

基于 HWSD 的流域栅格土壤水分常数估算

王 斌¹, 黄金柏², 宫兴龙¹

(1.东北农业大学水利与建筑学院,黑龙江 哈尔滨 150030;
2.扬州大学水利与能源动力工程学院,江苏 扬州 225009)

摘要:在科研及实践工作中往往需要大量的、空间分辨率较高的凋萎系数、田间持水量和饱和含水量数据,大规模布点测定这些土壤水分常数难度较大,需要探索估算这几种常用土壤水分常数的新方法。以黑龙江省呼兰河流域为例,采用 DEM 数据提取流域边界,应用提取后的流域 DEM 从世界土壤数据库(HWSD)中提取流域土壤的砂粒、粘粒百分含量及 USDA 土壤质地分类数据,再应用这三种土壤属性数据估算流域各栅格的凋萎系数、田间持水量和饱和含水量。研究表明:应用 HWSD 可以估算出呼兰河流域 0~30cm 和 30~100cm 两种土层的凋萎系数、田间持水量和饱和含水量,空间分辨率可达到 30",为获取较高分辨率及深土层的区域土壤水分常数提供了一种新方法。

关键词:凋萎系数;田间持水量;饱和含水量;HWSD;呼兰河流域

中图分类号:TP79 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2015)02-0008-04

1 引言

对于一定质地和结构的土壤而言,其各种类型土壤水均存在一个可能的极限值,这些极限值包括吸湿系数、最大分子持水量、凋萎系数、田间持水量、饱和含水量等,统称为土壤水分常数。在农业水土工程专业领域,田间持水量是重力水和毛管水的分界线,旱作物根系吸水层允许的平均最大含水量一般不应超过田间持水量,最小含水量不应低于凋萎系数^[1];采取控制灌溉技术的水稻,土壤含水量控制下限即为占饱和含水量的百分数^[2];计算灌水定额、设计灌溉制度、开展节水灌溉试验研究等均要应用到凋萎系数、田间持水量及饱和含水量。在水文学及水资源专业领域,田间持水量、凋萎系数、饱和含水量是估算张力水与自由水容量的重要参数,新安江模型的“蓄满”即指包气带土壤含水量达到田间持水量^[3];国外常见的一些水文模型,如 Sacramento 模型上下两土层的张力水容量和自由水容

量^[4-5]、TOPMODEL 模型与 BTOPMC 模型中的根系层蓄水容量^[6]、SWAT 模型的土壤蒸发及壤中流计算^[7]等均与凋萎系数、田间持水量、饱和含水量等息息相关。可见,凋萎系数、田间持水量、饱和含水量均是较重要的土壤水分常数。

对于试验小区等面积较小区域,当不能收集到凋萎系数、田间持水量、饱和含水量资料时,可以开展专门试验测定这些土壤水分常数,但在诸如高标准农田建设、分布式水文模型研发等实践与科研工作往往需要大量的、空间分辨率较高的土壤水分常数数据,大规模布点测定的方法工作量过大,代价也很昂贵,从可行性角度看并不可取。因此,需要探索估算这几种常用土壤水分常数的新方法。采用联合国粮农组织(FAO)全球数字土壤图推求流域土壤水分常数的方法已在部分研究中得到应用,该方法一般先确定流域各栅格土壤对应的 FAO 土壤类型,再根据每种 FAO 土壤的砂粒、粉粒和粘粒百分含量确定该土壤对应的美国农业部

收稿日期:2013-09-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51009026,41271046);黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12531024);黑龙江省教育厅海外学人科研启动基金项目(1251H017);东北农业大学科研启动基金资助项目(2010RCB66)

作者简介:王斌(1976-),男,黑龙江桦南人,副教授,博士,主要从事水文过程模拟及农业节水理论与技术等方面的研究。

E-mail: wangbin0454@163.com

(USDA)土壤质地分类,至此流域各栅格的土壤均对应某类 USDA 土壤,最后根据文献确定各栅格 USDA 土壤的水分常数^[6-9]。由于 FAO 土壤图主要针对 0~30cm 的表土,分辨率一般为 5min×5min,估算的土壤水分常数结果较粗略。本文以流域为例,采用世界土壤数据库 (Harmonized World Soil Database, HWSD) 估算栅格土壤水分常数,以期获取更高分辨率及更深土层的区域土壤水分常数数据提供一种新方法。

2 数据来源与计算方法

2.1 DEM 数据

近些年来,基于数字高程模型 (DEM) 数据构建数字流域已成为支撑水文学研究的重要技术平台,应用美国国家地球物理数据中心 (NGDC) 提供的 DEM 数据提取流域边界,其空间分辨率为 30"。将流域 DEM 数据作为从 HWSD 中提取土壤属性数据的掩膜,从而得到研究流域的土壤属性数据。

2.2 土壤属性数据

截至 2012 年 3 月,FAO、国际应用系统分析研究所 (IIASA)、世界土壤参考信息中心 (ISRIC)、中国科学院南京土壤研究所 (ISSCAS)、欧洲委员会合作研究中心 (JRC) 共同发布了 1.04、1.05、1.10、1.20、1.21 等多个版本的 HWSD。采用的土壤属性数据来源于国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”(http://westdc.westgis.ac.cn),源自 1.10 版本的 HWSD,包括上层土壤 (0~30 cm 土层,以“T”开头属性字段) 和下层土壤 (30~100 cm 土层,以“S”开头属性字段) 的砂粒、黏粒百分含量及 USDA 土壤质地分类数据。

2.3 土壤水分常数估算方法

对于 USDA 土壤质地分类系统, Koren 等的研究表明可采用式 (1)~(5),由土壤砂粒、黏粒百分含量及 USDA 土壤质地分类数据可推求三种常见的土壤水分常数^[5,10,11]:

$$\theta_s = -0.00126F_{sand} + 0.489 \quad (1)$$

$$\psi_s = -7.74e^{-0.0302F_{sand}} \quad (2)$$

$$b = 0.159F_{clay} + 2.91 \quad (3)$$

$$\theta_{fc} = \theta_s (\psi_{fc} / \psi_s)^{-1/b} \quad (4)$$

$$\theta_{wp} = \theta (\psi_{wp} / \psi_s)^{-1/b} \quad (5)$$

式中: θ_s 、 θ_{fc} 、 θ_{wp} 分别为采用体积含水率表示的饱和含水量、田间持水量、凋萎系数; F_{sand} 为土壤砂粒百分含量,%; F_{clay} 为土壤黏粒百分含量,%; ψ_s 为饱和基

质势, kPa; b 为坎贝尔 (Campbell) 斜率; ψ_{fc} 为田间持水质势, 对于编号为 1~3 的 USDA 土壤可取 -10kPa, 其他 USDA 土壤可取 -20kPa; ψ_{wp} 为凋萎基质势, 可取 -1 500kPa。

应用式 (1)~(5) 推求土壤水分常数时需要判别各栅格土壤的 USDA 质地分类, 采用 HWSD 的优势在于该数据集不仅提供了栅格土壤成分百分含量数据, 而且提供了栅格土壤的 USDA 土壤质地分类数据, 为采用程序计算区域土壤水分常数带来了很大的便利。

3 实例应用

3.1 呼兰河流域概况

黑龙江省是中国最北、最东、最冷的寒区省份, 呼兰河水系位于该省中部, 是松花江左岸支流, 发源于小兴安岭西麓, 最大支流为诺敏河和通肯河, 在与通肯河交汇后改向南流, 至哈尔滨市呼兰区流入松花江。呼兰河兰西站以上集水区 (以下称呼兰河流域) 面积为 27 736km², 应用 DEM 数据确定呼兰河流域包含 221 行 339 列, 共计 47 824 个栅格, 单栅格所占面积约 0.58km², 见图 1; 利用呼兰河流域 DEM 数据从 HWSD 中提取的上、下层土壤砂粒、粘粒百分含量及 USDA 土壤质地栅格数字图见图 2、图 3。

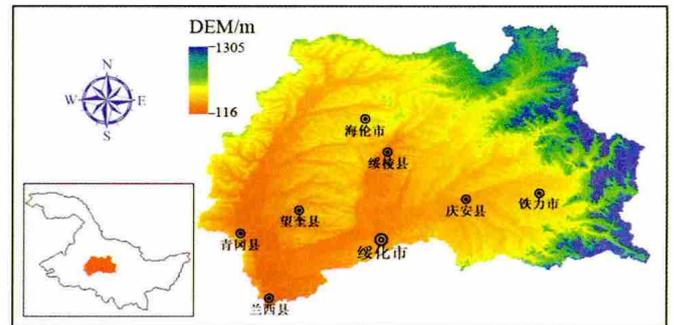


图 1 呼兰河流域在黑龙江省位置及其地形图
Fig.1 The location and topography of the Hulanhe river basin

3.2 呼兰河流域栅格土壤水分常数估算

利用前述公式, 应用提取的土壤砂粒、粘粒百分含量及 USDA 土壤质地分类栅格数据, 采用 MATLAB 语言编程计算上、下两土层各栅格的凋萎系数、田间持水量及饱和含水量, 将计算结果输出为 30" 分辨率的 TXT 格式文件后, 再应用 ArcMap 软件制成三种土壤水分常数栅格数字图, 见图 4、图 5。

3.3 呼兰河流域栅格土壤水分常数数据提取

对于呼兰河流域内的任意地点, 依据该点地理坐标

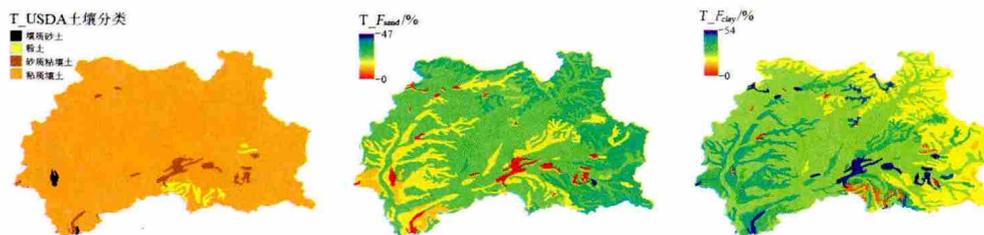


图2 呼兰河流域上层土壤三种属性数字图
Fig.2 The topsoil characteristics digital map of the Hulanhe river basin

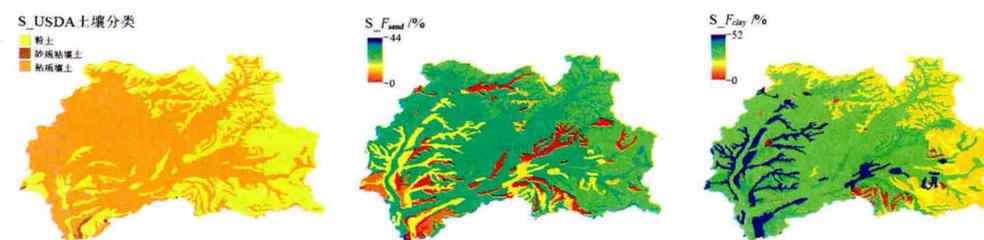


图3 呼兰河流域下层土壤三种属性数字图
Fig.3 The subsoil characteristics digital map of the Hulanhe river basin

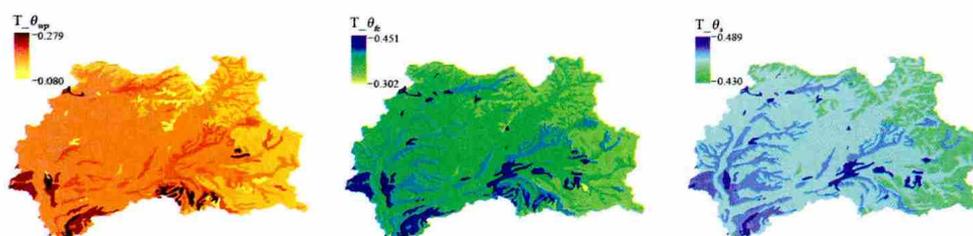


图4 呼兰河流域上层土壤三种土壤水分常数数字图
Fig.4 The topsoil moisture constants digital map of the Hulanhe river basin

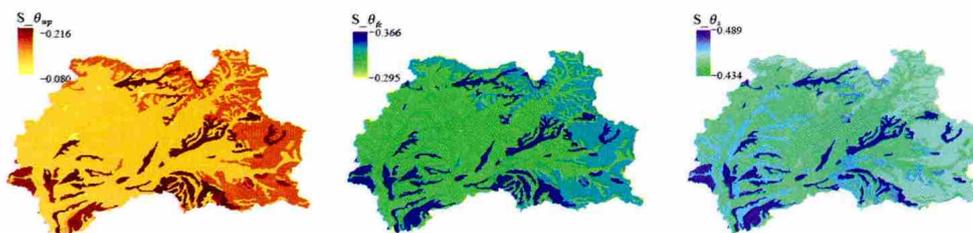


图5 呼兰河流域下层土壤三种土壤水分常数数字图
Fig.5 The subsoil moisture constants digital map of the Hulanhe river basin

能够确定该点所在的栅格,编制相应程序即可从计算成果(如:TXT 格式文件)中提取出该栅格的数据信息,亦即可以获取该点三种土壤水分常数。表1为呼兰河流域8个县(市)内部分栅格土壤水分常数提取结果。

4 结语

(1)应用 HWSO 土壤砂粒、粘粒百分含量及USDA 土壤质地分类数据可以估算 0~30cm、30~100cm 两种土层的凋萎系数、田间持水量和饱和含水量,空间分辨

率能够达到 30";估算成果可保存为文本文件和数字图,便于根据地理坐标提取数据以及了解每种土壤水分常数的空间分布情况。

(2)需要说明的是,从成果验证角度看,由于呼兰河流域栅格众多,即使能够选取部分栅格开展土壤水分常数观测试验,但这种验证也仅对于试验点附近很小的空间范围有意义。因此,本文重点在于研究如何应用国内外多家权威机构发布的 HWSO 数据集获取较高分辨率、较深土层的区域土壤水分常数的新方法,研究

表1 呼兰河流域8个县市部分栅格土壤水分常数
Table1 Grid soil moisture constants of the 8 cities and counties in the Hulanhe river basin

县市	经度/°	纬度/°	$T_{\theta_{wp}}$	T_{θ_c}	T_{θ_s}	$S_{\theta_{wp}}$	S_{θ_c}	S_{θ_s}
海伦市	126.961	47.460	0.166	0.321	0.441	0.164	0.316	0.439
绥棱县	127.105	47.245	0.166	0.321	0.441	0.164	0.316	0.439
铁力市	128.056	46.944	0.169	0.338	0.452	0.163	0.325	0.446
望奎县	126.478	46.832	0.170	0.328	0.445	0.213	0.362	0.452
庆安县	127.504	46.876	0.170	0.328	0.445	0.213	0.362	0.452
青冈县	126.157	46.724	0.179	0.335	0.446	0.204	0.354	0.450
绥化市	126.984	46.636	0.166	0.321	0.441	0.164	0.316	0.439
兰西县	126.352	46.337	0.146	0.302	0.437	0.143	0.295	0.434

成果可为开展高标准农田建设、水文模型研发等工作提供大量的、空间分辨率较高的土壤水分常数参考数据。

参考文献:

- [1] 郭元裕. 农田水利学 (第三版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. (GUO Yuanyu. Irrigation and Drainage Engineering (third edition) [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1997. (in Chinese))
- [2] 李寿声, 沈菊琴. 水稻水. 肥生产函数及优化灌溉模式 [J]. 水利学报, 1997, (10):18-24. (LI Shousheng, SHEN Juqin. Rice response function to fertilizer and water use and optimal irrigation scheduling[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997, (10): 18-24. (in Chinese))
- [3] 赵人俊. 流域水文模拟—新安江模型与陕北模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984. (ZHAO Renjun. Hydrological Simulation—Xin'anjiang model and North of Shaanxi Model [M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1984. (in Chinese))
- [4] V Koren, M Smith, D Wang, et al. Use of soil property data in the derivation of conceptual rainfall-runoff model parameters [A]. 15th Conference on Hydrology, Long Beach, 2000:103-106.
- [5] V Koren, M. Smith, Q Y Duan. Use of a priori parameter estimates in the derivation of spatially consistent parameter sets of rainfall-runoff models [A]. Q Y Duan, H V Gupta, S Sorooshian, et al. Calibration of Watershed Models [C], 2003:239-254.
- [6] M C Zhou, H Ishidaira, H P Hapuarachchi, et al. Estimating potential evapotranspiration using Shuttleworth-Wallace model and NOAA - AVHRR NDVI data to feed a distributed hydrological model over the Mekong river basin [J]. Journal of Hydrology, 2006, 327:151-173.
- [7] 缪韧. 水文学原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007. (MIAO Ren. The Principle of Hydrology [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2007. (in Chinese))
- [8] 王贵作, 任立良, 王斌. 基于栅格的分布式流域水文模型的构建与应用[J]. 水电能源科学, 2008,26(6):17-20. (WANG Guizuo, REN Liliang, WANG Bin. Grid based distributed watershed hydrological modeling and its application in cold and arid Regions [J]. Water Resources and Power, 2008,26(6):17-20. (in Chinese))
- [9] 王斌,王贵作,黄金柏,等. 栅格分布式水文模型在高寒区日流量模拟中的应用 [J]. 水力发电学报, 2013,32 (6):36-42. (WANG Bin, WANG Guizuo, HUANG Jinbai, et al. Distributed hydrological model based on grid and its application to daily runoff simulation for high-cold region [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013,32(6):36-42. (in Chinese))
- [10] Campbell G S. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data [J]. Soil Science, 1974,117(6): 311-314.
- [11] Cosby B J, Hornberger G M, Clapp R B, et al. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils [J]. Water Resources Research, 1984,20(6):682-690.

Grid Soil Moisture Constants Estimation based on HWSD over Basin

WANG Bin¹, HUANG Jinbai², GONG Xinglong¹

(1. College of Water Conservancy and Building Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. College of Hydraulics, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The wilting point, field capacity and saturated water content are the basis for the scientific research and productive practice. It is necessary to explore the new method for estimating the staple soil water constants by reason that to achieve such soil water constants by way of point-distribution observation is unadvisable. In this study, the Hulanhe River Basin boundary was extracted by using DEM data. The data of percentage composition of sand and clay, and USDA Texture Classification was acquired from Harmonized World Soil Database based on the extracted DEM. The wilting point, field capacity, and saturated water content were estimated by using the acquired three soil properties data. The results indicate that the wilting point, field capacity, and saturated water content in the two soil layers of the depth of 0~30 cm and 30~100 cm in the Hulanhe River Basin could be estimated by using HWSD of the current version, and the spatial resolution of the data was up to 30". Therefore, a new method for achieving the regional soil water constants with high resolution and in the deep soil layer was provided.

Key words: wilting coefficient; field capacity; saturated water content; HWSD; Hulan River Basin