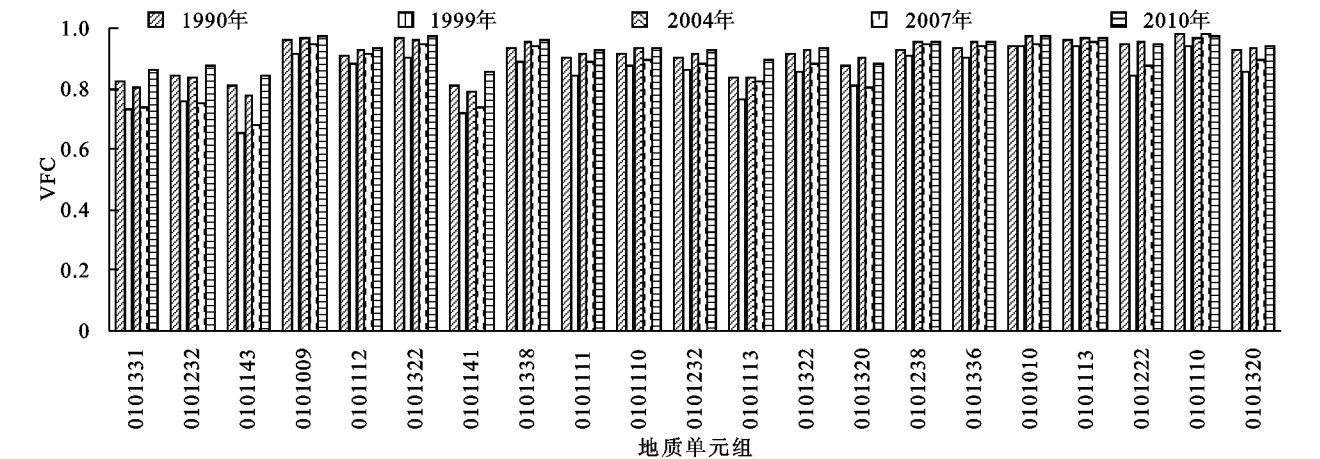
按照地质属性将官渡河流域地质划分为 21 个地质组,然后将不同时期植被覆盖度栅格图同地质图进行叠加分析,并分区统计出不同地质条件下植被覆盖度情况如图 7 所示。不同地质单元组植被覆盖变化各不相同。植被覆盖度在 0101143 植被覆盖度值最低,明显低于其其他地质组,该组地质特征为下组为变质陆源碎屑岩及变基性火山岩,中组为板岩、千枚岩、含碳白云岩、灰岩、硅质岩,上组为厚层碳酸盐岩;植被覆盖度在 0101110 植被覆盖度值最高,该单元组地质特征为以生物屑灰岩、灰岩、泥质瘤状灰岩、鲕状灰岩、泥灰岩等夹页岩等为主。说明植被受地质构造影响比较明显。

将地质图同植被覆盖斜率栅格图进行叠加分析,并分区统计出不同地质单元组植被覆盖斜率变化如图 8 所示。植被受地质构造影响明显,不同地质单元组植被覆盖斜率变化各异。在 0101113 地质组植被覆盖斜率变化值最高,为 0.017 0,该组地质特征下部为变质陆源碎屑岩,底部含砾石或砾岩,上部为变质基性火山岩。在 0101320 组植被变化斜率最低,为 0.000 1。

2.5 不同流域植被覆盖变化特征分析

本文依据官渡河实际情况结合大量试验,将官渡河流域划分为 43 个子流域,并结合地质、DEM 等信息,把官渡河流域划分上、中、下游 3 级河段,将 1990—2010 年植被覆盖图与子流域图进行空间分析,计算得出不同子流域及其植被覆盖度变化状况如图 9 所示,植被覆盖度在不同河段呈现明显的规律

性,上游植被覆盖度相对较高,中游次之,下游植被覆盖度相对较低。



注:0101331(梅子垭组),0101232 竹溪组、0101143(江西沟组、霍河组、耀岭河组),010100(武当山(岩)群变火山碎屑—沉积岩组),0101112(江西沟组、霍河组),0101322(梁山组、吴家坪组),0101141(杨家堡组、竹山组),0101338(鲁家坪组、箭竹坝组),0101111(杨柳岗组、华严寺组)0101110(南津关组、红花园组),0101232(纱帽组、罗惹坪组、新滩组),0101113(耀岭河组),0101322(梁山组、瓦房湾大水沟组),0101320(周冲村组、青龙组),0101238(牛蹄塘组、石碑组),0101336(覃家庙组、娄山关组),0101010(台子组、矿石山组),0101113(莲沱组、南沱组),0101222(扬子西南缘峨眉山玄武岩组、宣威组黑泥哨组),0101110(宝塔组、黄泥岗组、龙马溪组),0101320(大冶组、雷口坡组、巴东组)。

图 7 不同地质条件下植被覆盖度在坡向上变化趋势

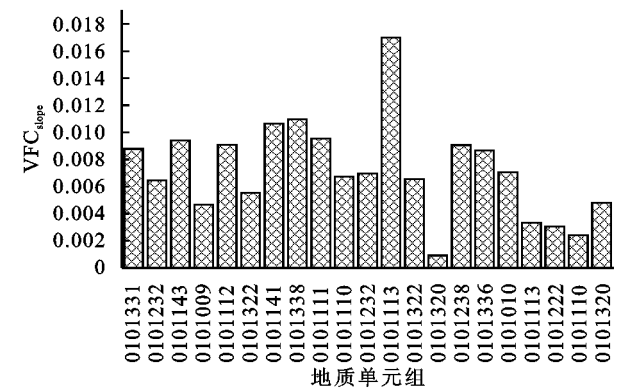


图 8 不同地质条件下植被覆盖度变化斜率在坡向上变化趋势
将子流域栅格图同植被覆盖变化斜率图叠加,并分



图 9 子流域植被覆盖度状况

表 2 不同河段 VFC_slope

河段	变化程度	严重退化	中度退化	轻微退化	基本不变	轻微改善	中度改善	明显改善
上游	面积/km ²	1.95	4.13	21.34	551.89	432.49	135.79	43.58
	比例/%	0.16	0.35	1.79	46.33	36.31	11.4	3.66
中游	面积/km ²	0.41	3.54	99.58	436.09	316.07	183.21	62.97
	比例/%	0.04	0.32	9.04	39.58	28.68	16.63	5.71
下游	面积/km ²	0.21	2.52	151.46	180.36	117.5	85.15	30.65
	比例/%	0.04	0.44	26.67	31.76	20.69	14.99	5.4
总流域	面积/km ²	2.68	10.25	273.96	1172.81	869.19	404.75	137.36
	比例/%	0.09	0.36	9.54	40.85	30.27	14.1	4.78

从表 2 可以看出,官渡河流域上游河段退化区域面积为 27.42 km²,约占官渡河上游河段的 2.30%。约有 46.33%的区域保持基本不变,共有 611.85 km²区域植被盖度发生改善,约占官渡河上游河段面积的 51.37%。官渡河流域中游河段退化区域面积为 103.53 km²,约占官渡河中游河段的 9.40%,约有

39.58%的区域保持基本不变,共有 562.26 km²区域植被盖度发生改善,约占官渡河中游河段面积的 51.03%。官渡河流域下游河段退化区域面积为 154.20 km²,约占官渡河中游河段的 27.15%,约有 31.76%的区域保持基本不变,共有 233.30 km²区域植被盖度发生改善,约占官渡河下游河段面积的

41.08%。官渡河流域退化区域面积为 285.15 km², 约占官渡河流域总面积的 10%, 约有 40.85% 的区域保持基本不变, 共有 1 407.42 km² 区域植被盖度发生改善, 约官渡河流域总面积 49.15%。

官渡河流域不同河段, 植被覆盖变化趋势显著, 不同河段由于地形地势等原因, 趋势变化各异, 但总体上按河流上、中、下游植被覆盖呈现逐渐退化的趋势, 本文认为, 受地形地势影响, 水流上游河段受人类活动影响比较小, 下游河段受人类影响比较显著。该流域 20 a 来植被覆盖呈明显的改善趋势。

3 讨论

坡度影响土壤水分和土壤肥力, 从而影响植被覆盖变化^[14]。根据退耕还林(草)政策的相关规定, 坡度范围在 15°和 25°的区域, 有选择的执行退耕还林(草), 大于 25°的区域必须执行退耕还林(草)政策。根据本文研究, 官渡河流域大于 25°的区域约有 76.38%, 比重较大, 执行效果较好; 官渡河流域整体海拔较高, 不同坡向水热条件也有显著差异。此外人类活动多集中在向阳区域。由于阳坡水热条件、太阳辐射、日照时数等均大于同区域其他坡向, 所以同区域不同时期阳坡区域植被覆盖度最高, 植被覆盖斜率变化趋势也最为明显; 不同海拔高度范围内水热条件、土壤性质、相对湿度等存在明显差异。随着海拔增加, 温度、降雨、土壤肥沃程度随之而降低, 植被生长受到影响, 从而植被覆盖度呈逐渐降低的趋势。此外, 海拔较低的地方, 地势往往相对平坦, 官渡河流域受地形地貌条件影响, 耕地相对较少, 所在区域经济水平相对落后, 不合理的人类活动严重影响到植被覆盖变化; 官渡河流域地质情况复杂, 不同地质单元组由于成土母质不同, 容易受环境影响发生风化和化学变化, 所以该流域植被覆盖变化差异较大。

4 结论

(1) 植被覆盖度在不同河段呈现明显的规律性, 上游植被覆盖度相对较高, 中游次之, 下游植被覆盖度相对较低。

(2) 植被覆盖变化受地形因子影响比较明显, 且与不同地形因子响应程度不同, 对同时期植被覆盖度, 高程和坡度对其影响明显高于坡向。坡度上: 随着坡度的不断增加, 植被覆盖度也随着增大; 坡向上: 整体上向阳区植被覆盖度要大于同区域的背阳区; 高程上: 官渡河流域不同时期植被覆盖度随着高程的增

加均出现先增加后减少的趋势。

(3) 不同地质单元组植被覆盖变化各不相同。

参考文献:

- [1] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系: 基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报, 1998(3): 204-210.
- [2] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction[J]. Remote Sens Environ, 2002, 80(1): 76-87.
- [3] 蔡朝朝, 安沙舟, 蒲智, 等. 基于 TM NDVI 的库尔勒市域植被覆盖动态变化[J]. 草业科学, 2015, 32(7): 1069-1078.
- [4] Fu B, Burgher I. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. Journal of Arid Environment[J]. Journal of Arid Environments, 2015, 113: 59-68.
- [5] Johansen B, Tømmervik H. The relationship between phytomass, NDVI and vegetation communities on Svalbard[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 27(Part A): 20-30.
- [6] Kong D, Zhang Q, Singh V P, et al. Seasonal vegetation response to climate change in the Northern Hemisphere(1982—2013)[J]. Global and Planetary Change, 2017, 148: 1-8.
- [7] Posse G, Cingolani A M. Environmental controls of NDVI and sheep production in the Tierra del Fuego steppe of Argentina[J]. Applied Vegetation Science, 2000, 32: 253-260.
- [8] 张含玉, 方怒放, 史志华. 黄土高原植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应[J]. 生态学报, 2016, 36(13): 3960-3968.
- [9] 何月, 樊高峰, 张小伟, 等. 浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应[J]. 生态学报, 2012, 32(14): 4352-4362.
- [10] 姚晨, 黄微, 李先华. 地形复杂区域的典型植被指数评估[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(4): 496-501.
- [11] 芮孝芳, 蒋成煜. 流域水文与地貌特征关系研究的回顾与展望[J]. 水科学进展, 2010, 21(4): 444-449.
- [12] Ostendorf B, Reynolds J F. A model of arctic tundra vegetation derived from topographic gradientss [J]. Landscape Ecology, 1998, 13(3): 187-201.
- [13] Herzog F, Lausch A, Eckhard M L, et al. Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation [J]. Environmental Management, 2001, 27(1): 91-107.
- [14] 程圣东, 李占斌, 鲁克新, 等. 文安驿流域植被覆盖度时空分异及其与地貌因子关系研究[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(2): 145-150.

- [10] Stanley A C, Misganaw D. Detection of changes in stream-flow and floods resulting from climate fluctuations and land use-drainage changes[J]. *Climatic Change*, 1996, 32: 411-421.
- [11] Reshmidevi T V, Jana R, Eldho T I. Geospatial estimation of soil moisture in rain-fed paddy fields using SCS-CN-based model[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(4): 447-457.
- [12] 史培军, 袁艺, 陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. *生态学报*, 2001, 21(7): 1041-1049.
- [13] 郭宗锋, 马友鑫, 李红梅, 等. 流域土地利用变化对径流的影响[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(5): 139-142.
- [14] 陶艳成, 华璿, 卢远, 等. 钦江流域土地利用变化对径流的影响[J]. *中国水土保持*, 2013(6): 34-38.
- [15] Fu S H, Zhang G H, Wang L, et al. Initial abstraction ratio in the SCS-CN method in the loess plateau of China[J]. *Transactions of the Asabe*, 2011, 54(1): 163-169.
- [16] 刘丰, 刘静玲, 张婷, 等. 白洋淀近 20 年土地利用变化及其对水质的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(10): 1868-1875.
- [17] 赵鹏, 夏北成, 秦建桥, 等. 流域景观格局与河流水质的多变量相关分析[J]. *生态学报*, 2012, 32(8): 2331-2341.
- [18] Langroodi S H M, Masoum M G, Nasiri H, et al. Spatial and temporal variability analysis of groundwater quantity to land-use/land-cover change in the Khanmir-za agricultural plain in Iran[J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2015, 8(10): 8385-8397.
- [19] 项颂, 庞燕, 窦嘉顺, 等. 不同时空尺度下土地利用对洱海入湖河流水质的影响[J]. *生态学报*, 2018, 38(3): 876-885.
- [20] 徐苏, 张永勇, 窦明, 等. 长江流域土地利用时空变化特征及其径流效应[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(4): 426-436.
- [21] 张改英. 基于 SCS-CN 方法的水文过程计算模型研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2014.
- [22] 李润奎, 朱阿兴, 陈腊娇, 等. SCS-CN 模型中土壤参数的作用机制研究[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(10): 1778-1787.
- [23] 徐刘凯, 王全金, 向速林. 应用 SCS 模型模拟清丰水流域产汇流量[J]. *华东交通大学学报*, 2011, 28(4): 84-88.
- [24] USDA. SCS National Engineering Handbook[M]. Washington: US. Government Print Office, 1972.
- [25] 马亚鑫, 周维博, 宋扬. 西安市主城区土地利用变化及其对地表径流的影响[J]. *南水北调与水利科技*, 2016, 14(5): 49-54, 90.
- [26] 张菲菲. 松花江流域哈尔滨段土地利用变化及其对地表径流影响的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2016.
- [27] 杨星明. 基于 SCS 模型的小流域降雨径流估算及实例分析[J]. *水资源研究*, 2016, 5(2): 162-166.
- [28] 曹言, 柴素盈, 王杰, 等. 昆明市主城区土地利用变化对地表径流的影响[J]. *水电能源科学*, 2018, 36(8): 22-25, 38.

~~~~~

(上接第 140 页)

- [15] 李斌斌, 李占斌, 宇涛, 等. 基于归一化植被指数的流域植被覆盖分形维数研究[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(15): 239-247.
- [16] 李薇, 谈明洪. 太行山区不同坡度 NDVI 变化趋势差异分析[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(4): 509-519.
- [17] 吴志杰, 何国金, 黄绍霖, 等. 南方丘陵区植被覆盖度遥感估算的地形效应评估[J]. *遥感学报*, 2017, 21(1): 159-167.
- [18] 崔英, 何意, 计强, 等. 南水北调中线水源地堵河流域降水变化分析[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(14): 2657-2660.
- [19] 姚道强, 任玮颖, 徐茂玲. 堵河流域致洪暴雨气候特征分析[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(18): 9623-9626.
- [20] 朱长明, 沈占锋, 骆剑承, 等. 基于 MODIS 数据的 Landsat-7 SLC-off 影像修复方法研究[J]. *测绘学报*, 2010, 39(3): 251-256.
- [21] 马娜, 胡云锋, 庄大方, 等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. *地理科学*, 2012, 32(2): 251-256.
- [22] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 等. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. *植物生态学报*, 2001(5): 588-593.
- [23] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79(2): 213-224.
- [24] 马明国, 董立新, 王雪梅. 过去 21a 中国西北植被覆盖动态监测与模拟[J]. *冰川冻土*, 2003(2): 232-236.
- [25] 王毅, 郭跃. 喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系分析: 以贵州普定县为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(1): 157D167.
- [26] 张静, 任志远. 汉江流域植被净初级生产力时空格局及成因[J]. *生态学报*, 2016, 36(23): 7667-7677.
- [27] 张方方, 齐述华, 舒晓波, 廖富强. 南方山地丘陵土地利用类型的地形影响 GIS 分析: 以江西省为例[J]. *地球信息科学学报*, 2010, 12(6): 784-790.