

基于 DEM 的黑龙江宾州河流域水系提取试验研究

关颖慧^{1,2}, 郑粉莉^{1,2}, 王 彬^{1,2}, 丁晓斌^{1,2}, 柳艺博³

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093)

摘 要: 基于数字高程模型(digital elevation models, DEM)提取河网及相关流域信息是数字水文研究中的热点问题。以东北黑土区宾州河流域为研究区域,采用 5 m 分辨率的 DEM 作为研究数据,运用 ArcGIS 9.2 中的 Hydrology 水文处理工具包(Arc Hydro Tools)提取研究区河网特征。研究结果表明,分别采用 0.75,1.25,2,2.5,3.75 和 5 km² 的集水面积阈值提取流域河网特征时,不同集水面积阈值对确定主河道的空间位置影响较小,但提取的数字流域河网特征会发生较大变化。基于河网密度与集水面积阈值及河源密度与集水面积阈值的关系探讨了适宜的集水面积阈值确定方法,发现取集水面积阈值为 2 km² 时提取的河网特征与实际水系特征基本吻合,精度达 95% 以上。因此,基于 Arc Hydro Tools 的流域特征自动提取是切实可行的。

关键词: 河网提取; 集水面积阈值; 数字高程模型; 水文处理工具包
文献标识码: B 文章编号: 1000-288X(2012)01-0127-05 中图分类号: P208

DEM Based Extraction of River Networks in Binzhou River
Basin of Heilongjiang Province

GUAN Ying-hui^{1,2}, ZHENG Fen-li^{1,2}, WANG Bin^{1,2}, DING Xiao-bin^{1,2}, LIU Yi-bo³

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract: Extracting river network characteristics based on digital elevation model(DEM) is a hotspot in digital hydrology research. By taking Binzhou River basin in the black soil region of Northeast China as an example and using 5-meter resolution DEM as the data for study, river network features were extracted by applying Arc Hydro Tools in ArcGIS 9.2 version. Results showed that when different drainage networks were extracted by setting drainage area threshold value to be 0.75, 1.25, 2, 2.5, 3.75, and 5 km², respectively, different threshold values had very little effect on spatial position of the main stream network, but extracted river network features of the digital watershed changed greatly. A method for setting a suitable threshold value was proposed based on the relation of source density/drainage density with drainage area threshold. It was found that when drainage area threshold was 2 km², extracted river network features were basically consistent with actual drainage net features, with prediction accuracy reaching 95%. Therefore, automatic extraction of watershed features based on Arc Hydro Tools is feasible.

Keywords: river network extracting; drainage area threshold; digital elevation model(DEM); Arc Hydro Tools

随着计算机技术和系统理论不断发展,水文科学与计算机及地理信息科学的交叉形成了当前研究比较活跃的数字水文学^[1]。数字高程模型(digital elevation model, DEM)已成为数字流域地貌特征的常用表达形式。基于 DEM 直接提取流域信息逐渐成为一种自动获取水系和子流域特征的有效途径,成为数字流域、分布式水文模型和土壤侵蚀模型的关键技术环节^[2-5]。然而,由于河网自动提取受 DEM 精度、

收稿日期:2011-02-27 修回日期:2011-09-02
资助项目:国家重点基础研究发展计划资助“不同类型区土壤侵蚀过程与机理”(2007CB407201)
作者简介:关颖慧(1988—),女(汉族),河南省周口市人,在读硕博生,主要从事地理信息系统方面的研究。E-mail:gyhdem@yahoo.com.cn。
通信作者:郑粉莉(1960—),女(汉族),陕西省西安市蓝田人,研究员,博士,博士生导师,主要从事土壤侵蚀过程及预报和土壤侵蚀环境效应评价研究。E-mail:flzh@ms.iswc.cn。

地形复杂度、沟谷网络结构特征及模拟方法等影响,具有较大的不确定性^[6]。其中,集水面积阈值的确定是影响河网自动提取精度的重要因素之一^[7-8],如何确定合适的集水面积阈值显得尤为重要。

运用 GIS 中栅格系统的空间分析方法来提取河网信息,进而研究流域地表水文特征,国外已开展了大量的研究。在常规的 GIS 水文分析方法中,集水面积阈值是计算与显示水道起始点出现的决定因素^[7]。Martz 等^[9]认为,集水面积阈值具有一定的地貌局限性,错误地使用其他地貌类型适用的阈值,将会得到大量的伪河道。Tribe^[10]指出解决伪河道问题的方法是考虑地貌参数的空间变化,即不同类型的区域设置不同的阈值,或者考虑反映地貌空间差异性的其它参数。Gyasi-Agyei 等^[11]则从稳定性阈值概念出发,提出了由数字高程数据提取河网时正确估计临界集水面积的方法,但由于该方法过于复杂,难以被推广应用。

国内对采用 DEM 自动提取流域河网的研究处于起步阶段。李翀等^[12]开发了 DEM 凹陷区域识别与处理、河网自动生成与流域划分软件。孙友波等^[13]对阈值与平均坡度和沟谷网络总长度进行了研究。黎展荣等^[14]提出一种基于 DEM 的河网快速提取算法,该算法避免了平行水流和断流的产生,实现了河网的快速提取。

目前,国内已有研究多集中于地形起伏较大的黄土高原等地区,鉴于东北漫岗丘陵区的地貌特征,已有研究成果的适用性有待验证。因此,本文采用 ArcGIS 9.2 中的 Hydrology 水文处理工具包对栅格 DEM 进行填洼处理,利用填洼后的 DEM 进行水文分析,计算水流方向和汇流累积量,并提取河网和进行流域划分与河网分级。在此基础上,分析集水面积阈值与河网密度和河源密度的关系探讨东北黑土区集水面积阈值的设定对数字流域河网提取精度的影响。研究结果对于完善河网自动提取的理论与方法具有重要意义,并为建立分布式水文模型及非点源污染模型提供水文参数。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于黑龙江省宾县宾州河流域,地理坐标为 $127^{\circ}26'04''$ — $127^{\circ}32'02''$ E, $45^{\circ}43'13''$ — $45^{\circ}51'37''$ N,属松嫩平原东部边缘的薄层黑土区。该区地处张广才岭支脉,为漫岗丘陵地貌,地势平缓,耕地坡度多变化于 1° ~ 7° ,坡长达数百米,甚至数千米。年均降雨量为 548.5 mm,年际变化大且分布不均,多集中

于 6—9 月份,占全年降水量的 78.7%^[15]。研究区内主要河流海里浑河发源于新立乡大同村海里浑山,沿途经过新立、三宝、宾州、乌河、民和 5 乡镇,注入松花江。海里浑河是宾县的县内河,流经县城以后,被俗称为宾州河。宾州河流程总长度 43.3 km,流域面积 329 km²,多年平均年径流量 2.96×10^7 m³,多年平均径流深 90 mm,支流流程总长 63 km。

1.2 数据源及预处理

基于黑龙江省测绘局 1981 年(共 20 幅,等高距为 2.5 m)和 1988 年(共 8 幅,等高距为 5 m)1:1 万地形图(1954 北京坐标系),采用 Geoway 3.5 对覆盖研究区的 28 幅地形图进行矢量化,并对等高线和高程点赋高程值;然后,对按照国家标准分幅为单元的图幅进行接边、拼接,并进行文件格式转换,即将其输出为 ArcGIS 的 shp 格式文件,导入 ArcGIS 中并加载空间坐标系;最后,在 ArcGIS 9.2 中采用 ANU-DEM 方法^[16]生成 5 m×5 m 的栅格 DEM。研究区数字水系图由同比例尺 1:1 万地形图获得(绘制标准是只绘制常年河流,不绘制季节河流)。

1.3 研究方法

刘学军等^[17]对目前流行的 5 种路径算法 D 8, Rho 8, FMFD, Dinf 和 DEMON 进行了对比分析,发现 DEMON 和 Dinf 算法在河网提取中的误差较小,而 D 8 算法误差较大;同时,也指出 DEMON 算法在算法设计和存储结构方面较复杂、执行效率低,而 Dinf 算法虽具有较小的 RMSE,但受 DEM 的误差影响较大。相比而言,由于 D 8 算法结构简单,应用范围广,操作简便,被诸多学者应用,并得到了较好的效果。孙庆艳等^[18]用 ArcGIS 9.2 地理信息系统软件进行流域水文信息特征的提取,指出基于地表漫流模型的流域数字河网提取算法是成熟而且有效的,结果合理可信,所提取河网特征与实际河流水系特征基本吻合,能够满足科学研究和实际工程的应用。

本研究区位于东北漫岗丘陵区,鉴于其地形平缓和地表径流大多为漫流的特点,选取地表径流漫流模型提取水系的算法(D 8 算法)提取河网特征,分析集水面积阈值与河网密度和河源密度的定量关系,采用河网密度及河源密度与集水面积阈值幂函数的二阶导数作为临界阈值的选择指标。

2 结果分析

2.1 集水面积阈值对河网提取的影响

基于 ArcGIS 9.2 的 Hydrology 水文处理工具包,分别采用 0.75, 1.25, 2, 2.5, 3.75 和 5 km² 共 6 个集水面积阈值提取河网信息,得到流域河网图(图

1)。通过对比发现,不同集水面积阈值对确定主河道的空间位置影响较小,但提取的数字流域河网的特征会发生明显变化,可见集水面积阈值对河网提取的详细程度具有重要影响。

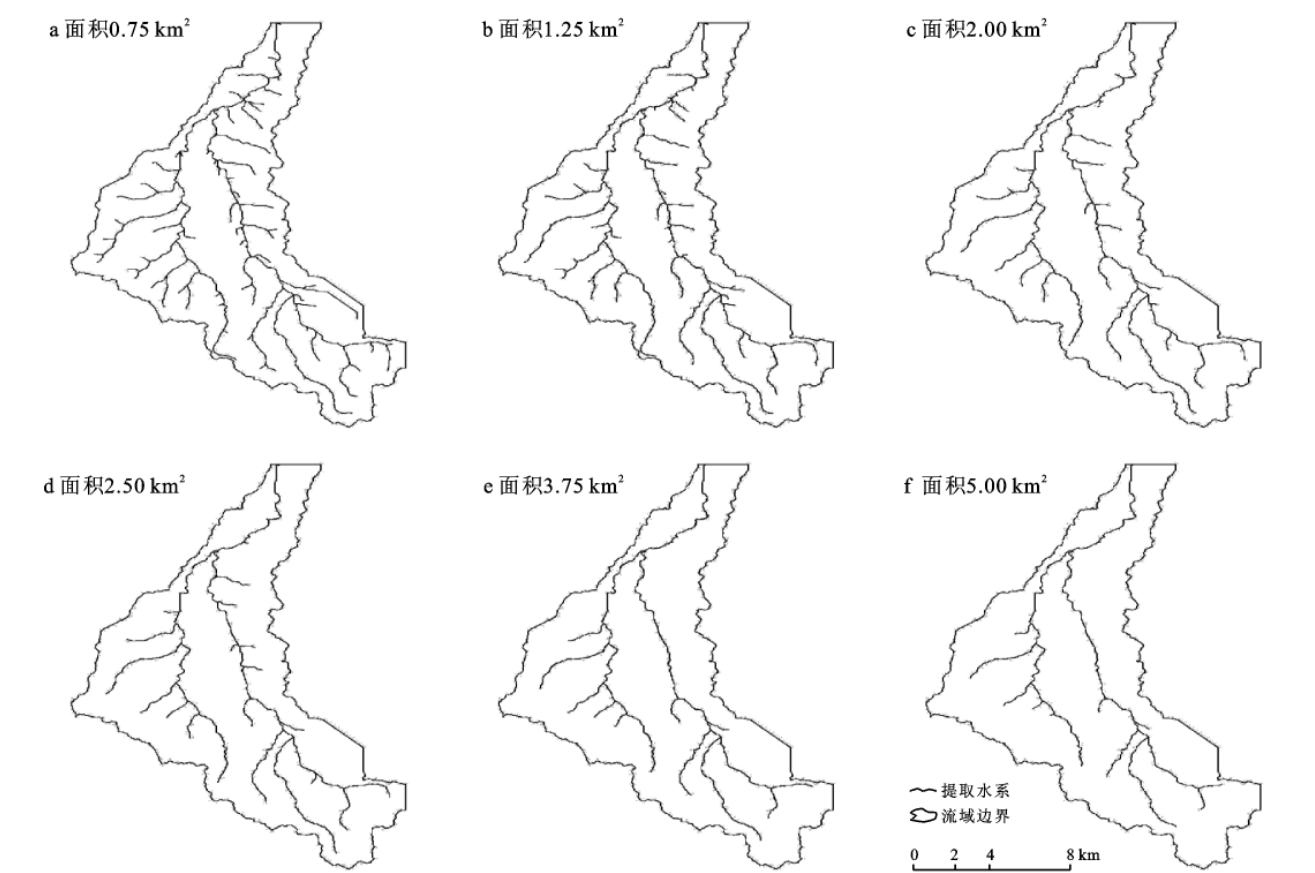


图 1 流域河网随集水面积阈值变化

由图 1 可见,随集水面积阈值的增大,模拟河网随之稀疏。当集水面积阈值由 0.75 km² 增至 5 km² 时,各级河网的条数分别呈现不同程度的减少,且减少的幅度随集水面积阈值的增大而逐渐降低(表 1)。这是因为集水面积阈值越大,水流累积栅格图层中超过集水面积阈值的栅格变少,河道起始点的位置向流域地势平坦处“退缩”,河长相应缩短;同时,提取的河流级别随之增高,河道数目逐渐减少,导致河网稀疏。

表 1 不同阈值下各级河网条数变化						
分级	集水面积阈值/km²					
	0.75	1.25	2.00	2.50	3.75	5.00
1	65	38	22	19	13	11
2	15	8	5	2	2	2
3	2	2	2	1	1	1
4	1	1	1	0	0	0

随着集水面积阈值由 0.75 km² 增至 5 km²,河源数、河道数、支流总长、主河长和总河长均呈不同程度的减少,河源数和河道数分别减少了 46 个和 69 条,支流总长和总河长分别减少 52.9 km 和 58.3 km,流域面积无变化(表 2)。

相关参数	集水面积阈值/km²					
	0.75	1.25	2.00	2.50	3.75	5.00
河源数/个	58	35	24	20	15	12
河道数/条	83	49	20	18	16	14
主河长/km	46.2	45.2	43.8	42.0	41.6	40.8
支流总长/km	105.1	78.9	64.0	61.3	55.7	52.2
总河长/km	151.3	124.1	107.8	103.3	97.3	93.0
流域面积/km²	325.9	325.9	325.9	325.9	325.9	325.9

流域的河网密度及河源密度随着集水面积阈值的增加而减少,并呈现由快到慢的减少趋势(表 3)。当集水面积阈值由 0.75 km² 增加到 5 km² 时,河源密度和河网密度的总减少量为 0.141 2 个/km² 和 0.178 9 km/km²。当集水面积阈值由 0.75 km² 增加到 2 km² 时,河源密度和河网密度呈快速下降趋势,前者减少了 0.104 4 个/km²,占总减少量的 73.94%;后者减少了 0.133 5 km/km²,占总减少量的 74.62%。而当集水面积阈值由 2 km² 增加到 5 km² 时,河源密度和河网密度呈缓慢减少趋势,前者减少了 0.036 8 个/km²,占总减少量的 26.06%;后者减少了 0.045 4 km/km²,占总减少量的 25.38%。

表 3 不同阈值下河网密度与河源密度

相关参数	集水面积阈值/km ²					
	0.75	1.25	2.00	2.50	3.75	5.00
河源密度/(个·km ⁻²)	0.178 0	0.107 4	0.073 6	0.061 4	0.046 0	0.036 8
河网密度/(km·km ⁻²)	0.464 3	0.380 8	0.330 8	0.317 0	0.298 6	0.285 4

2.2 集水面积阈值与河网密度和河源密度的关系

选取河网密度和河源密度作为河网提取定量分析的主要指标。通过河网密度和河源密度与集水面积阈值间的拟合关系(图 2a)可见,河网密度及河源密度与集水面积阈值存在显著的幂函数关系,拟合方

程如下:

$Y_1=0.403x^{-0.20} \quad (R^2=0.931) \quad (1)$

$Y_2=0.134x^{-0.84} \quad (R^2=0.996) \quad (2)$

式中: x ——集水面积阈值(km²); Y_1 ——河网密度(km/km²); Y_2 ——河源密度(个/km²)。

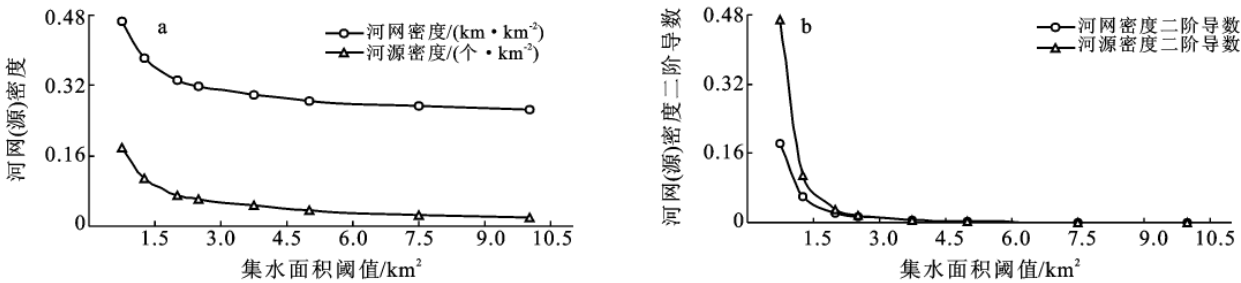


图 2 河网密度、河源密度与集水面积阈值的关系

对河网密度及河源密度与集水面积阈值的幂函数进行二阶求导,发现集水面积阈值在 2~2.5 km² 出现拐点(图 2b)。与实际矢量化水系的河网密度和河源密度相比较,集水面积阈值为 2 km² 时自动提取的河网密度和河源密度与实际值 0.323 1 km/km² 和 0.060 8 个/km² 较接近。因此,与传统方法相比采用上述确定集水面积阈值的方法,避免了利用 DEM 提取流域河网时对阈值手动调节的繁琐过程,保证了模拟结果的高效性和准确性。

DEM 自动提取的流域河网(图 4)进行对比,发现除水系中的低级河流与实际水系图的河道间存在偏差外,两者总体吻合较好,特别是两者的主干河道基本重合。由表 4 可见,自动提取的流域特征与实际流域特征非常相近,流域面积、河流长度、河流条数和支流总长的误差分别为 0.94%,1.1%,5.3%和 1.6%。造成误差的原因,主要是 D 8 算法未考虑随机因素对河流的影响,导致提取水系较平直,在平坦区域处或低洼地出现了大量的平行伪河道^[19],在本研究中有所体现(图 1a)。这虽对流域河网分布及面积估算带来一定误差,但可满足 1:1 万比例尺下数据的精度要求。



图 3 手工矢量化水系

2.3 模拟河网与实际河网的对比分析

为验证上述方法确定的 2 km² 集水面积阈值时自动提取河网的精确度,将矢量化水系(图 3)与基于

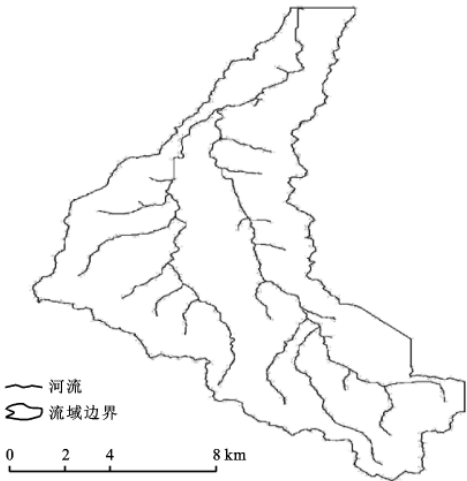


图 4 基于 DEM 提取的河网

表 4 提取河网与实际河网的流域特征对比

相关参数	流域 面积/km ²	河流 长度/km	河流 条数/条	支流总 长度/km
实际河网	329.00	43.30	19.00	63.00
提取河网	325.90	43.80	20.00	64.00
相对误差/%	0.94	1.10	5.30	1.60

3 结 论

本研究基于东北黑土区宾州河流域 1 : 1 万 DEM(5 m 分辨率),运用 ArcGIS 9.2 中的 Hydrology 水文处理工具包提取研究区河网特征,并基于河网密度与集水面积阈值及河源密度与集水面积阈值的关系探讨了确定适宜集水面积阈值的方法。主要研究结论如下。

(1) 集水面积阈值对主干河道的空间位置影响极小,对流域河网特征影响较大。当集水面积阈值由 0.75 km² 增至 5 km²,随集水面积阈值的增大,模拟河网随之稀疏。

(2) 流域的河网密度及河源密度随着集水面积阈值的增加呈减少趋势。集水面积阈值由 0.75 km² 增加到 2 km² 时,河源密度和河网密度皆出现快速下降趋势,二者分别减少 0.104 4 个/km² 和 0.135 5 km/km²;当集水面积阈值由 2 增加到 5 km² 时,河源密度和河网密度呈慢速下降趋势,二者分别减少 0.036 8 个/km² 和 0.045 4 km/km²。

(3) 研究区适宜的数字河网提取阈值为 2 km²。采用河网密度及河源密度与集水面积阈值幂函数的二阶导数作为临界阈值的选择指标,自动提取的河网密度和河源密度(0.330 8 km/km² 和 0.073 6 个/km²)与实际值(0.323 1 km/km² 和 0.060 8 个/km²)相符,避免了传统方法提取流域河网时对阈值手动调节的繁琐过程。

(4) 利用 D 8 算法提取的河网整体效果较好,但也发现水系中的低级河流(主要为 1 级河流)与实际水系的河道间存在一定偏差。建议在今后的研究工作中继续开展不同路径算法在地形平缓区河网特征提取中的差异性研究,以期为漫岗丘陵区及相似地形特点区域的水文分析提供理论参考。

[参 考 文 献]

[1] Singh V P. Kinematic wave modeling in water resource [M]. New York: Environmental Hydrology. 1997:1-10.
[2] Martz W, Garbrecht J. Numerical definition of drainage network and sub-catchment areas from digital elevation models [J]. Computers & Geosciences, 1992, 18(6): 747-761.

[3] 刘家宏,王光谦,王开. 数字流域研究综述[J]. 水利学报, 2006,37(2):240-246.
[4] 王纲胜,夏军,牛存稳. 分布式水文模拟汇流方法及应用[J]. 地理研究,2004,23(2):175-182.
[5] Dietrich W E, Wilson C J, Montgomery D R, et al. Analysis of erosion thresholds, channel networks, and landscape morphology using a digital terrain model[J]. The Journal of Geology, 1993,101(2):259-278.
[6] 刘光,李树德,张亮. 基于 DEM 的沟谷提取算法综述[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(5):11-15.
[7] 李俊,汤国安,张婷,等. 利用 DEM 提取陕北黄土高原沟谷网络的汇流阈值研究[J]. 水土保持通报,2007,27(2):75-78.
[8] 熊立华,郭生练. 基于 DEM 的数字河网生成方法的探讨[J]. 长江科学院院报,2003,20(4):14-17.
[9] Martz W, Garbrecht J. Automated recognition of valley line sand drainage net works from grid digital elevation models: a review and a new method-comment[J]. Journal of Hydrology, 1995,167(1/4):393-396.
[10] Tribe A. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method [J]. Journal of Hydrology, 1992,139(1/4):263-293.
[11] Gyasi-Agyei Y, Willgoose G, De Troch F P. Effects of vertical resolution and map scale of digital elevation models on geomorphological parameters used in hydrology[J]. Hydrol. Proc. , 1995,9(3/4):363-382.
[12] 李翀,杨大文. 基于栅格数字高程模型 DEM 的河网提取及实现[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2004,2(3):802-800.
[13] 孙友波,宫辉力,赵文吉,等. 基于 DEM 的数字沟谷网络生成方法的浅议[J]. 首都师范大学学报:自然科学版,2005,26(2):106-111.
[14] 黎展荣,陈朝晖,卢苇. 一种基于 DEM 的河网快速提取算法[J]. 地理与地理信息科学, 2010,26(1):15-20.
[15] 王彬,郑粉莉,安娟,等. 激光衍射法与吸管法对东北黑土区土壤粒径分布测定的差异性研究[J]. 水土保持通报,2009,29(2):134-139.
[16] 杨勤科,Mcvicar T R,李领涛,等. ANUDEM——专业化数字高程模型插值算法及其特点[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(3):36-41.
[17] 刘学军,卢华兴,卞璐,等. 基于 DEM 的河网提取算法的比较[J]. 水利学报,2006,37(9):1134-1141.
[18] 孙艳艳,余新晓,胡淑萍,等. 基于 ArcGIS 环境下 DEM 流域特征提取及应用[J]. 北京林业大学学报,2008,30(2):144-147.
[19] 陈加兵,励惠国,郑达贤,等. 基于 DEM 的福建省小流域划分研究[J]. 地球信息科学,2007,9(2):74-78.