

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2009.01.001

黑河下游地区地下水与植被生长的关系

金晓媚¹, 刘金韬²

(1. 中国地质大学水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 水利部水利水电规划设计总院, 北京 100011)

摘要 :借助遥感方法,结合地下水水位观测数据,在区域尺度上定量地研究了我国黑河下游额济纳地区地下水水位埋深及与植被生长的关系。结果表明:影响植被生长的临界地下水水位埋深为 4.0 m,适宜植被生长的地下水水位埋深范围约为 2.6 ~ 4.0 m,当地下水水位埋深为 2.8 m 左右时,植被长势最好。

关键词 :遥感;大尺度;植被指数;地下水水位埋深;额济纳绿洲

中图分类号 :P641 ;Q948 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2009)01-0001-04

Study on the relationship between groundwater and vegetation growth in lower Heihe River region//JIN Xiao-mei¹, LIU Jin-tao²(1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Water Resources and Hydropower Planning and Design General Institute, Beijing 100011, China)

Abstract :By combining the remote sensing method with groundwater observation data, the relationship between vegetation growth and groundwater depth in the Ejina area, which is located in the lower Heihe River basin, is studied. The results show that the appropriate groundwater depth for vegetation growth in this region is 2.6-4.0 meters, and the critical depth is 4 meters. The best vegetation growth occurs when the groundwater depth is about 2.8 meters.

Key words :remote sensing method; large scale; vegetation index; groundwater depth; Ejina Oasis

黑河是我国第二大内陆河,近几十年来黑河流域中游地区张掖绿洲面积不断扩大,用水量逐年增加,而在下游地区由于过度放牧和上中游来水量减少,使得下游额济纳绿洲面积不断减小,湖泊干涸,沙漠化严重,生态环境恶化^[1]。而在控制和维系绿洲生态状况的诸因素中,地下水的作用极为重要。因此,研究地下水与植被生长之间的定量关系,对改善黑河流域生态环境、协调用水矛盾和合理配置水资源具有重要的意义。

近年来,国内外一些学者研究了地下水与植被的相互作用关系。基于大量观测数据,Maitre 等^[2]较为细致地研究了植被变化对地下水补给的影响。在总结大量研究成果的基础上,Newman 等^[3]明确地指出:从大尺度上研究植被发育与地下水补给之间的关系是目前生态水文学所面临的六大科学挑战之一。针对西北干旱地区水资源开发对植被的影响,国内众多学者也研究了地下水与植被生长的关系。王根绪等^[4]采用绿洲生态斑块动态模拟、植被与盐状态相关分析、生态需水量估算等方法,研究额济

纳旗地区上游水资源不同供给情况下,下游绿洲生态演变趋势和可能的保存规模。钟华平等^[5]根据额济纳绿洲地下水位埋深和水位变化,结合植物的长势和地面景观调查,采用对比分析的方法得出额济纳绿洲不同植物生长的地下水水位埋深阈值、适宜区间及其相应的水位变幅。刘恒等^[6]以石羊河流域下游民勤盆地为例探讨了西北干旱内陆河区水资源利用与绿洲演变规律。以上研究基于地面调查资料、数学方法和经验公式来探讨绿洲和水资源的关系,取得一定的成果,但西北干旱地区地域广阔,环境恶劣,缺乏实地调查资料,传统的研究方法难以从宏观尺度确定绿洲和水资源的定量关系。

近年来,遥感数据已经普遍应用于生态环境变化的研究中。遥感数据以其量大、覆盖范围广、时间序列性强等特点,在大尺度的生态环境研究中具有其他数据所无法替代的优越性^[7-8]。遥感资料与地下水数据的结合将加深人们对地下水与植被之间相互作用的认识,同时提高地下水模拟的精度^[9-10]。

笔者以西北干旱地区黑河下游额济纳旗为研究

对象,借助遥感数据中的植被指数方法定量地描述该地区植被的生长状况,结合观测所得的地下水水位埋深和矿化度等数据,从区域尺度上定量地评价,合理地揭示了植被生长状况与地下水的定量关系。

1 研究区概况

额济纳旗位于内蒙古自治区最西部、黑河流域下游,地理位置为东经 $97^{\circ}10'$ ~ $103^{\circ}7'$,北纬 $39^{\circ}52'$ ~ $42^{\circ}47'$,土地总面积 11.46 万 km^2 ,南连甘肃省酒泉市,北与蒙古人民共和国接壤,有 507.14 km 的边境线,是西部边防重镇。额济纳盆地深居内陆腹地,根据额济纳旗 1957 ~ 2001 年降水统计资料,额济纳旗多年平均降水量为 38.9 mm,多年平均水面蒸发量为 3653 mm,具有降水稀少、蒸发强烈、温差大、风大沙多、日照时间长等特点,是典型的大陆性干旱气候区。

黑河是额济纳盆地内唯一河流,发源于祁连山,全长 821 km,流经河西走廊,经甘肃省鼎新市进入内蒙古自治区,始称额济纳河。在内蒙古自治区额济纳旗境内的狼心山西麓,又分为东西两河,东河(达西敖包河)向北注入东居延海(索果淖尔);西河(穆林河)向北注入西居延海(嘎顺淖尔)。平水期河水主要经东河流入东居延海,额济纳绿洲即位于东河下游的三角洲地带(图 1)。

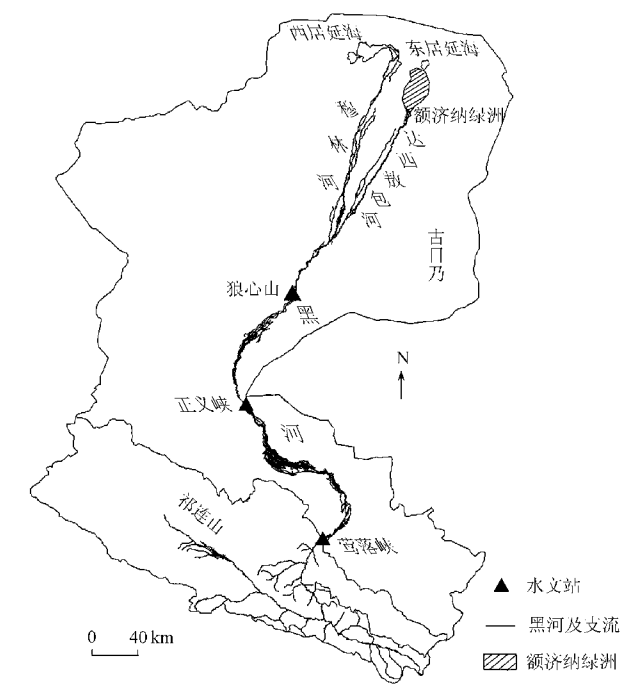


图 1 额济纳旗地理位置

黑河干流出祁连山后进入河西走廊平原,受人为因素的影响,至正义峡断面,径流年内分配明显发生变化。由于中游张掖地区耗水量的逐年增加,使得狼心山水文站的下泄水量自 20 世纪 50 年代开始呈现逐年下降的趋势。年径流量 50 年代为

8.66 亿 m^3 ,60 年代为 7.4 亿 m^3 ,70 年代为 6.53 亿 m^3 ,80 年代为 6.64 亿 m^3 ,90 年代为 3.47 亿 m^3 ,严重影响了下游绿洲的发展。

2 研究方法及数据

自然界中植被的长势取决于其生长环境。一个地区植被的生长状况往往是该地区阳光、空气、水和土壤(养分)等多种要素综合作用的结果。这些因素通常随时间和空间变化。故此,植被的生长状况在时间和空间上亦存在着明显的差异和不均一性。植被的季节性变化是阳光(气温)综合作用的表现,而空间上的差异则受土壤性质和地形地貌的影响,特别是土壤的水分含量,往往是控制植被生长的直接因素。在干旱地区,由于降雨量少,与植被根系密切相关的表层土壤中的水分很大程度上取决于地下水通过毛细作用的供给。当地下水水位埋深较浅时,毛细作用明显,土壤含水量较大,供给植被的水分较充分;当地下水水位埋深较深时则相反。但当地下水水位埋深过浅时,又会造成浅层土壤的盐碱化,从而抑制植被的生长。额济纳地区降雨稀少,植被的发育和生长主要取决于地下水通过毛细作用的供给。因此,影响额济纳地区植被生长好坏的主要因素是地下水的埋深。笔者尝试利用大面积遥感资料定量地描述植被的生长状况,进而分析植被的长势与地下水水位埋深之间的关系。

在遥感数据中,归一化植被指数(NDVI)是目前广泛采用的反映植被生长状况的指数,如果 NDVI 大说明植被生长状况良好,NDVI 小则反映出植被发育较差。该次研究所采用的是 16 d 合成的、空间分辨率为 250 m(即 NDVI 遥感影像中 1 个像素点代表地面空间上 250 m $\times$ 250 m 的面积)可以用来检测地球植被的季节变化和年际变化的 MODIS NDVI 数据。该数据可从地球观测系统(EOS)计划的网站上免费下载,其特点是在已有植被指数的基础上进行了一些改进,增强了对植被的敏感度,减少了外部因素和内在非植被因素的影响,并使用了新的合成算法以减小随观测角度的变化和太阳-目标-传感器等几何学因素所引起的变化。在生成植被指数格点资料时,考虑了分子散射、臭氧吸收、气溶胶订正算法^[11-12]。目前,该数据已被广泛地应用于生态环境变化的研究中^[13-17]。为了与地下水位观测资料相对应,本文选用 2000 年 6 月的 MODIS NDVI 数据。

在研究区内,分布有 13 个地下水水位观测井(图 2)。该次研究根据实测的 2000 年 6 月的地下水水位埋深数据,通过地下水模拟后的地下水位等值线图再插值获得与 MODIS NDVI 分辨率一致的地下

水水位埋深的网格数据。基于地下水水位埋深和 NDVI 两幅图,在研究区内同一位置上分别可以得到地下水水位埋深和 NDVI 两个值,整个研究区可得到 100 多万个这样的数据对。为了分析地下水水位埋深与植被生长状况的关系,取地下水水位埋深相同的数据点所对应的 NDVI 的均值,代表该地下水水位埋深条件下的植被长势,进而绘制 NDVI 均值与地下水水位埋深关系图以便定量地确定两者之间的关系。

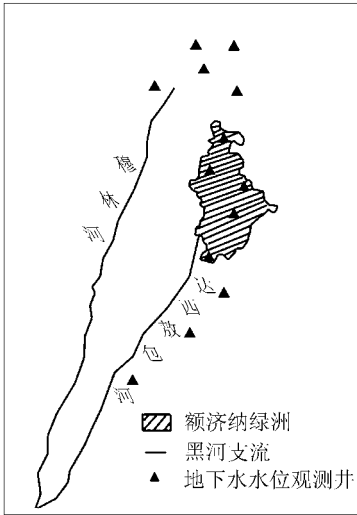


图2 地下水水位观测井分布

3 研究结果

根据勘探资料显示,额济纳盆地的四周没有地下水排泄边界。现阶段额济纳盆地内地下水开采量十分有限,对区域地下水没有明显的影响。在 1989 ~ 2000 年的 12 a 间,各观测孔水位动态曲线的峰值和谷值基本稳定在某一水平线上,盆地内绝大部分地区的地下水水位没有发生大幅度的变化。笔者通过 Modflow 软件对额济纳盆地地下水流系统进行模拟研究,得到盆地地下水水位等值线(图 3)。结果表明,盆地内绝大部分地区的地下水水位变化相对平缓,区域地下水的主要流向是古日乃地区,而西居延海是西部沉降区的地下水最终汇集地。

根据额济纳地区 2000 年 6 月的 MODIS NDVI 数据,绘制了 MODIS NDVI 的空间分布图(图 4)。由图 4 可见,额济纳旗地区 90% 的面积都是戈壁和沙土(即 NDVI < 0.08);剩余 10% 的面积中 NDVI 值大于 0.08,标志着该地段有植被发育,绿洲中植被的 NDVI 值大部分大于 0.2。

按照额济纳地区 2000 年 6 月的 MODIS NDVI 数据(图 4)的分辨率,对模拟的地下水水位埋深数据进行插值获得相同分辨率的地下水水位埋深数据。

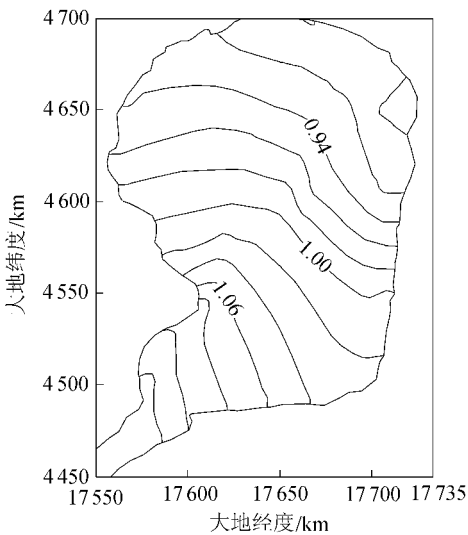


图3 额济纳盆地模型计算地下水水位等值线

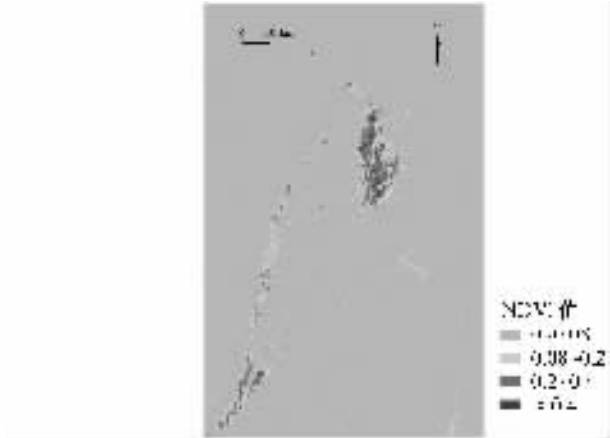


图4 额济纳地区 2000 年 6 月 MODIS NDVI 分布

由地下水水位埋深数据可知,额济纳绿洲地区的地下水水位埋深在 2.6 ~ 5.7 m 之间。笔者以 0.1 m 为间距统计了地下水水位埋深所对应的 NDVI 像素点个数,绘制直方图(图 5)。从图 5 中可见,地下水水位在 2.6 ~ 4.0 m 之间,点数较多,特别是在 3.2 ~ 3.6 m 之间点数较为密集,达到峰值,但水位到 4.2 m 以下时点数开始减小。为进一步研究地下水水位埋深与植被生长的关系,笔者以 0.1 m 为间距绘制了地下水水位埋深与相应的 NDVI 平均值的关系曲线(图 6)。该曲线显示地下水水位埋深对植被生长具有明显的控制作用:当地下水水位埋深在 2.6 ~ 4.0 m(图 6 中的虚线以上部分)之间时,NDVI 平均值大于 0.09,表示植被发育较好,而当地下水水位埋深超过 4.0 m 时,NDVI 平均值减少,在 0.09 左右波动,表示植被发育较差。说明当地下水水位埋深超过 4.0 m 时,地下水与植被的联系较差。从图 6 中可见,NDVI 平均值的最大值为 0.117,其对应的地下水水位埋深约为 2.8 m。因此,2.8 m 是植被生长的最佳地下水水位埋深,而 2.6 ~ 4.0 m 是适宜植被生长的地下水水位埋深范围。

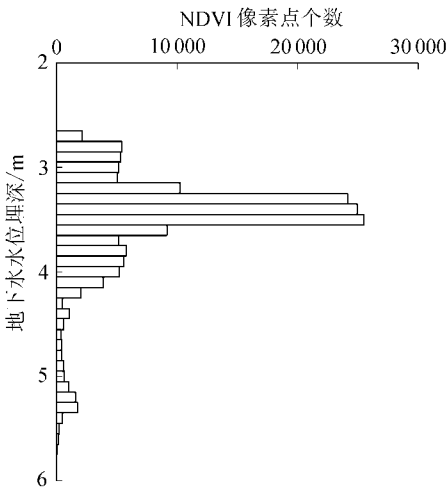


图5 地下水水位埋深与对应 NDVI 像素点个数的直方图

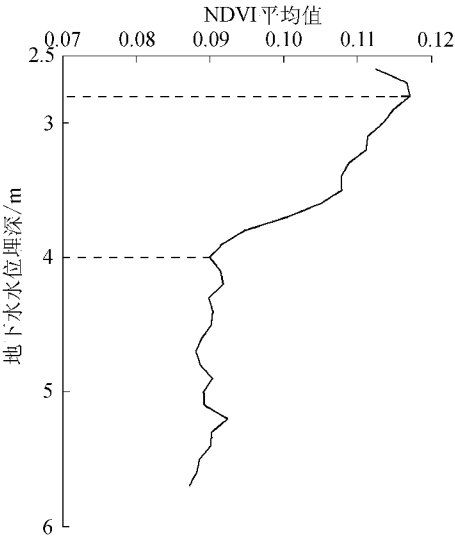


图6 地下水水位埋深与 NDVI 平均值的关系

4 结 论

针对黑河下游额济纳地区,借助遥感资料,结合地下水水位观测数据,在区域尺度上定量研究了地下水水位埋深与植被生长的关系,得到以下结论:

a. 影响植被生长的临界地下水水位埋深为4.0m左右,当地下水水位埋深小于4.0m时,地下水对植被的生长有明显的控制作用;当地下水水位埋深大于4.0m时,地下水与植被生长没有明显的关系。

b. 在额济纳地区,较适宜植被生长的最佳地下水水位埋深范围为2.6~4.0m,而在地下水水位埋深为2.8m的地区,植被长势最好。

c. 本文使用的遥感资料结合水文地质数据分析的方法,可以为研究干旱、半干旱地区大尺度地下水与植被的生长关系提供一种思路。

笔者将遥感数据同实测水文数据相结合,提出了一种新思路,但由于NDVI的影响因素很多。因此,在今后的研究中应进一步区分不同的植被类型,定量分析不同植被类型与地下水水位埋深的关系。

参考文献:

- [1] 王心源, 范湘涛, 刘浩, 等. 额济纳旗绿洲生态环境的遥感动态监测分析[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 60-62.
- [2] MAITRE D C, SCOTT D F, COLVIN C. A review of information on interactions between vegetation and groundwater[J]. Water S A, 1999, 25(2): 137-152.
- [3] NEWMAN B D, WILCOX B P, ARCHER S R, et al. Ecohydrology of water-limited environments: a scientific vision[J]. Water Resources Research, 2006, 42: 1-15.
- [4] 王根绪, 程国栋, 沈永平. 干旱区受水资源胁迫的下游绿洲动态变化趋势分析: 以黑河流域额济纳绿洲为例[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 564-568.
- [5] 钟华平, 刘恒, 王义, 等. 黑河流域下游额济纳绿洲与水资源的关系[J]. 水科学进展, 2002, 13(2): 223-228.
- [6] 刘恒, 钟华平, 顾颖. 西北干旱内陆河区水资源利用与绿洲演变规律研究: 以石羊河流域下游民勤盆地为例[J]. 水科学进展, 2001, 13(3): 378-384.
- [7] KRAJEWSKI W F, ANDERSON M C, EICHINGER W E, et al. A remote sensing observatory for hydrologic sciences: a genesis for scaling to continental hydrology[J]. Water Resources Research, 2006, 42: 1-13.
- [8] TENHUNEN J D, KABAT P. Integrating hydrology, ecosystem dynamics and biogeochemistry in complex terrains[M]. New York: John Wiley Press, 1999.
- [9] CROW W T, WOOD E F. The assimilation of remotely sensed soil brightness temperature imagery into a land-surface model using ensemble Kalman filtering: a case study based on ESTAR measurements during SGP97[J]. Advances in Water Resources, 2003, 26: 137-149.
- [10] DUUNE S, ENTEKHABI D. An ensemble-based reanalysis approach to land data assimilation[J]. Water Resources Research, 2005, 41: 1-18.
- [11] HUTE A, JUSTICE C, VAN LEEWEN W. MODIS vegetation index(MODIS13) algorithm theoretical basis document[M]. New York: NASA Press, 1996.
- [12] KING M D, GREENSTONE R. EOS reference handbook: a guide to NASA's earth science enterprise and the earth observing system[M]. Greenbelt: NASA/GSFC, 1999: 1-361.
- [13] JIN S, SADER S A. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 99(4): 462-470.
- [14] KNIGHT J K, LUNETTA R L, EDIRIWICKREMA J, et al. Regional scale land-cover characterization using MODIS-NDVI 250m multi-temporal imagery: a phenology based approach[J]. GIScience and Remote Sensing, 2006, 43(1): 1-23.
- [15] LUNETTA R S, KNIGHT J F, EDIRIWICKREMA J, et al. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 105(2): 142-154.
- [16] SAKAMOTO T, YOKOZAWA M, TORITANI H, et al. A crop phenology detection method using time-series MODIS data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 96(3/4): 366-374.
- [17] ZHAN X, DEFRIES R, TOWNSHEND J R G, et al. The 250m global land cover change product from the moderate resolution imaging spectroradiometer of NASA's earth observing system[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(6/7): 1433-1460.

(收稿日期: 2008-07-24 编辑: 方宇彤)