

文章编号: 1006-4710(2012)02-0127-05

DEM 数据分辨率对黑河金盆水库流域 地形参数提取的影响分析

李抗彬, 沈冰, 李智录

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 根据陕西省黑河金盆水库流域不同分辨率的 DEM 数据, 采用数理统计方法分析 DEM 数据分辨率的变化对流域地形参数提取的影响, 为建立流域分布式水文模型前期 DEM 数据分辨率的选择提供参考依据。对流域不同分辨率 DEM 数据分析得到: 随着流域 DEM 数据分辨率的降低, 流域的粗糙度值、最大坡度及平均坡度值、最大高程值、平面曲率和剖面曲率最大值及最小值的绝对值均有减小的趋势, 最小高程有增大的趋势, 坡向在 DEM 数据分辨率降低到一定程度时会出现较大变化, 地形指数变化范围更趋于集中。

关键词: 数字高程模型; 分辨率; 地形参数; 黑河金盆水库

中图分类号: P228 **文献标志码:** A

An Analysis of Terrain Parameters Extraction in Heihejinpen Reservoir Basin Affected by DEM Data Resolution

LI Kangbin, SHEN Bing, LI Zhilu

(Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Based on the different resolutions digital elevation model (DEM) data in Heihe Jinpen reservoir basin in Shaanxi Province, the mathematical statistical method is adopted to analyze the impact of changes in the DEM data resolution on the basin topographic parameters extracted so as to provide a reference for the establishment of the choice of DEM data resolution in distributed watershed hydrological model in this paper. The results obtained from analyzing different resolutions DEM data in the basin indicate: With the decrease in resolution of the DEM data, there appears to have decreasing tendency in basin roughness value, the maximum slope and average slope value, the maximum elevation value, the maximum and minimum absolute value of plane and profile curvature, the minimum elevation trends to increase; there will be a larger change in the slope direction when the DEM resolution drops to a certain extent, and the topographic index range tend to be more concentrated.

Key words: digital elevation model (DEM); resolution; terrain parameters; Heihe Jinpen Reservoir

数字高程模型 (DEM) 是地理信息系统地理数据库中最为重要的空间信息资料和赖以进行地形分析的核心数据系统。DEM 数据在测绘、水文、资源与环境等应用领域发挥越来越大的作用^[1]。从 DEM 数据提取流域的坡度、坡向、汇流长度、地形指数等地形参数, 已经成为流域分布式水文模型前期数据准备的必备部分。如 Topmodel 模型^[2], SHE 模

型^[3], GBHM 模型^[4]等都融入了流域单元格坡度的计算、子流域的划分、河网水系的拓扑结构定义等地形特征参数提取分析功能。但是同一个流域由于 DEM 数据分辨率的不同, 提取流域的地形参数往往会有较大的变化, 因此有必要进行不同 DEM 数据分辨率对流域地形参数提取的影响分析。

本文以发源于秦岭太白山北麓的黑河出峪口以

收稿日期: 2011-10-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50939004)。

作者简介: 李抗彬 (1981-), 男, 陕西韩城人, 博士生, 研究方向为流域水文模拟及水利信息自动化。E-mail: winer891@sina.com。沈冰 (1948-), 男, 浙江湖州人, 教授, 博导, 博士, 研究方向为旱区水文过程及水资源演变。E-mail: shenbing@xaut.edu.cn。

上流域为例,采用 SRTM_DEM 数据^[5],运用 ARC-GIS 软件进行地形参数数据的提取及处理,并分析不同 DEM 分辨率对所提取的流域地形特征参数影响的变化趋势。

1 流域概况及研究方法

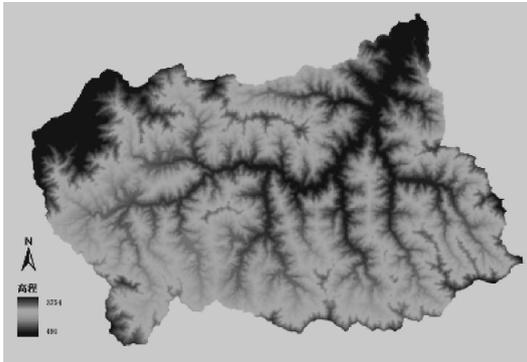


图1 研究流域高精度栅格 DEM 图

Fig. 1 The high precision grid DEM map of research basin

选取渭河支流黑河流域的金盆水库控制流域为研究对象,该流域位于东经 $107^{\circ}43' \sim 108^{\circ}24'$,北纬 $33^{\circ}42' \sim 34^{\circ}13'$,主河道由西南流向东北,流域面积 1841 km^2 ,流域海拔高程范围为 $491 \sim 3754 \text{ m}$ 。研究流域高精度栅格 DEM 数据水平空间分辨率为 30 m (如图 1)。根据流域情况采用 ARCGIS 软件对研究流域高精度栅格 DEM 数据进行投影和重采样,生成栅格边长分别为 30 m 、 50 m 、 100 m 、 200 m 、 400 m 、 600 m 、 800 m 、 1000 m 、 1200 m 共 9 个不同分辨率的 DEM 栅格数据,分析统计 DEM 数据分辨率的变化对研究流域地形参数提取的影响。

2 分辨率对研究流域各地形参数影响分析

2.1 地形粗糙度

地形粗糙度是地形曲面特征描述的宏观因子,主要用来刻画地表地势起伏的复杂程度^[6-7]。地形粗糙度(k)用地表的实际面积(S_{surface})与其投影面积($S_{\text{projection}}$)的比值来表示:

$$k = \frac{S_{\text{surface}}}{S_{\text{projection}}} \quad (1)$$

对于同一研究流域,在 DEM 数据分辨率确定情况下地形粗糙度为一个定值,因此可以采用 ARCGIS 软件中 3DAnalyst 模块的面积计算模块,分别对研究流域不同 DEM 数据分辨率下的地形粗糙度进行计算,并分析不同 DEM 数据分辨率对地形粗糙度的影响。图 2 为通过计算绘制不同 DEM 数据分辨率下研究流域的地形粗糙度变化过程。

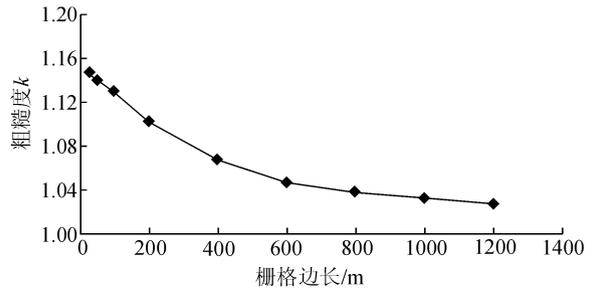


图2 不同 DEM 数据分辨率研究流域的地表粗糙度变化统计图

Fig. 2 The change of statistical figure of surface roughness in the research basin with different DEM resolution

从图 2 可以看到,研究流域的地形粗糙度 k 随着流域 DEM 数据分辨率的降低呈递减趋势,其变化率随 DEM 数据分辨率的降低也减小,当栅格边长大于 600 m ,地表粗糙度的变化率明显变小。说明随着 DEM 数据分辨率的降低,DEM 数据对地形粗糙度的描述精度在逐渐下降,粗糙度 k 越接近于 1,表明地形的失真越严重。

2.2 坡度、坡向

坡度是拟合平面法线与水平面法线之间的夹角,反映地表在某点的倾斜程度^[8-10]。坡向则是拟合平面法线在水平面上投影的方位角,是最大坡度的朝向。通常人们对坡度、坡向计算最简单的方法为最大坡降法,采用 3×3 窗口在 DEM 数据高程矩阵中连续移动计算,最终完成整幅图的计算。由于坡度、坡向不仅直接影响地表的物质流和能量的分配、土壤的发育、植被的种类与分布,同时也制约着土地的利用类型与方式^[11],因此分析不同 DEM 数据分辨对研究流域坡度、坡向的影响,对流域地形分析及水流模拟分析都具有重要意义。针对研究流域在不同 DEM 数据分辨率情况下,采用 ARCGIS 软件提取的流域坡度、坡向变化统计分别如图 3 及图 4 所示。

从图 3 可以看到,随着 DEM 数据分辨率降低,研究流域提取的最大坡度、平均坡度以及计算的标准差有逐渐减小趋势。DEM 数据栅格边长由 30 m 增加 1200 m ,坡度最大值由 77.4° 减至 20.1° ,坡度平均值由 24.2° 减至 7.8° ,表明由于栅格增大使得地形表面变缓,对地形的概括性变大,地形局部的失真程度变大;从图 4 可以看到,随着 DEM 数据分辨率的降低,研究流域中平坦区域所占比例逐渐减小,其他八个方向所占比例的变化在栅格边长小于 800 m 时,变化相对平稳,当栅格边长大于 800 m 时,个别坡向所占比例出现较大的波动,表明随着 DEM 数据栅格边长增大,原有地貌的一些细部特征被简单化,平坦区域在减少,但是当栅格边长增大到某一特

定值后,会引起研究流域局部的地貌形态及计算水流特征发生变化。

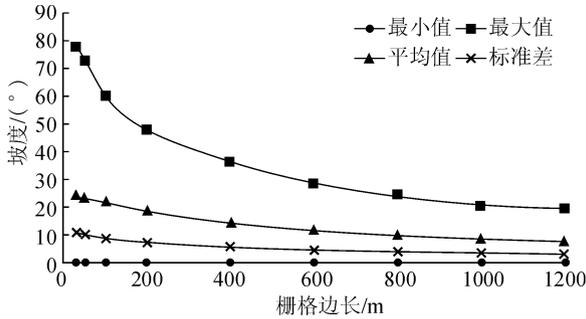


图3 不同 DEM 数据分辨率研究流域的坡度变化统计图
Fig. 3 The change of statistical figure of slope in the research basin with different DEM resolution

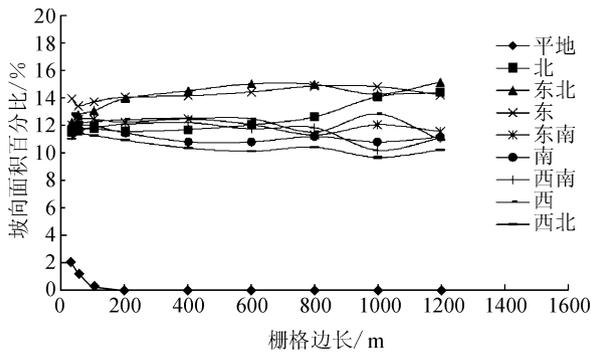


图4 不同 DEM 数据分辨率研究流域的坡向变化统计图
Fig. 4 The change of statistical figure of the direction of slope in the research basin with different DEM resolution

2.3 高程

流域高程大小及其分布变化在一定程度上同样可以反映流域地形的复杂程度,根据不同的 DEM 数据分辨率统计分析研究流域最大、最小、平均高程的变化,如图 5 所示。从图 5 可以看到,在该研究流域平均高程、均方差随 DEM 数据分辨率的降低基本上保持不变,最大高程随 DEM 数据分辨率的降低有减小的趋势,而最小高程随 DEM 数据分辨率的降低有变大的趋势,但变化趋势相对比较稳定。这些变化也表明随着 DEM 数据分辨率的降低,研究流域存在被坦化的趋势,部分地形信息损失。

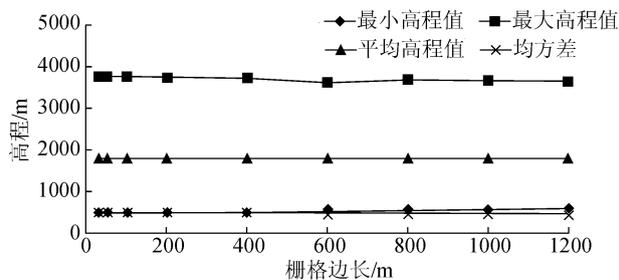


图5 不同 DEM 数据分辨研究流域的高程变化统计图
Fig. 5 The change of statistical figure of elevation in the research basin with different DEM resolution

2.4 地面曲率

地面曲率是对地表每一点弯曲程度的表征,地面曲率在垂直和水平方向的分量分别为剖面曲率和平面曲率^[12]。剖面曲率是指在地面上任意一点地表坡度的变化率,它反映地面坡度的变化,是衡量地形起伏变化特征的重要指标之一;平面曲率指在地形表面上任意一点,用通过该点水平面沿水平方向切地形表面所得的曲线在该点的曲率值,它反映地表上每一点所在之处等高线的弯曲光滑程度,是衡量制图综合效果的重要指标^[13]。在不同 DEM 数据分辨率下,研究流域剖面曲率及平面曲率最大值、最小值、平均值的变化曲线分别如图 6、7 所示。

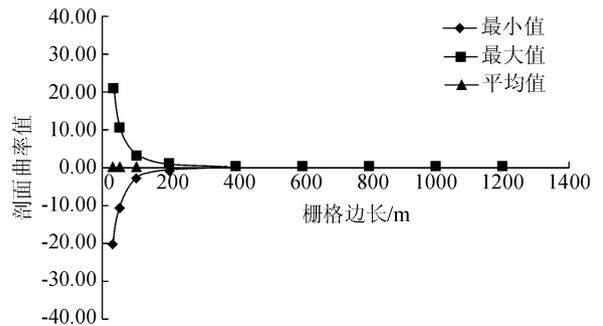


图6 不同 DEM 数据分辨率研究流域的剖面曲率变化曲线
Fig. 6 The change curve of the profile curvature in the research basin with different DEM resolution

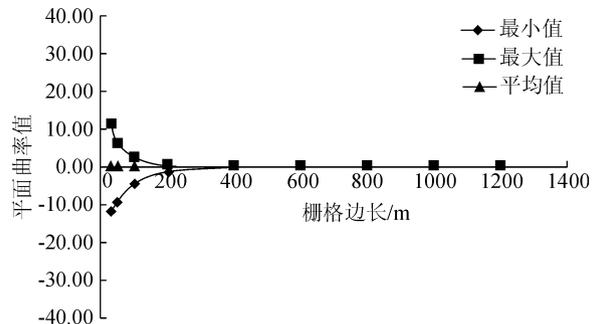


图7 不同 DEM 数据分辨率研究流域的平面曲率变化曲线
Fig. 7 The change curve of the plane curvature in the research basin with different DEM resolution

从图 6、7 可以看到,随着 DEM 数据分辨率的降低,研究流域地面剖面曲率和平面曲率的最小值在增大,最大值在减小,平均值变化较小。根据剖面曲率和平面曲率的综合含义来看:剖面曲率的变化表明随研究流域 DEM 数据分辨率的降低,流域的起伏度变化特征精度减小,地形的复杂度在减小;平面曲率的变化表明随着研究流域 DEM 数据分辨率的降低,提取的流域等高线变得比较光滑,使得制图的效果提高。

2.5 地形指数

地形指数是单宽上坡集水面积和地面坡度之商

的自然对数,它可以用来表征流域含水量的分布情况^[9,14-15],通常也称为地形湿度指数。地形指数的计算公式为:

$$w = \ln(A_s/\tan\beta) \quad (2)$$

对于 DEM 栅格数据,(2)式中: w 表示栅格地形指数值; A_s 表示上坡区域通过单位等高线长汇集到此栅格单元的面积,主要反映径流在流域中任意一点的累积趋势; β 表示该栅格单元网格坡度角, $\tan\beta$ 为网格单元的坡度值,主要反映在重力作用下流域径流沿坡面移动的趋势^[16]。从公式(2)可以看到,地形指数与某点单位等高线长度的汇水面积成正比,与该点处的坡度成反比^[17]。由于单宽上坡的集水面积受 DEM 数据分辨率的影响比地面坡度小,因此地形指数受到 DEM 数据分辨率影响主要是由于地面坡度的变化影响造成的。对于地形指数,作为半分布式水文模型 Topmodel 模型的重要输入量,在不同 DEM 分辨率下提取研究流域的地形指数直接会影响模型的模拟效果^[18-20]。针对研究流域不同 DEM 数据分辨率下提取的地形指数频率分布曲线图如图 8 所示。

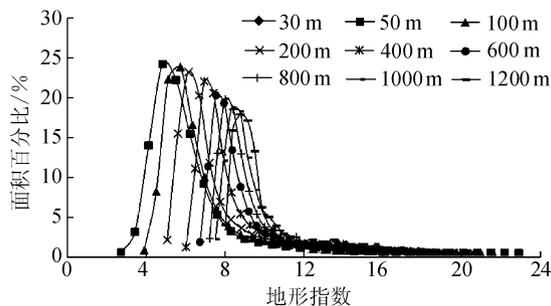


图 8 不同 DEM 数据分辨率研究流域的地形指数变化统计图
Fig. 8 The change of statistical figure of terrain index in the research basin with different DEM resolution

由图 8 可以看到,由于 DEM 数据分辨率的降低引起地面坡度发生变化,从而导致地形指数随 DEM 数据分辨率发生较大变化,地形指数最小值由 1.75 增加至 8.07,而地形指数最大值由 23.21 减少至 18.91,平均值也有变大的趋势,表明在研究流域 DEM 数据分辨率的降低,使得一些较陡峭的山坡地形变缓,而一些原本比较平坦的地形变成缓坡地形,地形信息发生了变化;同时也说明 DEM 数据分辨率越低,研究流域的地形信息损失也越大。

3 结论

本文以陕西省黑河金盆水库流域的 DEM 数据为研究对象,流域在不同 DEM 数据分辨率情况下的地形参数进行统计分析,以确定 DEM 数据分辨率对

流域地形参数的影响,从而为建立研究流域分布式水文模型服务。通过统计分析得到以下结论:

1) 研究流域地形粗糙度随 DEM 数据分辨率在逐渐减小,其值趋近于 1,表明地形的失真程度越大,地形信息损失越严重;

2) 随着研究流域 DEM 数据分辨率的降低,统计的流域地表最大坡度、平均坡度以及均方差在逐渐减小,表明地形表面发生坦化;坡向的统计结果表明:随着 DEM 数据分辨率的降低,研究流域平地逐渐减少,其他坡向的统计面积百分比在 DEM 数据栅格边长小于 800 m 时变化相对稳定,但是在 DEM 数据栅格边长大于 800 m 时,个别坡向的面积百分比发生较大波动,表明流域局部地貌特征或水流形态发生较大的变化,地形信息失真严重;

3) 随着 DEM 数据分辨率的降低,研究流域最大高程有缓慢减小的趋势,最小高程有缓慢增大的趋势,而平均高程变化较小;

4) 随着 DEM 数据分辨率的降低,研究流域剖面曲率以及平面曲率的绝对值有变小的趋势,表明研究流域的地面坡度在减小,地形起伏度的特征精度也在减小,同时流域等高线的变得比较光滑;

5) 地形指数随研究流域 DEM 数据分辨率的降低发生较大的变化,变化表明流域的陡坡地形以及平坦区域在减少,缓坡地形在增加。

参考文献:

- [1] 汤国安,赵牡丹,曹茜. DEM 地形描述误差空间结构分析[J]. 西北大学学报:自然科学版,2000,30(4):349-352.
Tang Guoan, Zhao Mudan, Cao Han. An investigation of the spatial structure of DEM errors [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2000, 30(4): 349-352.
- [2] Beven K, Kirkby M J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology [J]. Hydrological Science Bulletin 1979,24:43-69.
- [3] Abbott M B, Bathurst J C, Cunge J A, et al. An introduction to the European hydrological system-systeme hydrologique Europeen, "SHE", 2: structure of a physically-based, distributed modeling system [J]. Journal of Hydrology, 1986, 87:61-77.
- [4] Yang D, Herath S, Musiak K. Development of a geomorphology-based hydrological model for large catchments [J]. Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 1998, 42:169-174.
- [5] 刘金涛,陆春雷. DEM 分辨率对数字河网水系提取的影响趋势分析[J]. 中国农村水利水电,2009,(3):7-9.

- Liu Jintao, Lu Chunlei. Trend analysis of digital drainage network extraction affected by DEM resolution [J]. China Rural Water and Hydropower, 2009, (3):7-9
- [6] 周启鸣,刘学军. 数字地形分析[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [7] 何政伟,许辉熙,张东辉,等. 最佳 DEM 分辨率的确定及其验证分析[J]. 测绘科学,2010,35(2):114-116.
He Zhengwei, Xu Huixi, Zhang Donghui, et al. Identifying the optimal DEM resolutions and analyses of simulation results [J]. Science of Surveying and Mapping, 2010, 35(2):114-116.
- [8] 师维娟. 基于 DEM 和 GIS 的坡度变换方法研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.
Shi Weijuan. The study on slope rescaling based on DEM and GIS methods [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2007.
- [9] 郝振纯,池宸星,王玲,等. DEM 空间分辨率的初步分析[J]. 地球科学进展,2005,20(2):499-504.
Hao Zhenchun, Chi Chenxing, Wang Ling, et al. A preliminary analysis of DEM space data resolution [J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(2):499-504.
- [10] 刘红艳,杨勤科,牛亮,等. 坡度与水平分辨率关系的初步研究[J]. 水土保持研究,2010,17(4):34-37.
Liu Hongyan, Yang Qinke, Niu Liang, et al. Relationships between DEM-derived slope and horizontal resolution [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(4):34-37.
- [11] 宋佳,汤国安,王春,等. DEM 提取坡度产生的边缘效应分析[J]. 水土保持通报,2006,26(3):82-85,116.
Song Jia, Tang Guoan, Wang Chun, et al. Edge effect analysis on deriving slope from grid DEM [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2006, 26(3):82-85,116.
- [12] 何丽丽. 基于不同比例尺和分辨率 DEM 的数字地形分析[D]. 重庆:西南大学,2007.
He Lili. Digital terrain analysis based on different scales and resolutions DEMs [D]. Chongqing: Southwest University, 2007.
- [13] 牛亮. 坡度与分辨率关系研究[D], 西安:西北大学,2010.
Niu Liang. Relationships between slope and resolution [D]. Xi'an: Northwest University, 2010.
- [14] 鲍伟佳,程先福,陈旭东. DEM 水平分辨率对流域特征提取的影响[J]. 水土保持研究,2011,18(2):129-132,138.
Bao Weijia, Cheng Xianfu, Chen Xudong. Effect of horizontal resolution of raster DEM on drainage basin characteristics [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(2):129-132,138.
- [15] 林凯荣,刘珊珊,陈华,等. DEM 网格尺度对水文模拟影响研究[J]. 水力发电,2007,33(12):12-14.
Lin Kairong, Liu Shanshan, Chen Hua, et al. Effects and study of digital elevation model grid scale on hydrological modeling [J]. Water Power, 2007, 33(12):12-14.
- [16] 马建超,林广发,陈友飞,等. DEM 栅格单元异质性地形湿度指数提取的影响分析[J]. 地球信息科学学报,2011,13(2):157-163.
Ma Jianchao, Lin Guangfa, Chen Youfei, et al. The effects of terrain heterogeneity on topographic wetness index [J]. Journal of Geo-Information Science, 2011, 13(2):157-163.
- [17] 徐静,任立良,程媛华,等. 不受 DEM 空间分辨率影响的地形指数计算[J]. 清华大学学报:自然科学版,2008,48(6):983-986.
Xu Jing, Ren Liliang, Cheng Yuanhua, et al. Topographic index calculation that is independent of the DEM spatial resolution [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2008, 48(6):983-986.
- [18] 钟凯文,解靓,孙彩歌. DEM 分辨率对 TOPMODEL 模拟精度影响研究[J]. 人民珠江,2009,(3):43-45,67.
- [19] 孙立群,胡成,陈刚. TOPMODEL 模型中的 DEM 尺度效应[J]. 水科学进展,2008,19(5):699-706.
Sun Liqun, Hu Cheng, Chen Gang. Effects of DEM resolution on the TOPMODEL [J]. Advances in Water Science, 2008, 19(5):699-706.
- [20] 林凯荣,郭生练,熊立华,等. DEM 栅格分辨率对 TOPMODEL 模拟不确定性的影响研究[J]. 自然资源学报,2010,25(6):1022-1032.
Lin Kairong, Guo Shenglian, Xiong Lihua, et al. The Impact of DEM resolution on TOPMODEL simulation uncertainty [J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(6):1022-1032.

(责任编辑 杨小丽)