

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20220534

挠力河湿地植被覆盖度对水文要素的响应

王 熙, 刘建卫, 王梓云

(大连理工大学水利工程学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 挠力河国家级自然保护区位于黑龙江三江平原腹地, 是我国重要的生态功能区。基于遥感影像数据与保护区水文数据, 通过像元二分法反演区域植被覆盖度, 分析 1984~2021 年挠力河保护区植被覆盖度的时空分布特征, 研究降水量与保护区淹水频率对于植被覆盖度的影响。结果表明, 1984~2021 年挠力河湿地低、中植被覆盖度地区呈先增后减趋势, 中高植被覆盖度地区则反之。从保护区多年逐月降水与每年各月植被覆盖度的相关系数来看, 挠力河保护区内植被生长情况整体受降水量影响较大, 呈正相关, 且植被覆盖度对降水量的响应为滞后约 1 个月。湿地淹水频率在 0.45~0.50 之间时, 湿地植被长势良好。研究成果可为挠力河湿地生态保护提供参考。

关键词: 挠力河保护区; 植被覆盖度; 水文要素; NDVI

中图分类号: TV12; X143

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)01-0018-04

1 概况

黑龙江挠力河国家级自然保护区(图 1)位于三江平原腹地, 地处宝清、饶河、抚远和富锦三县一市行政区域内的红兴隆和建三江 2 个农垦管理局境内。东临乌苏里江, 西至七星河自然保护区, 南到 597、852、853、红旗岭、饶河五个农场, 北接胜利、大兴、七星、创业、红卫、859 等农场。保护区总面积为 160 601 hm^2 , 其中核心区面积为 37 047 hm^2 , 缓冲区面积为 53 128 hm^2 , 试验区面积为 70 426 hm^2 ^[1]。挠力河保护区属典型的湿润型大陆性季风气候, 四季分明。降水主要集中在

在 5~9 月, 约为 420 mm, 约占全年降水的 78%。保护区内沼泽连片, 芦苇、苔草、动物资源丰富, 共有植物 1 047 余种, 其中, 国家级珍稀濒危保护植物 14 种, 省级保护植物 12 种。挠力河保护区也是重要的珍稀水禽的“中转站”, 保护区内分布的大量草甸、沼泽和水生植被等资源为东方白鹤、丹顶鹤等珍稀水禽提供了栖息地^[2]。然而近几十年来, 三江平原经历了多次大小规模的开垦及周边水利工程的建设, 湿地来水总量逐渐被压缩, 导致湿地出现水资源匮乏、水位下降、湿地面积萎缩、物种多样性降低、水质恶化、生态系统遭破坏等一系列问题。研究湿地植被生长情况对湿地水文要素的响应对于维持湿地生态系统稳定有重要意义^[3]。但现有研究选取的水文气候因子主要为降水和气温, 关于湿地植被的淹水情况研究较少。因此, 本文基于 1984~2021 年长系列挠力河保护区归一化植被指数 N_{NDVI} 数据, 反演区域植被覆盖度, 统计不同等级的植被覆盖度的时空分布规律, 并与降水和淹水频率建立联系, 从而分析降水、淹水频率对于植被覆盖度的分布影响规律, 以期挠力河湿地生态恢复提供依据。

2 数据与方法



图 1 研究区概况图

Fig. 1 Overview map of the study area

收稿日期: 2022-03-21, 修回日期: 2022-04-25

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0400903); 国家自然科学基金项目(51679026)

作者简介: 王熙(1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水文学与水资源, E-mail: wangxi1995@mail.dlut.edu.cn

通讯作者: 刘建卫(1978-), 男, 博士、副教授, 研究方向为水文水资源, E-mail: jwliu@dlut.edu.cn

2.1 资料数据

N_{NDVI} 数据源于 Landsat 卫星遥感数据,通过 USGS 下载 1984~2021 年共 38 年的 Landsat 卫星遥感数据,经过辐射定标、大气校正、几何校正后,对 N_{NDVI} 进行提取计算,将每年收集到的图像进行 N_{NDVI} 计算后进行叠加计算出每年区域内 N_{NDVI} 最大值,形成每年一张的 $N_{\text{NDVI}_{\text{max}}}$ 影像,共 38 张。 N_{NDVI} 的计算公式为:

$$N_{\text{NDVI}} = (N_{\text{IR}} - R) / (N_{\text{IR}} + R) \quad (1)$$

式中, N_{IR} 、 R 分别为遥感影像的近红外和红色波段光谱反射率。

1984~2021 年的水文气象数据源于保护区内 2 个重要水文站—宝清、菜嘴子水文站。

2.2 研究方法

2.2.1 淹水频率计算

基于计算出的 N_{NDVI} , 设置阈值将图像二值化, 提取出每期挠力河湿地的淹水范围; 将每年 23 期的 landsat 卫星遥感数据进行淹水范围图像叠加, 最终得到 1984~2021 年各年份的淹水频次空间分布。淹水频率计算公式为:

$$W_j = 1 / \sum_{i=1}^{23} w_i \quad i = 1, 2, \dots, 23$$

$$j = 1984, 1985, \dots, 2021 \text{ 年} \quad (2)$$

式中, W_j 为 j 年的淹水频率; w_i 为每年内第 i 期影像。

2.2.2 皮尔逊相关性分析

为研究降水对挠力河湿地内植被覆盖度的影响, 采用皮尔逊(Pearson)相关系数对研究区域多年平均月植被覆盖度与月降水量进行相关性分析^[4], 并计算其相关系数 r :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

式中, x_i 、 y_i 分别为 i 月植被覆盖度、降水量; \bar{x} 、 \bar{y} 分别为植被覆盖度、降水量的平均数。

对于两个变量在 95% 置信区间内相关性是否显著进行检验, 显著性小于 0.05 则为显著相关。

3 结果与分析

3.1 挠力河湿地 NDVI 年内变化特征

通过图 2 所示挠力河湿地多年平均 N_{NDVI} 情况可以看出, 湿地多年平均 N_{NDVI} 从 3 月开始持续增长, 在 7 月达到峰值, 研究区域 7 月多年平均为 0.75, 并于 7 月之后开始逐渐下降, 在冰封期

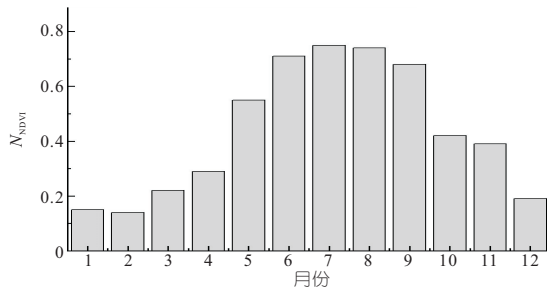


图 2 挠力河保护区 N_{NDVI} 年内变化

Fig. 2 N_{NDVI} changes in Naoli river reserve during the year

的 12、1、2 月达到全年低值, 分别为 0.19、0.15、0.14。研究区主要优势植物为小叶章与芦苇, 小叶章在每年 4 月上中旬开始萌发, 于 5 月下旬至 6 月上旬茂盛生长, 6 月中下旬生长繁实, 8 月下旬至 9 月上、中旬形成越冬草地上部枯萎。小叶章的生长特点与研究所发现的保护区 N_{NDVI} 年内变化规律基本相同。芦苇作为挠力河湿地第二大优势植被, 其在 4~6 月出芽, 7~8 月开花, 在冰封期进行收割的生长习性也与研究显示的 N_{NDVI} 年内变化规律一致。

3.2 植被覆盖度时空变化特征

采用生长季平均 N_{NDVI} 代表研究区域当年的植被覆盖情况, 分析植被覆盖年际变化趋势^[5]。图 3 为挠力河湿地生长季 N_{NDVI} 均值年际变化趋势。由图 3 可知, 38 年间挠力河湿地植被生长季 N_{NDVI} 最大值在 1995 年, 为 0.62; 最小值在 2003 年, 为 0.21; 在 2003 年之前, 湿地整体植被覆盖度呈下降趋势, 并在 2003 年达到最小值, 但在 2002 年国务院批准成立黑龙江挠力河国家级自然保护区后, 湿地植被覆盖度年际呈上升趋势, 并于 2020 年附近达到 1980 年代比较良好的植被生长状态, 说明挠力河湿地在保护区成立后湿地整体生态环境质量得到改善。

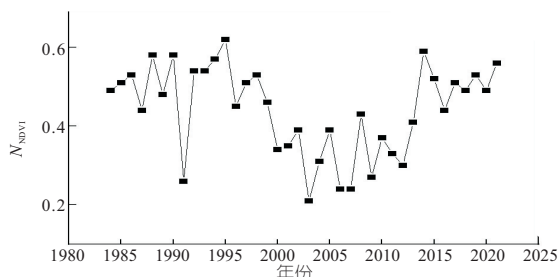


图 3 挠力河保护区 N_{NDVI} 年际变化

Fig. 3 Interannual variation of the N_{NDVI} in the Naoli river

根据像元二分法反演研究区内各像元 N_{NDVI} 后, 为便于统计分析, 将植被覆盖度分为 5 个等级, N_{NDVI} 在 0~0.1 为极低覆盖度; 0.1~0.3 为低覆盖度; 0.3~0.5 为中等覆盖度; 0.5~0.7 为中高覆盖度; 0.7~1.0 为高覆盖度。挠力河湿地

各级 N_{NDVI} 占比见图 4。由图 4 可知,1988~2003 年,研究区内低、中植被覆盖度地区呈上升趋势,在 2004 年达到 82.3%;2004~2012 年在 60%附近波动后有小幅增长趋势,于 2012 年达到 89.4%后开始下降,并在 2019、2020、2021 年连续三年降至 50%以下。研究区中高覆盖度地区在 1995 年以前呈整体增加趋势,并于 1996~1999 年出现四年小幅下降,但也远超多年平均水平,说明 1990 年代挠力河湿地整体植被生长水平良好。2000 年后的 13 年内,研究区中高覆盖度呈大幅下降趋势,13 年平均为 13.1%,植被生长水平达到 38 年最低,这与气候及人为破坏有关。2013 年至今湿地中高覆盖区呈逐年增加趋势,并于 2019、2020、2021 年三年分别达到 47.9%、49.8%、44.5%。挠力河湿地的高覆盖度地区面积占比较小,最高仅为 2014 年的 26.3%。且在 2000~2012 年 13 年间无高覆盖地区,区域高覆盖地区空间分布表明,高覆盖度地区主要集中在湿地北方地区,该区域地处别拉洪河上游段及外七星河入湿地地区,此处“三河交汇”加之周围灌区退水影响,使得该地区水资源丰富,常年有较高的植被生长水平。而植被覆盖度较低区域位于湿地中部,该区优势植被为苔草与小叶章,主要为挠力河下游补给,相对于其他地域水资源匮乏。

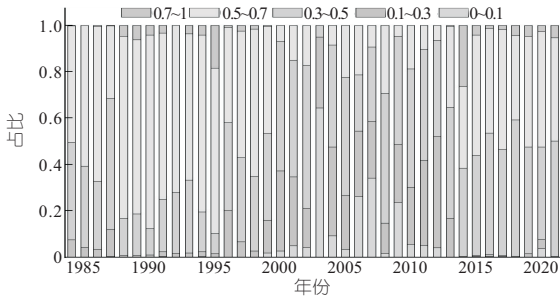


图 4 挠力河湿地各级 N_{NDVI} 占比

Fig. 4 Proportion of N_{NDVI} at all levels of the Naoli river wetland

3.3 湿地降水变化对植被覆盖度的影响

因植被覆盖度对区域水文条件的响应具有一定滞后性,故对挠力河保护区 1984~2020 年月植被覆盖度平均值与各年月降水量进行相关性分析,计算植被生长季逐月植被覆盖度与当月和前几月降水的相关系数,从而探讨月降水量对于保护区植被生长情况的滞后时间,见表 1。

根据保护区多年逐月降水与年内各月植被覆盖度的相关系数可知,保护区内每年 6、8、10 月植被与前一个月降水量呈显著正相关,其中 8、10 月呈极显著正相关,而 7 月植被与当月降水量呈显著正相关,挠力河保护区植被整体受前 1 个月降水影响较大。

表 1 月植被覆盖度与降水的 Pearson 相关系数

Tab. 1 Correlation between monthly vegetation coverage and Pearson precipitation

降水	植被覆盖度					
	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
当月	0.033	0.202	0.601*	-0.015	0.337	0.426
前 1 月	0.124	0.571*	0.414	0.689**	0.217	0.824**
前 2 月	0.314	0.086	-0.034	0.403	0.477	-0.103
前 3 月	-0.228	-0.201	0.003	-0.110	0.087	-0.101

注:* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关;** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3.4 湿地淹水频率对植被覆盖度的影响

挠力河湿地不同水文条件下的植物群落分布范围有所差异,湿地植物群落的生长主要受水文过程制约,为进一步研究水文特征对湿地植物生长的影响,将 1984~2021 年间每年 23 幅 landsat 遥感影像进行水体提取,叠加统计,整理出每年一幅的淹水频率图。淹水特征对植被生长的影响有一定滞后性,主要影响下一年的植被生长情况,故将每年的植被覆盖度分布图与前一年的淹水频次图建立联系,得到多年年均淹水频率与 N_{NDVI} 的关系曲线。

由图 5 可知,挠力河湿地植被生长情况与湿地淹水特征密切相关,淹水时长与淹水深度也是湿地植被演变过程中最主要的影响因子。淹水频率小于 0.45 时,地表植被覆盖度与淹水频率呈明显正相关,随着淹水频率增加,以小叶章、苔草、芦苇为优势物种的湿地植被得到较好的生长环境;但随着淹水时长的增加,土壤水分过多,时间过长导致土壤缺氧,夏季温度过高还会导致植被被根系发育不良,重则导致种子腐烂等,进而对湿地植被的生长有一定抑制作用,对植被生长不利。

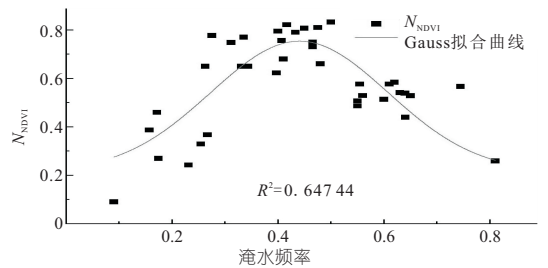


图 5 N_{NDVI} 与淹水频率相关性

Fig. 5 Correlation between N_{NDVI} and flooding frequency

4 结论

a. 1984~2021 年挠力河湿地中高植被覆盖度地区占比在 1984~2003 年期间大幅度减少,在保护区成立之后,近年呈增加趋势,并于 2019、2020、2021 年达到 47.9%、49.8%、44.5%。

b. 降水与淹水频率对湿地植被生长影响较大,植被覆盖度对降水量的响应为整体正相关,且响应效应滞后约 1 个月。湿地年淹水频率在 0.45 左右时,湿地植被长势最好。

参考文献:

- [1] 程锐. 三江湿地路基处理对环境影响的研究[R]. 哈尔滨:黑龙江省公路勘察设计院,2013.
- [2] 李菲菲,马社刚,李浩,等. 扎龙自然保护区丹顶鹤巢址景观连接度评价[J]. 野生动物学报,2018,39

(2):323-328.

- [3] 郑荣伟,程明翰,张航. 北部市 2005~2015 年植被覆盖变化对蒸散发量的影响[J]. 水电能源科学,2020,38(2):22-25.
- [4] 王伟泽,胡鹏,王建华,等. 扎龙湿地植被覆盖度及其分布结构对水文气象要素的响应[J]. 水生生态学杂志,2020,41(5):89-97.
- [5] 张博,陆垂裕,孙青言,等. 三江平原植被覆盖度对气候和土地利用变化的响应[J]. 水电能源科学,2017,35(8):18-22.

Response of Vegetation Cover to Hydrological Features in Naolihe Wetland

WANG Xi, LIU Jian-wei, WANG Zi-yun

(School of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract: Naolihe National Nature Reserve is located in the hinterland of Heilongjiang Sanjiang Plain and is an important ecological function area in China. Based on remote sensing image data and hydrological data of the protected area, this paper inversed the vegetation coverage by pixel dichotomy, analyzed the spatial and temporal distribution characteristics of vegetation coverage in Naolihe Nature Reserve from 1984 to 2021, and studied the influence of precipitation and flooding frequency on vegetation coverage. Studies have shown that from 1984 to 2021, the low and middle vegetation coverage areas of Naolihe wetland first increased and then decreased, while the middle and high vegetation coverage areas showed the opposite trend. From the correlation coefficient between annual monthly precipitation and monthly vegetation coverage, the vegetation growth in Naolihe Nature Reserve is greatly affected by precipitation, which is positively correlated, and the response of vegetation coverage to precipitation is about one month behind. When the frequency of wetland flooding is between 0.45 and 0.50, the wetland vegetation grows well. The research can provide reference for Nalihe wetland ecological protection.

Key words: Nalihe wetland; vegetation cover; hydrological features; NDVI

(上接第 25 页)

- [6] 周旭东,杨涛. 三种基流分割方法在黄河源区应用中的对比分析[J]. 水电能源科学,2014,32(10):18-21.
- [7] SUN W, SONG X, ZHANG Y, et al. Coal mining impacts on baseflow detected using paired watersheds[J]. Water resources research, 2020. Doi:10.1029/2019WR025770.

- [8] 徐磊磊,刘敬林. 水文过程的基流分割方法研究进展[J]. 应用生态学报,2011,22(11):3073-3080.
- [9] 钱云平,蒋秀华,金双彦,等. 黄河中游黄土高原区河川基流特点及变化分析[J]. 地球科学与环境学报,2004,26(2):88-91.
- [10] 山西省统计局. 山西能源经济 60 年[M]. 北京:中国统计出版社,2010:1-35.

Influence of Mining Disturbance on Baseflow Process in Small Watersheds of Loess Plateau

MA Rui^{1a}, SONG Xiao-yan^{1a,1b}, SUN Wen-yi², LEI Xiao-ping^{1a}, SONG Song-bai^{1a,1b}

(1a. College of Water Resources and Architectural Engineering; 1b. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation CAS & MWR, Yangling 712100, China)

Abstract: Analyzing the hydrological response of mining activities in the Loess Plateau will help to promote ecological protection and high-quality development in mining areas. This paper selected four typical small watersheds of Baima River, Songta River, Xinshui River and Zhouchuan River on the Loess Plateau, and conducted a study on the applicability of 8 base flow segmentation methods in the Loess Plateau. The difference of anomaly cumulative percentages (DACP) based on paired watersheds was employed to analyze the impact of mining disturbances on the base flow process in the basin. The results show that the Chapman-Maxwell filtering method and the Eckhardt filtering method have the best applicability in the typical small watersheds of the Loess Plateau, the segmented base flow is relatively stable, and the base flow hydrograph conforms to the precipitation and runoff mechanism and the water regression process of the watershed; The base flow of the four small watersheds showed significant downward trends from 1956 to 2012 as a whole; With the increase of mining disturbance intensity, the DACP index of base flow increased, and mining disturbance increased the base flow of the basin.

Key words: mining disturbance; paired watersheds; baseflow separation; Loess Plateau