

基于 SRTM DEM 的河棚河流域水系提取研究

姜卫祥, 吕成文 (安徽师范大学, 安徽芜湖 241000)

摘要 基于 SRTM DEM 数据, 以河棚河流域为例, 利用 ArcGIS 10.0 中的水文分析模块进行水系的提取试验, 分析不同的汇流累积阈值对河网密度、流域面积、河网分级等流域特征参数的影响。结果表明, 随着汇流累积阈值的增大, 河网密度以及河网总长度都在逐渐减小, 并且汇流累积阈值与河网密度之间存在显著的幂函数关系。最后, 利用 1:250 000 水系图进行对比发现, 当汇流累积阈值为 200 时, 利用 SRTM DEM 提取的河网与实际水系吻合较好。

关键词 SRTM DEM; 水系提取; 汇流累积阈值

中图分类号 P208 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)13-0214-04

Study on the Extraction of River Network in Hepeng River Basin Based on SRTM DEM

JIANG Wei-xiang, LÜ Cheng-wen (Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000)

Abstract Based on SRTM DEM data, taking Hepeng River basin as an example, river network was extracted by using hydrological analysis module in ArcGIS 10.0 version. The effects of different accumulated threshold value of confluence on drainage density, drainage area, river network classification and other watershed characteristics parameters were studied. The results showed that drainage density and river network length gradually decreased with the increase of confluence accumulated threshold value. There was a significant power function relationship between confluence accumulated threshold value and drainage density. Finally, the river network data was compared with the 1:250 thousand topographic map and it was found that river network extracted by using SRTM DEM was basically consistent with the actual water system, when the confluence accumulated threshold value was 200.

Key words SRTM DEM; Extraction of river network; Confluence accumulated threshold value

流域水文特征的提取一直以来都是水文科学的研究热点之一, 而河网作为流域水文特征的基本要素之一, 其提取方法也一直备受关注。传统的水系提取方法主要有 2 种: 实地测量和基于地形图手工提取。这 2 种方法不仅效率低下, 而且成本较高^[1-3]。遥感技术和计算机技术的发展大力促进了水文科学的发展, 利用数字高程模型 (Digital elevation model, DEM) 不仅可以快速实现河网、流域等水系特征的提取, 而且被广泛应用于水利工程、测绘、水文、土壤等领域^[4]。

目前, 对于水系提取方法应用最多的是地表径流漫流模型, 该模型基于 D8 算法, 被集成于 ArcGIS、SWAT 等主流软件中, 依据水流沿斜坡流动的原理, 确定每个格网单元的汇流累积量, 选择合适的集水阈值实现河网提取^[5-9]。笔者以杭埠河的重要支流河棚河为例, 利用 ArcGIS 10.0 平台的水文分析模块, 实现对河棚河流域汇流累积量、流向、河网及流域边界等流域水文特征的自动提取, 并分析不同的集水阈值下的河网变化, 探讨汇流累积阈值对水系提取的影响。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况 河棚河位于舒城县西南山区, 龙河口水库上游, 原名乌沙河, 发源于舒城县西南山区黄土关和花岩山西北麓, 全长 32.5 km, 流域面积 200 km²。该河弯大、水急、滩多, 河面宽度 40~180 m, 通过最大流量 1 322 m³/s, 属于季节性山河; 年降雨量 1 000~1 700 mm, 年平均气温 14~16℃。河棚河流域高程图见图 1。

1.2 数据源 采用的 DEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站 (<http://www.gscloud.cn>), SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 是由美国太空总署 (NASA) 和国防部国家测绘局 (NIMA) 联合测量。SRTM

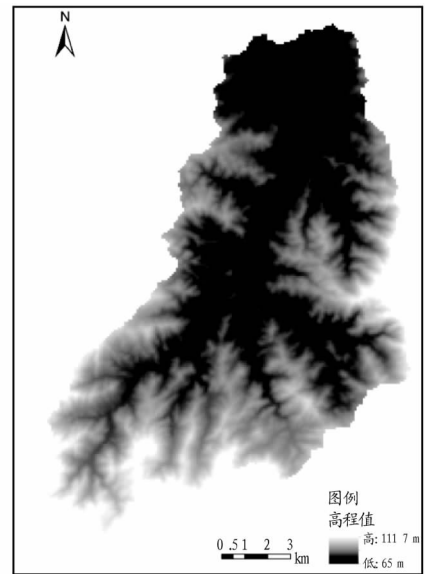


图 1 河棚河流域高程图

Fig. 1 The elevation map of Hepeng River basin

地形数据按精度可以分为 SRTM1 和 SRTM3, 分别对应的分辨率精度为 30 m 和 90 m 数据 (目前公开数据为 90 m 分辨率的数据)。

2 研究方法

获取的原始 SRTM 数据需要检查 DEM 是否存在洼地, 对经过预处理后的无洼地 DEM 提取流向, 汇流累积量等数据, 并基于汇流累积量数据提取出河网, 分析不同的汇流累积阈值下的河网密度、河网分级情况^[10-11], 最后与 1:250 000 水系图进行比较, 评价河网提取的精度, 确定河棚河流域水系提取的汇流累积阈值范围。

2.1 无洼地 DEM 的生成 由于内插及真实地表的表面存在, DEM 表面存在一些凹陷的区域影响流向, 首先要检查是否

作者简介 姜卫祥 (1990—), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 研究方向: 遥感应用。

收稿日期 2017-02-28

存在洼地,并对这些低洼区域进行填洼处理,流向是基于最大距离权重差计算的,当邻域栅格对中心栅格的方向值最大为 128 时,则填洼完成。

2.2 流向提取 流向的提取是基于 D8 算法,在 ArcGIS 中通过将中心栅格的 8 个邻域栅格编码来确定水流方向。

2.3 汇流累积量 汇流累积量的计算是河网提取的基础,其大小代表了上游有多少栅格的水流方向最终流过该栅格。汇流累积量的计算是基于流向数据进行的(汇流累积栅格如图 2 所示)。

2.4 河网生成 河网的生成是基于汇流累积量的,汇流累积阈值的设定直接影响到河网提取的结果^[12]。利用 ArcGIS 中的 con 命令汇流累积栅格进行查询,并将查询结果赋予新

的栅格数据中,分别将汇流累积阈值设定为 100、150、200、250、300、350、400,并比较不同汇流累积阈值下的河网变化。

3 结果与分析

3.1 汇流累积阈值对河网提取的影响 栅格河网的计算是基于 con 命令或者 setnull 命令计算的,二者都是基于栅格进行有条件查询,并将查询结果赋予新的栅格数据中,其基本思想是基于汇流累积量数据,将汇流累积量大于阈值的栅格设置为 1,其他栅格设置为无数据,就会得到一个新的栅格图层即栅格河网图。通过设置 100、150、200、250、300、350、400 不同的汇流累积量阈值,比较不同阈值下的河网主要参数的变化情况。不同汇流累积量阈值下的河网提取结果见图 2。

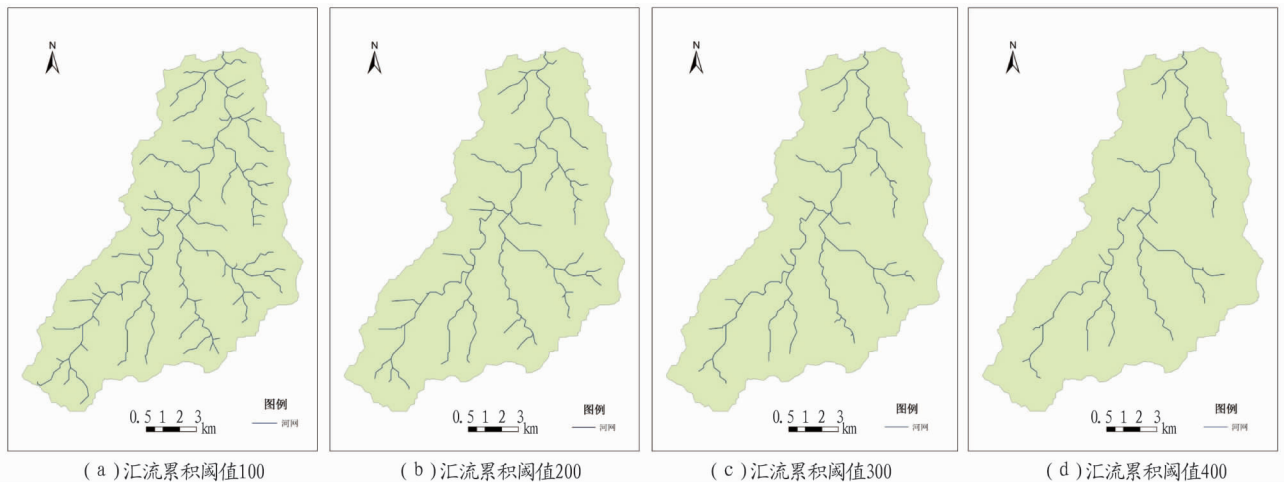


图 2 河网随汇流累积阈值的变化

Fig.2 The changes of river network with the confluence accumulated threshold value

在河网提取的过程中,汇流累积阈值的设定对河网提取的结果有着重要的影响。随着汇流累积阈值的不断增大,流域面积为 199 km²,没有发生变化,与实际流域面积(200 km²)相差不大;河网的总长度和河道数都在减小,河网变稀疏,主河道位置并没有发生明显的变化,小支流随着汇流累积阈值的增大在不断减少。当汇流累积阈值由 100 增

至 400 时,河网总长度由 143.290 km 减少到 73.582 km,减少了 48.65%;河道数目由 119 条减少到 31 条,减少了 73.95%;河网密度由 0.716 km/km² 减少到 0.368 km/km²,减少了 48.60%(图 3 和表 1)。汇流累积阈值对河网提取的影响并不会使河道发生位置上的偏移,只是改变了河网的稀疏程度。

表 1 不同阈值下河网参数的变化

Table 1 The changes of river network parameters at different threshold value

汇流累积阈值 Confluence accumulated threshold value	河网总长度 River network length//km	河道数量 Number of river channels//条	河网密度 Drainage density//km/km ²	流域面积 Drainage area//km ²
100	143.290	119	0.716	199.1
150	120.482	85	0.602	199.1
200	106.897	71	0.534	199.1
250	96.913	55	0.485	199.1
300	88.191	47	0.441	199.1
350	80.053	41	0.400	199.1
400	73.582	31	0.368	199.1

汇流累积阈值的变化对河网分级也有着重要的影响,随着汇流累积阈值从 100 增至 400,1、2 级河网的河道数和河网长度都在不断减小,1 级河网河道数减少了 73.33%,2 级河网河道数减少了 73.07%,减少的频率大体一致;3 级河网的

河道数和河网长度呈先减小后增大的趋势;当汇流累积阈值为 100~300 时,4 级河网的河网长度变化不大;当汇流累积量超过 300 时,4 级河网河道数和河网长度急剧减少,且当汇流累积阈值达到 350 时,4 级支流的河道数和河网长度减至

0(表2和表3)。

表2 不同阈值下不同河网分级的河道数量

Table 2 The number of river channels in river network classification at different threshold value 条

汇流累积阈值 Confluence accumulated threshold value	河网分级 River network classification			
	1	2	3	4
100	60	26	21	12
150	43	18	14	10
200	36	19	8	8
250	28	14	5	8
300	24	12	4	7
350	21	10	10	0
400	16	7	8	0

表3 不同阈值下不同河网分级的河网长度

Table 3 The river network length in river network classification at different threshold value km

汇流累积阈值 Confluence accumulated threshold value	河网分级 River network classification			
	1	2	3	4
100	81.205	25.026	24.645	12.414
150	66.093	20.980	20.989	12.420
200	53.794	28.281	12.403	12.419
250	46.994	28.845	8.653	12.421
300	38.812	28.301	8.615	12.463
350	39.360	21.400	19.293	0
400	36.534	17.756	19.292	0

3.2 汇流累积阈值和河网密度的关系 汇流累积阈值对河网提取的影响主要是改变了河网的稀疏程度,为了能够定量评价汇流累积阈值对河网提取的影响,选取河网密度建立与汇流累积阈值之间的定量关系^[13]。利用 Matlab 软件对河网密度和汇流累积阈值的拟合发现,二者之间存在显著的幂函数关系(图3),二者关系式如下:

$$y = 6.017x^{-0.46} (R^2 = 0.994)$$

式中, x 代表汇流累积阈值, y 代表河网密度。

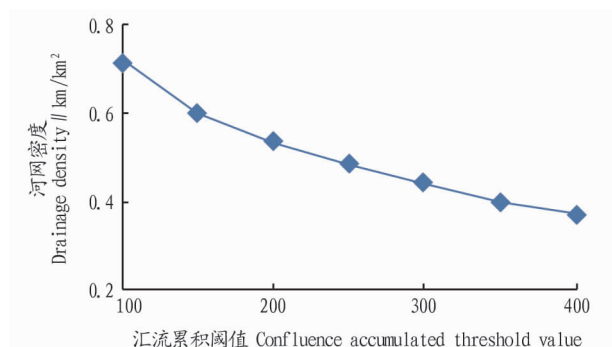


图3 汇流累积阈值和河网密度拟合曲线

Fig. 3 The fitting curve between confluence accumulated threshold value and drainage density

3.3 河网提取验证 将1:250 000地形图提取的水系图和基于SRTM DEM提取的河网进行叠加分析,对不同汇流累积阈值下提取的河网进行对比验证。将SRTM DEM中提取的

河网与1:250 000水系图进行叠加对比分析(图4),发现当汇流累积阈值为200时,自动提取的河网更接近1:250 000水系图,提取的河网和水系图的河网密度分别为0.534和0.546 km/km²,河网密度误差为2.2%;提取的河网与水系图的河网总长度误差为2%;流域面积与实际流域面积仅相差0.45%。总体来看,河流的主河道基本吻合,大体走势基本相同,有些地方存在一些微小的偏差。

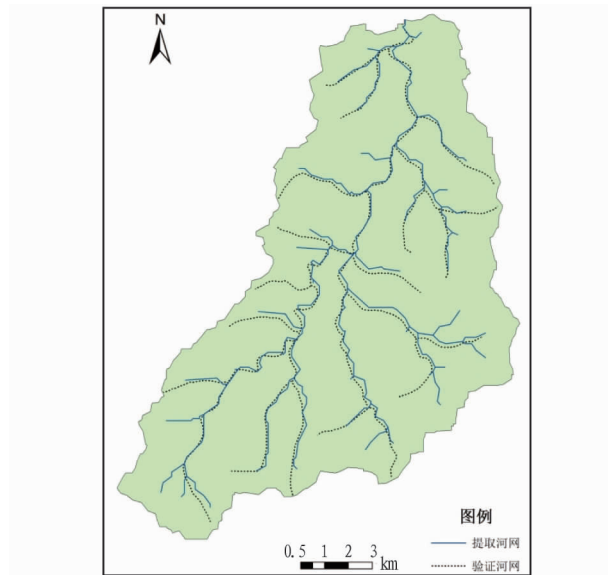


图4 河网验证

Fig. 4 The validation of river network

4 结论

该研究利用SRTM DEM数据,基于ArcGIS中的水文分析模块,探讨利用DEM自动提取水系的可行性,以及不同的汇流累积阈值对河网提取的影响,得出以下结论:①河棚河属于季节性山河,整个流域的高程落差比较大,利用SRTM DEM提取的河网与真实的河网基本吻合,且此流域进行水系提取试验的汇流累积阈值的范围为200~300。②通过对比不同汇流累积阈值下提取出的河网,随着汇流累积阈值的不断增大,河网密度、河流总长度、河道数目都在减小,且河网分级的各级支流的总长度、河道数也呈现逐渐减少的趋势,汇流累积阈值的大小影响着河网提取的精度。③汇流累积阈值对河网提取的影响主要表现为河网密度的变化,主要河道位置并没有发生变化,通过对河网密度和汇流累积阈值的函数拟合,发现汇流累积阈值与河网密度之间存在显著的幂函数关系。

该研究中使用90 m分辨率的SRTM DEM数据作为数据源,实现了河棚河流域水系的自动提取,并取得了较好的效果。今后可考虑利用更高精度的DEM数据进行水系提取试验,并探讨DEM空间分辨率对流域特征提取的影响。

参考文献

- [1] 朱超,于瑞宏,刘慧颖,等.基于DEM的乌梁素海东部流域河网信息提取[J].水资源保护,2011,27(3):75-79.
- [2] 余杰,左小清,唐从国.滇池SRTM DEM数据的流域特征自动提取[J].测绘科学,2011,36(2):189-191.
- [3] 宋晓猛,张建云,占车生,等.基于DEM的数字流域特征提取研究进展[J].地理科学进展,2013,32(1):31-40.

- [4] 江岭,刘学军,阳建逸,等. 格网 DEM 水系提取并行算法研究[J]. 地理与地理信息科学,2013,29(4):62-66.
- [5] GOPINATH G,SWETHA T V,ASHITHA M K. Automated extraction of watershed boundary and drainage network from SRTM and comparison with survey of India toposheet[J]. Arab J Geosci,2014,7(7):2625-2632.
- [6] 关颖慧,郑粉莉,王彬,等. 基于 DEM 的黑龙江宾州河流域水系提取试验研究[J]. 水土保持学报,2012,32(1):127-131.
- [7] 宋向阳,吴发启,赵龙山,等. 基于 DEM 的延河流域水文特征提取与分析[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(4):200-206.
- [8] 蒙海花,王腊春,苏维词. 基于 DEM 的流域特征提取研究:以贵州省普定县后寨河流域为例[J]. 测绘科学,2010,35(4):87-88.
- [9] 曾红伟,李丽娟,柳玉梅,等. Arc Hydro Tools 及多源 DEM 提取河网与精度分析:以洮儿河流域为例[J]. 地球信息科学学报,2011,13(1):22-31.
- [10] 石春力,李雪,孙韧,等. Arc Hydro 模型在流域水文特征提取中的应用:以藁县沙河河流域为例[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(1):73-76.
- [11] DE AZEREDO FREITAS H R,DA COSTA FREITAS C,ROSIM S,et al. Drainage networks and watersheds delineation derived from TIN-based digital elevation models[J]. Computers & geosciences,2016,92:21-37.
- [12] 葛莹,毛鹏宇,李云婷,等. 利用 ASTER GDEM 提取瓯江流域水系及精度评价[J]. 测绘地理信息,2015,40(2):31-34.
- [13] 吴冰,李昌文. 基于 SRTM DEM 的盘龙河流域河网提取研究[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(6):157-162.

(上接第 203 页)

北关区的土地生态安全综合得分均小于 -0.40,处于重警状态,为IV级。总体而言,安阳市土地生态安全面临着严重的威胁。

表 6 土地生态安全标准评判阈值

Table 6 Threshold of land eco-security evaluation standard

等级 Level	安全值区间 Security value	状态 State
I	>0.30	良好
II	0~0.30	预警
III	-0.40~0	中警
IV	<-0.40	重警

4 结论与讨论

该研究通过主成分分析得出影响安阳市土地生态安全的三大主成分,即社会发展因素、能源消耗与工业废物排放和经济发展因素。安阳市各区县生态安全稳定性由弱到强依次为北关区、殷都区、内黄县、文峰区、汤阴县、安阳县、林州市和龙安区。安阳市 4 个辖区中 3 个辖区土地生态安全得分较低,处于中警、重警状态,这与市区产业经济更为发达、人口密度高有关。安阳市县级市林州市、安阳县、汤阴县生态安全整体较好,这与县级地区城市化水平较低、人口密度相对较小有关。但内黄县土地生态安全得分 -0.54,处于重警状态,这与该县第一产业比重 30.9% 和第二产业比重 41.0% 过高有关,第三产业发展水平又相对较低,无力转变发展方式,往往又忽略了对生态环境的关注,给生态环境带来较大破坏。

综上,安阳市土地生态安全面临着较严重的威胁,如何缓解人地矛盾,实现经济社会发展与生态保护双赢,安阳市

应做好区域环境承载力研究和估算,将发展控制在生态环境承受范围之内;调整部分地区产业结构,加快升级转型,促进产业合理布局,转变经济发展模式,提高第三产业比重;推广先进技术,重视科技的作用,提高产业生产效率,降低生产能耗;提高人口素质,增强环保观念,减轻人类活动对环境的压力;走集约型发展道路,完善相关管理制度,合理规划建设用地,减少资源浪费;最后积极治理环境污染,加强环境保护宣传和教育。

参考文献

- [1] 崔胜辉,洪华生,黄云凤,等. 生态安全研究进展[J]. 生态学报,2005,25(4):861-868.
- [2] 陈国阶. 论生态安全[J]. 重庆环境科学,2002,24(3):1-3.
- [3] 曲格平. 关注生态安全之一: 生态环境问题已经成为国家安全的热门话题[J]. 环境保护,2002(5):3-5.
- [4] 陈星,周成虎. 生态安全: 国内外研究综述[J]. 地理科学进展,2005,24(6):8-20.
- [5] SCHREURS M A,PIRAGES D. Ecological security in northeast Asia [M]//Ecological security in Northeast Asia. Seoul:Yonsei University Press,1998.
- [6] 张虹波,刘黎明,张军连,等. 黄土丘陵区土地资源生态安全及其动态评价[J]. 资源科学,2007,29(4):193-200.
- [7] 杨乐,丁伟,于龙,等. 基于主成分分析的云南玉溪市生态安全评价研究[J]. 广东农业科学,2013,40(6):190-192.
- [8] 张小虎,雷国平,袁磊,等. 黑龙江省土地生态安全评价[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(1):88-93.
- [9] 张虹波,刘黎明. 土地资源生态安全研究进展与展望[J]. 地理科学进展,2006,25(5):77-85.
- [10] 李勇,李俊民. 安阳市生态安全评价[J]. 安阳师范学院学报,2011(2):59-61.
- [11] 李雷. 安阳市生态环境建设存在的问题及对策[J]. 信阳农业高等专科学校学报,2008,18(2):55-57.
- [12] 张吉献,张启珍. 基于城市功能的安阳市宜居城市评价与实现途径研究[J]. 国土与自然资源研究,2013(3):52-54.
- [13] 王鹏,况福民,邓育武,等. 基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价[J]. 经济地理,2015,35(1):168-172.
- [14] 孙奇奇,宋戈,齐美玲. 基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2012,19(1):234-238.