

水文模型植被参数获取方法及应用研究

陆桂华^{1,2}, 金君良^{1,2}, 吴志勇^{1,2}, 何 海^{1,2}

(1. 河海大学 水问题研究所, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 引入 Spot/Vegetation(简称 SPOT-VGT)归一化植被指数 NDVI 遥感资料,建立了叶面积指数 LAI-NDVI 模型,进行大尺度陆面水文模型 VIC 植被参数获取方法研究,将结果应用于黑河莺落峡流域水文模拟,并分析了植被参数对陆面水文循环要素的影响.结果表明:采用 SPOT-VGT 遥感资料建立的 LAI-NDVI 模型计算的叶面积指数较好地反映了实际叶面积指数的空间分布和时间变化,用此方法获取的植被参数结果优于模型推荐的查表法.

关键词: Spot/Vegetation NDVI; 叶面积指数; VIC 模型; 水文模拟

中图分类号: P334.92:Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2009)04-0047-06

植被是陆面水文过程模拟中重要的基本元素之一,在流域水文循环中扮演着十分重要的作用,影响植物截留、蒸散发、土壤湿度和径流.然而受观测条件所限,利用地面实际观测资料获取可供陆面水文模型使用的植被参数非常困难.随着遥感技术的发展,大范围、高频度的空间影像资料为植被数据的获取提供了大量信息.从卫星影像图中获取二维植被信息,经处理并引入到陆面水文模型的应用已有不少^[1-4].当前,世界各国已发射大量携带不同传感器的遥感卫星,由欧洲联盟委员会赞助,法国发射的 SPOT 卫星搭载的 Vegetation 传感器是专门为观测陆地植被设计的,其在光谱波段、空间精度及其纠正等方面比原本为气象服务设计的 AVHRR 具有更大的优势^[5].但是目前利用 SPOT 数据获取水文模型植被参数进行陆面水文模拟的研究还比较少见.

本文在利用美国 Maryland 大学全球 1 km 土地覆被数据描述研究区域植被空间分布的基础上^[6],引入 Spot/Vegetation NDVI (简称 SPOT-VGT NDVI)遥感数据,建立叶面积指数 LAI(Leaf Area Index)-NDVI 模型,计算研究区域叶面积指数的时空分布,更新了 VIC(Variable Infiltration Capacity)陆面水文模型推荐的植被参数获取方法,模拟了黑河莺落峡流域 1998~2001 年水文过程,并将径流模拟值与实测值比较,为 VIC 模型植被参数的获取提供了一种更准确的方法.

1 模型的建立

1.1 VIC 模型

VIC 模型是主要由 Washington 大学研制开发的大尺度分布式陆面水文模型.模型采用了可变下渗能力的思想,主要考虑了大气-植被-土壤之间的物理交换过程.模型考虑了积雪、融雪及土壤冻融等过程,在一个计算网格内考虑了裸地及不同的植被覆盖类型. VIC 模型在北美以及中国许多地方都已经有了成功的应

收稿日期: 2009-04-28

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2006BAC05B02, 2007BAC03A060301);水利部“948”计划项目(200758);水利部公益性行业科研专项(200701039, 20080100105);江苏省“333”人才工程资助课题

作者简介: 陆桂华(1962-),男,浙江东阳人,教授,博士,主要从事水文水资源研究. E-mail: Lugh@hhu.edu.cn

用^[7-11]. VIC 模型的植被参数包括结构阻抗、最小气孔阻抗、每种植被类型的叶面积指数(Leaf Area Index, 简称 LAI)等. VIC 模型推荐根据 Maryland 大学研制的全球 1 km 土地植被覆盖数据及陆面数据同化系统 LDAS (Land Data Assimilation System) 提取植被参数^[6].

LDAS 将全球的地表覆盖分为 14 种类型, 11 种为植被, 其余 3 种为水体、建筑物和裸土, 根据植被分类将网格内的覆盖类型分成若干子区域, 供 VIC 模型使用的叶面积指数通过 LDAS 查表法确定^[12]. LDAS 查表法针对不同的植被类型将叶面积指数设置成固定的 12 个月变化, 不同区域同种植被的叶面积指数相等. 这种方法方便了模型的推广应用, 但在全球范围同一种类型植被只对应一类叶面积指数, 同种植被的叶面积指数在不同时间和区域的分布都相同显然不够精确. 从而, 根据 LDAS 结果统一采用查表法确定的叶面积指数会给陆面过程模拟带来误差.

1.2 植被覆盖数据

本文选取的 SPOT-VGT NDVI 遥感数据下载自中国西部环境与生态科学数据中心 (<http://westdc.westgis.ac.cn/>), 时间范围为 1998 年 4 月至 2007 年 12 月, 共 345 幅图像. 由欧洲联盟委员会赞助的 Vegetation 传感器于 1998 年 3 月搭载 SPOT-4 升空, 从 1998 年 4 月开始接收用于全球植被覆盖观测的 SPOT Vegetation 数据, 该数据由瑞典的 Kiruna 地面站负责接收, 由位于法国 Toulouse 的图像质量监控中心负责图像质量控制并提供相关参数(如定标系数), 最终由比利时佛莱芒技术研究所(Flemish Institute for Technological Research, Vito)植被影像处理中心(Vegetation Processing Centre, CTIV)负责预处理成逐旬 1 km 全球数据. 预处理包括大气校正、辐射校正、几何校正, 生成 10 天最大化合成的 NDVI 数据, 并将 -1 ~ -0.1 的值设置为 -0.1, 再通过公式 $DN = (NDVI + 0.1) / 0.004$ 转换到 0 ~ 250 之间的 DN 值^[5].

将该 345 幅空间分布图中同一年中属相同月份的若干幅旬 NDVI 空间分布图按对应栅格单元进行算术统计平均, 以此来表征流域在年内此月的 NDVI 空间分布.

1.3 LAI-NDVI 模型

根据归一化植被指数和叶面积指数的关系研究建立了 LAI-NDVI 模型. 该模型基于以下两个前提:

- (1) 假定叶面积指数和归一化植被指数之间的关系是线性的. 许多学者的研究都证实了这一点^[13-16];
- (2) 遥感影像图观测最大归一化植被指数时, 植被生长也处于最大的叶面积指数. 最大归一化植被指数对应最大的叶面积指数, 最小的归一化植被指数也对应最小的叶面积指数. Justice 等对这个观点也开展过相关的研究^[17].

基于以上两个前提, 建立根据归一化植被指数计算叶面积指数经验模型如下:

$$LAI_i = LAI_{\max} \times \frac{NDVI_i - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$

其中: $LAI_{\max}$ 为模型计算范围内最大的 LAI, 参考 VIC 模型的参数范围确定. 最大、最小归一化植被指数从 1998 ~ 2007 年遥感影像图中获得, 最大叶面积指数采用 VIC 模型提供的参考叶面积指数.

2 实 例 应 用

本文选取中国西北第二大内陆河黑河出山口的莺落峡站以上集水面积为研究区域. 莺落峡流域位于祁连山北麓, 介于东经 98.5° ~ 101.2° 和北纬 37.7° ~ 39.1° 之间. 出山口以上河道长 303 km, 流域面积 10 009 km². 流域内降水和气温分布不均匀, 山区降水丰富, 多年平均气温不足 2℃, 平均降水量 350 mm, 属于冰雪融水和雨水混合补给为主的河流. 流域内植被覆盖较好, 主要植被类型分布有常绿针叶林、草原、林地、灌丛及耕地. 由于复杂的地形地貌特征, 气候也表现出多样性及垂直变化特征. 山区地形直接制约着各种气象要素的局部变化, 引起垂直方向气候差异, 这种气候差异又影响着山地土壤的发育和植被的生长.

2.1 叶面积指数分析

根据 VIC 模型应用要求, 将研究区域划分为 0.125° × 0.125° 经纬网格. 图 1 为研究区域的网格划分和根

据美国 Maryland 大学全球 1 km 土地覆被数据提取的植被分布. 从图中可以看出,流域覆盖主要有草原、林地、耕地等类型. 为深入分析比较查表法与 NDVI 数据获取的叶面积指数差别,选取了流域西北、中部及东南部三个典型网格细致分析. 其中,网格 1511 主要由 78% 的灌木和 14% 的草原覆盖;网格 1309 主要由 57% 的草原、23% 的耕地和 9% 左右的林地草原覆盖;网格 1430 主要由 59% 的耕地和 40% 的林地草原覆盖.

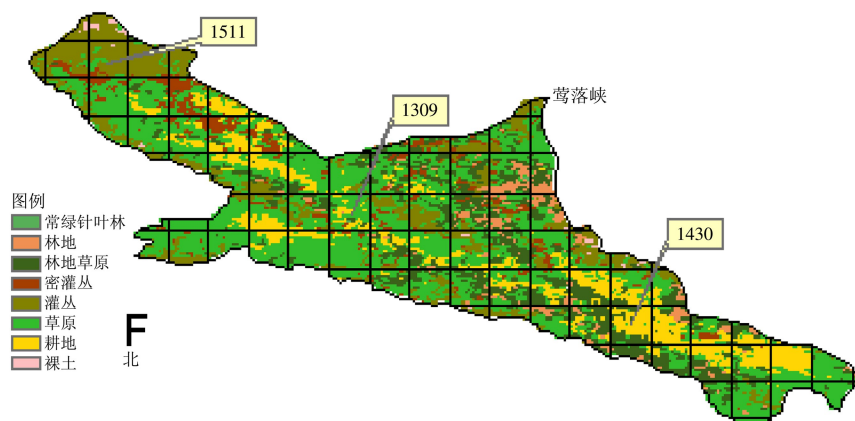


图1 黑河莺落峡流域网格划分及植被覆盖

Fig. 1 Land vegetation cover derived and grid over Yingluoxia Basin

采用 SPOT-VGT 逐旬归一化植被指数数据,根据 LAI-NDVI 模型计算 1998 ~ 2007 年莺落峡流域及三个典型网格的叶面积指数(见图2). 计算结果表明,流域西北部由灌木占主要植被覆盖的网格 1511 遥感计算的叶面积指数与查表法差别最大;耕地为主要类型的网格 1430 在秋冬季节的叶面积指数差别较大,植被覆盖种类较多的网格 1309 与查表法差别最小.

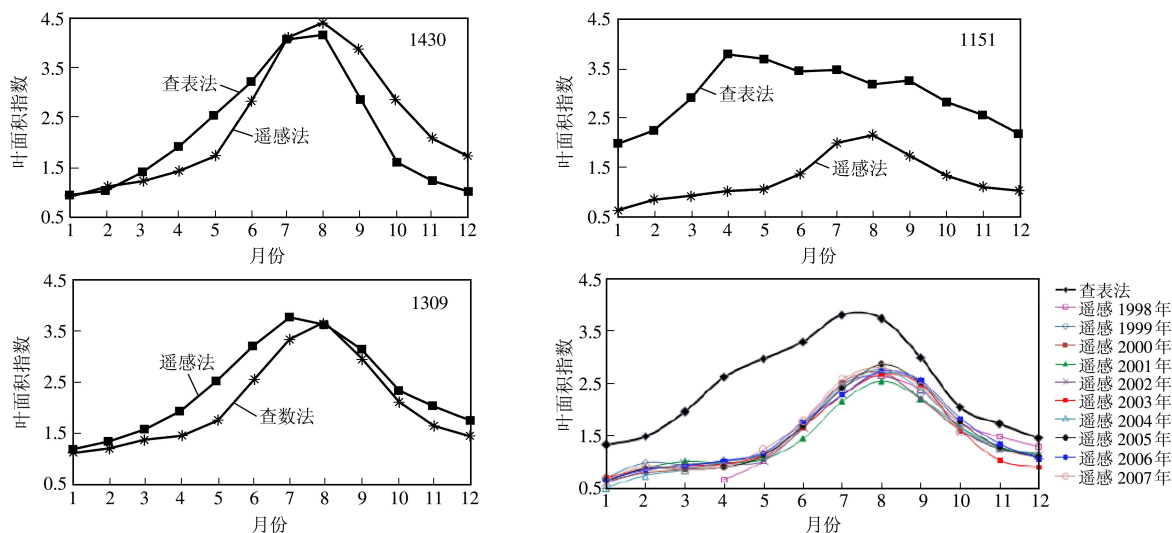


图2 1998 ~ 2007 年黑河莺落峡流域各月平均叶面积指数

Fig. 2 Monthly average leaf area index in Yingluoxia Basin from 1998 to 2007

1998 年以来的遥感数据表明,整个黑河莺落峡流域多年叶面积指数变化不大,在陆面水文模拟中可以使用一年的叶面积指数数据来代替多年的变化. 总体来说,利用遥感资料获取的流域叶面积指数比查表法小,其中,3、4 月变化趋势尤其明显. 查表法的叶面积指数在 3、4 月迅速增加,7 月份达最大值;而采用遥感资料获取的叶面积指数曲线在 5 月份才开始增大,7、8 月达最大值. 相关研究资料^[18]表明:莺落峡流域的植被生长期从每年 5 月份才开始,7 ~ 8 月达最大,10 月份以后缓慢生长. 因此,在时间变化上遥感获取的叶面积指数曲线与实际情况更为符合.

以 2000 年 8 月份为例,图 3(a)是根据 VIC 模型推荐的查表法获取的莺落峡流域叶面积指数空间分布;图 3(b)是利用 SPOT-VGT NDVI 数据采用 LAI-NDVI 模型计算的莺落峡流域叶面积指数的空间分布.可见,在 8 月份,根据查表法确定的叶面积指数在整个莺落峡流域有植被覆盖的部分都大于 3.0,而根据 LAI-NDVI 法确定的流域叶面积指数在 0~5.0 之间.显然,LAI-NDVI 法确定的流域叶面积指数充分考虑了植被空间分布异质性,与查表法相比,更加合理.同时,对比图 1 的莺落峡流域 1 km×1 km 植被分类,还可以看出在空间上采用 LAI-NDVI 法获取的叶面积指数(图 3b)与植被分类更加匹配,说明根据遥感方法确定的叶面积指数更加客观地反映了流域的植被覆盖及生长情况.对同一种植被覆盖来说,例如耕地,由于不同区域的耕地种植庄稼种类不同,叶面积指数也相应不同.根据遥感图获取的叶面积指数反映出了同种植被覆盖分类在不同区域的生长特征,在不同地区,同一植被采用 LAI-NDVI 模型计算的叶面积指数由于土壤质地以及生长情况不同,也是有差异的,因此根据遥感资料确定叶面积指数的方法更为合理.

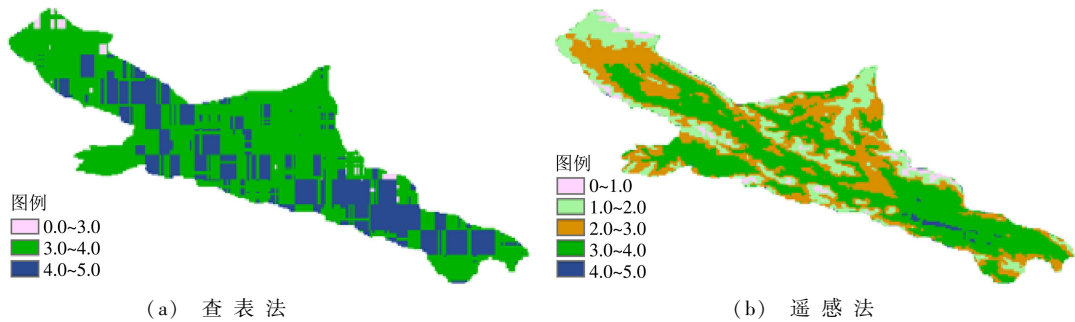


图 3 2000 年 8 月黑河莺落峡流域叶面积指数空间分布

Fig.3 LAI derived from look up table (a) and NDVI (b) over Yingluoxia Basin

2.2 水文模拟结果分析

为了进一步分析获取的植被参数对陆面水文要素的影响,将获取的植被参数应用到陆面水文模型 VIC 中,模型连续模拟了莺落峡流域 1998~2001 年水文要素,对比采用不同方法获取的植被参数对流域水文过程及出山口径流的影响.模型所需的日降水量、日最高、最低气温来自中国气象科学数据共享网收集的全国 756 个站点数据中的黑河部分.

2.2.1 对流域水文要素的影响 根据莺落峡流域典型网格及全流域采用遥感资料获取的植被参数,计算得到的陆面水文要素与使用查表法计算得到的水文要素的相对变化值见表 1.流域所有网格中,使用两种植被参数蒸发变化范围在-20%~5%,截留变化在-40%~10%之间,与查表法获取的植被参数相比,采用遥感法获取的植被参数由于叶面积指数的减少而使得流域大部分网格蒸散发减少,截留增加.

表 1 遥感法与查表法计算莺落峡流域水文要素比较

Tab.1 Hydrologic variables calculated with remote sensing data and look up table in Yingluoxia Basin (单位:%)

水文要素	蒸 散 发	地表径流	基 流	截 留	土壤湿度	叶面积指数
网格 1430	+1.9	-0.18	-1.83	+2.72	-0.18	+9.21
网格 1151	-10.77	+4.44	+15.87	-38.5	+2.54	-39.13
网格 1309	-2.65	+1.75	+4.34	-17.01	+0.43	-16.21
莺落峡流域	-7.84	+3.99	+14.58	-29.72	+2.32	-29.31

在莺落峡流域,使用遥感获取的植被参数叶面积指数减少了 29.31%,对应的植物截留和蒸散发分别减少了 29.72% 和 7.84%;基流和地表径流分布增加了 14.58% 和 3.99%;土壤湿度变化不大.这说明使用遥感获取的植被参数主要改变了蒸散发和径流的分配,蒸散发和截留量与叶面积指数成正比.

位于流域东南部的 1430 网格区域采用遥感资料获取的蒸散发和截留比查表法大.实际资料调查^[19]表明,1430 网格区域的主要地表覆被为耕地,种植农作物为玉米和冬小麦.由于小麦的生长使得冬春季的叶面积

指数比 LDAS 查表法的结果大. 根据遥感资料获取的叶面积指数很好的体现了这一点(见图 2), 相应模型模拟的蒸散发和截留量都有所增大. 而网格 1151 和网格 1309, 则由于叶面积指数的减小使得蒸散发和截留减少.

2.2.2 对流域出山口径流的影响 经过汇流模型, 模型连续输出莺落峡站 1998~2001 年日径流过程, 并与实测值比较, 结果采用水文常用的两个指标来衡量: 反映总量精度的多年径流相对误差 $Er(\%)$ 和反映流量过程吻合程度的 Nash-Sutcliffe 效率系数^[20]. 结果显示, 与原来参考 LDAS 查表法定义的植被参数相比, 使用遥感方法获取的植被参数后, VIC 模型在黑河莺落峡站以上流域模拟多年径流过程相对误差 E_r 从原来的 6.8% 减少到 0.5%; 日径流过程的 Nash 效率系数从 0.74 提高到 0.79, 月径流过程从 0.82 提高到 0.87. 利用遥感资料获取的植被参数使得流域蒸散发减少, 径流增加. 在水量平衡和过程拟合程度上, 使用遥感资料获取的叶面积指数后, 模型对出山口径流过程的模拟有明显改善, 表明引入遥感资料后获取的植被参数更适合 VIC 模型对水文过程的模拟.

3 结 语

本文提出了利用遥感资料 SPOT-VGT NDVI 建立 LAI-NDVI 模型计算叶面积指数, 改进了 VIC 植被参数获取方法, 模拟了黑河莺落峡流域 1998~2001 年陆面水文过程, 比较了采用遥感法获取的植被参数和模型推荐的查表法获取的植被参数对水文过程的影响, 得出以下结论:

(1) 与原来 VIC 模型推荐的参考 LDAS 查表法确定植被参数相比, 根据遥感资料 Spot-VGT NDVI 数据计算的叶面积指数较好地反映了实际叶面积指数的空间分布及季节变化, 更加符合实际情况, 有利于改善 VIC 模型对径流过程的模拟;

(2) 从遥感资料可以看出, 黑河莺落峡流域从 1998 年以来植被叶面积指数年际变化较小, 在水文模型中可以使用多年逐月的叶面积指数平均值进行陆面水文过程模拟;

(3) 叶面积指数在流域水文循环中直接影响蒸散发和植物截留, 进而影响土壤含水量和径流过程的分配, 陆面水文过程模拟中需要充分考虑地表覆盖植被的空间异质性和时间上的季节变化.

VIC 模型推荐采用的 LDAS 植被参数主要由全球各类数据同化所得, 但不同植被在特定研究流域可能会有所差异; 针对不同流域采用遥感资料可以更准确地获取此流域水文模型的植被参数.

参 考 文 献:

- [1] JIN M, LIANG S. An improved land surface emissivity parameter for land surface models using global remote sensing observations[J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(1): 2867-2881.
- [2] PISEK J, CHEN J M. Comparison and validation of MODIS and VEGETATION global LAI products over four BigFoot sites in North America[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 109(1): 81-94.
- [3] CHAMPEAUX J L, HAN K S, FRANCHISTEGUY L, et al. Land surface parameters derived from SPOT/VEGETATION data for use in meteorological models[C]//*Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Toulouse: IGARSS, 2003: 579-581.
- [4] YIN Z, WILLIAMS T H L. Obtaining spatial and temporal vegetation data from landsat MSS and AVHRR/NOAA satellite images for a hydrologic model[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1997, 63(1): 69-77.
- [5] 宋 怡, 马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(1): 89-93. (SONG Yi, MA Ming-guo. Study on vegetation cover change in Northwest China based on SPOT VEGETATION data[J]. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1): 89-93. (in Chinese))
- [6] HANSEN M C, DEFRIES R S, TOWNSHEND J R G, et al. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(1): 1331-1364.
- [7] CHERKAUER K A, LETTENMAIER D P. Hydrologic effects of frozen soils in the upper Mississippi River basin[J]. *J Geophys*

- Res, 1999, 104(D16): 19599–19610.
- [8] LIANG X, XIE A Z. A new surface runoff parameterization with subgrid-scale soil heterogeneity for land surface models[J]. *Advances in Water Resources*, 2001, 24(9): 1173–1193.
- [9] ABDULLA F A, LETTENMAIER D P, WOOD E F, et al. Application of a macroscale hydrologic model to estimate the water balance of the Arkansas-Red river basin[J]. *J Geophys Res*, 1996, 101(3): 7449–7459.
- [10] HAMLET A F, LETTENMAIER D P. Effects of climate change on hydrology and water resources in the Columbia River Basin [J]. *Am Water Res Assoc*, 1999, 35(6): 1597–1623.
- [11] 吴志勇, 陆桂华, 张建云, 等. 基于 VIC 模型的逐日土壤含水量模拟[J]. *地理科学*, 2007, 27(3): 359–364. (WU Zhi-yong, LU Gui-hua, ZHANG Jian-yun, et al. Simulation of daily soil moisture using VIC model[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(3): 359–364. (in Chinese))
- [12] University of Washington. Variable infiltration capacity(VIC) macroscale hydrologic model[EB/OL]. http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/Documentation/soil_veg.html
- [13] WIEGAND C, RICHARDSON A, KANEMASU E. Leaf area index estimates for wheat from LANDSAT and their implications for evapotranspiration and crop Modeling[J]. *Agronomy Journal*, 1979, 71(2): 336–342.
- [14] TUCKER, HOLBEN B N, ELGIN J H, et al. Relationship of spectral data to grain yield variation[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1980, 46(5): 657–666.
- [15] AJAI, KAMAT D S, CHATURVEDI G S, et al. Spectral assessment of leaf area index chlorophyll content, and biomass of chickpea[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1983, 49(12): 1721–1750.
- [16] WARDLEY N W, CURRAN P J. The estimation of green leaf area index from remotely sensed airborne multi-spectral scanner data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1984, 5(4): 671–679.
- [17] JUSTICE C, HOBEN B, GWYNNE M. Monitoring east african vegetation using AVHRR data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1453–1474.
- [18] 程 瑛, 徐殿祥, 郭 钊. 近 20 年来祁连山区植被变化特征分析[J]. *干旱区研究*, 2008, 25(6): 772–777. (CHENG Ying, XU Dian-xiang, GUO Ni. Analysis on the vegetation change in the Qilian Mountains since recent 22 years[J]. *Arid Zone Research*, 2008, 25(6): 772–777. (in Chinese))
- [19] 蒙继华, 吴炳方, 李强子. 全国农作物叶面积指数遥感估算方法[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(2): 160–167. (MENG Ji-hua, WU Bing-fang, LI Qiang-zi. Method for estimating crop leaf area index of China using remote sensing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(2): 160–167. (in Chinese))
- [20] NASH J E, SUTCLIFFE J V. River flow forecasting through conceptual models: Part1-a discussion of principles[J]. *Journal of Hydrology*, 1970, 10(3): 282–290.

Obtaining method of vegetation parameter for hydrological model and its application

LU Gui-hua^{1,2}, JIN Jun-liang^{1,2}, WU Zhi-yong^{1,2}, HE Hai^{1,2}

(1. *Research Institute of Water Problems, Hohai University, Nanjing 210098, China*; 2. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract: Spot/Vegetation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) data are used to estimate Leaf Area Index (LAI) in this paper. The obtained spatial and temporal vegetation data are used in macro-scale land surface hydrological model to simulate the period of 1998 ~ 2001 hydrologic processes of the Yingluoxia Basin, Heihe River. The results show that the LAI derived from LAI-NDVI model using remote sensing data well reflects the spatial and temporal distribution of real LAI. Moreover, the hydrological simulation using vegetation data from satellite images is significantly improved compared with the hydrology using VIC advised.

Key words: Spot/Vegetation NDVI; LAI; VIC model; hydrological simulation