

基于 ArcGIS 的数字高程模型县域水文模拟及可视化研究

——以元江县为例

李林娜, 牛群 (昆明理工大学国土资源工程学院, 云南昆明 650093)

摘要 基于 ArcGIS 10.0、Excel 及数字高程模型, 分析元江县县域内水文特征, 提取区域内主要干流及支流进行可视化, 计算河流信息, 并基于县域进行水文模拟。结果表明: 元江县水域单一, 明显水域只有元江流域在元江县内的部分; 除自然降水外, 元江县水源不丰富, 区域地表破碎度较小。县域水文分析能为将来水利发展和城市规划提供参考。

关键词 水文分析; DEM; 河网; ArcGIS; 元江县

中图分类号 S181 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)20-049-04

County Hydrological Simulation and Visual Research of Digital Elevation Model Based on ArcGIS—A Case of Yuanjiang County
LI Lin-na, NIU Qun (College of Land Resources and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093)

Abstract Hydrological features in Yuanjiang County were analyzed based on ArcGIS10.0, Excel and Digital Elevation Model. The main stream and tributary were extracted to realize visualization and to calculate river information. Hydrological simulation was carried out based on county region. Results showed that Yuanjiang County had single water area. Except natural precipitation, water resource was not abundant in Yuanjiang County; fragmentation of regional surface was relatively small. County hydrological analysis provided references for the water conservancy development and urban planning in future.

Key words Hydrological analysis; DEM; River network; ArcGIS; Yuanjiang County

元江县与云南省绝大多数地区一样, 处于高海拔、多山脉的少数民族地区。该地区四季高温, 自然灾害频发, 经济发展滞后, 正处于产业多样化、城市扩建和自然条件限制的矛盾中。在以往基于数字高程模型的水文分析研究中, 大多以某一水系为研究对象, 该水系可能跨越多座城市, 对县城城市的发展研究缺乏参考价值。笔者应用 GIS 水文分析方法, 用数字高程模型提取元江县主要流域并进行分析, 将水文模拟与地形叠加可视化, 旨在为坝区建设和扩展提供参考。

1 研究区概况

元江全称元江哈尼族彝族傣族自治县, 位于云南省中南部, 地处元江中上游, 地理坐标为 $101^{\circ}39' \sim 102^{\circ}22' E, 23^{\circ}19' \sim 23^{\circ}55' N$, 东与石屏县接壤, 南与红河县相连, 西与墨江县毗邻, 北紧靠新平县。县人民政府驻澧江镇, 距玉溪市所在地 130.0 km, 距省会昆明 210.0 km。县境南北长 64.5 km, 东西宽 71.5 km, 总面积 2 858 km²。县内主河流为元江, 位于哀牢山东侧, 贯穿元江县南北方向。海拔 327 ~ 2 580 m。县境内各地年平均气温 12 ~ 24 ℃。县内矿产丰富, 已查明的矿产有金、银、铜、钴、镍、石膏、蛇纹石等, 其中镍矿蕴藏量约 53.3 万 t, 位居全国第 2。截至 2012 年, 下辖 3 街道 2 镇 5 乡, 户籍人口数, 205 744 人, 少数民族人口 166 532 人, 占总人口的 80.9%。经济呈稳定增长趋势, 近年来第二产业增长率较为明显, 主要以制糖业为主。旅游业以自然风光和历史文化遗产为主, 较为著名的有它克崖画、元江彩色膏林、哈尼云海梯田。少数民族文化在该县所占比重较大, 在与产业和文化结合的同时也很好地保留了民族特色。

2 数据来源

该研究主要基于数字高程模型数据, 即 DEM, 以绝对高程或海拔表示的地形模型。数字地面模型中地形属性为高程时, 称为数字高程模型。数据来源于 <http://www.gscloud.cn/> 地理空间数据云, SRTMDEM 90M 分辨率原始高程数据。在 ArcGIS 中, 进行数据预处理后, 空间参考为 Xian_1980_3_Degree_GK_Zone_34。矢量县界数据依据地图图片底图配准并矢量化, 并统一空间参考与 DEM 数据一致。

3 研究方法

基于 ArcGIS 平台, 使用数字高程模型数据进行水文分析。经过填洼、流向提取、流量提取、子流域提取、重分类、河网分级、河流链接等过程, 并根据实际研究需要进行栅格数据和矢量数据的转换以及栅格数据的掩模分析, 在成熟的算法下, 加入人工经验判断提取元江县县内主流域及附近支流。根据公式计算河流长度、密度等, 分析该县域内主流域的水文情况。最后生成 TIN 图与水文数据叠加进行水文数据和高程数据的可视化。研究流程见图 1。

4 流域特征提取及可视化

4.1 流域特征提取

4.1.1 按掩模提取 DEM。按掩模提取是栅格数据裁切的一种方法, 用矢量数据裁切 DEM 栅格数据, 裁切结果即为原矢量数据形状的栅格数据。该研究中, 下载后的 DEM 数据为矩形, 大于研究区域范围, 通过事先预处理好的元江县矢量数据按掩模提取, 可得到元江县的 DEM 数据。在 ArcGIS 中按掩模提取栅格, 不仅可以用矢量数据作为掩模数据, 还可以使用栅格数据作为掩模, 但需要考虑 2 个栅格数据的 NO-DATA 值是否影响研究。

4.1.2 填洼。在水文模拟和水文分析试验中, 一般都要对原始 DEM 数据做填洼。在此之前, 首先要计算洼地深度, 判断原始 DEM 是否可用。计算得到洼地贡献区域的洼地深

作者简介 李林娜(1992-), 女, 回族, 云南昆明人, 硕士研究生, 研究方向: 地图学与地理信息系统。

收稿日期 2016-05-26

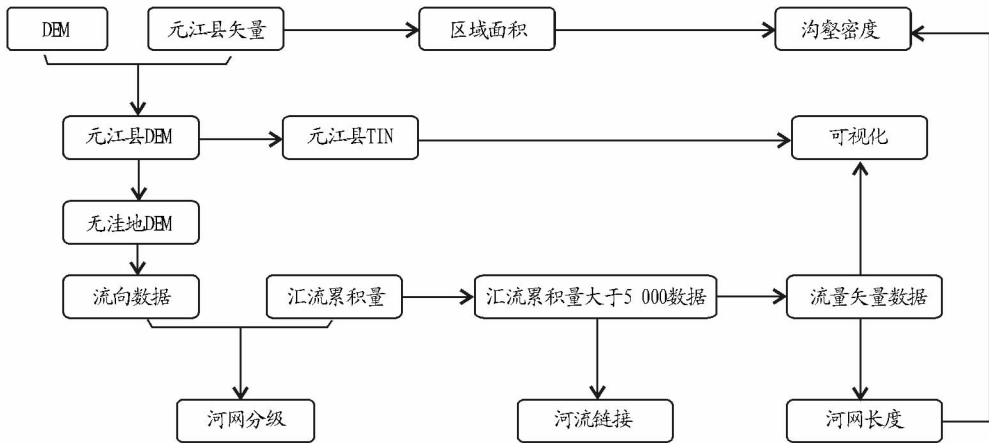


图1 基于 ArcGIS 的数字高程模型元江县水文模拟及可视化流程

Fig.1 The flow chart of the Hydrological Simulation and Visual Research of Digital Elevation Model Based on ArcGIS in Yuanjiang County

度,结合研究区域地形分析,判断凹陷点是正确的地形反映还是数据误差^[1]。如果是误差就要进行填洼计算后再使用 DEM 数据。

该研究区域在云南高原,喀斯特地貌极为普遍,在这种情况下,填洼分析尤为关键。需要判断凹陷点是由地貌引起的合理凹陷点还是 DEM 误差造成。DEM 误差和喀斯特地貌的存在使得原本光滑的地形表面模拟出现一些凹陷的区域。在进行水流方向计算时,由于这些凹陷的存在,往往出现不合理甚至错误的水流方向^[2]。

在 ArcGIS 中,依靠设置阈值 Z 来判断某一像元是否为有效的凹陷点,观察凹陷点和倾泻点的高程差值,如果阈值设置为小于该差值,则计算过程中将视为有效凹陷点,即该凹陷为正确的地形反应,不进行填洼。反之,阈值设置的高于凹陷点和倾泻点的高程差值,则填充该凹陷点。换句话说,阈值 Z 是凹陷点深度和倾泻点间的最大允许差值。填洼后的 DEM 见图 2。

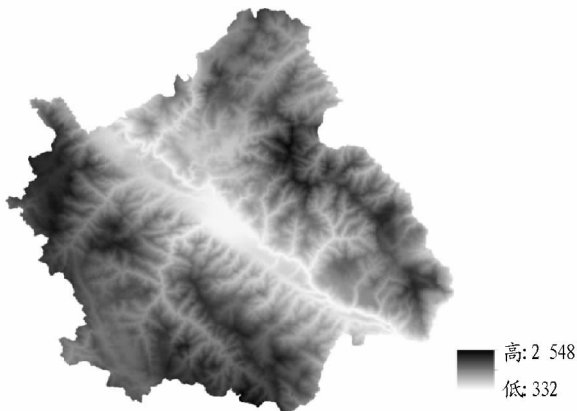


图2 元江县经过洼地填充生成的无洼地 DEM

Fig.2 The DEM without depression after filling in Yunajing County

4.1.3 水流方向提取。水流方向提取是无洼地 DEM 生成的第 1 步。上一步生成了无洼地 DEM,水流方向需要重新提取以提升数据精度。ArcGIS 中水流方向的提取是基于像元的,是指水流离开该栅格时水流的指向。

假设地表不渗水,地面降雨均匀,那么流域单元上的水流总是会流向最低的地方。ArcGIS 中通过对中心栅格周围的 8 个栅格单元分别赋值(图 3)。方向值以 2 的幂指数确定,是为了当栅格流向难以确定时,需要将数个方向值相加,这在后续处理过程中可从相加结果看出相加时栅格领格网的情况。

32	64	128
16		1
8	4	2

图3 水流流向编码

Fig.3 The coding of water flow direction

在 ArcGIS 中,水流方向提取输出值为 1~255 整形栅格。在图 3 中,假设中心单元格最陡下降方向为左侧,则赋值为 1。当 2 个方向甚至多个方向发生相同变化,同时为最陡下降方向时,则将这些方向值相加。如中心单元格的左侧和下侧同时为最陡下降方向,则赋值为 $16 + 4 = 20$ 。元江县水流方向提取结果见图 4。

4.1.4 汇流累积量计算。汇流累积量描述河道水流累积量,通过计算单个栅格单元的流量,再在后续研究中描述整个河道或者河网的流量。在 ArcGIS 中,汇流累积量通过水流方向数据得到,基本思想是数字高程模型中每个栅格均有 1 个单位水量,根据水自高向低流的自然规律及水流方向计算每个栅格流过的水量总数^[3-5]。在计算过程中,由于降水、土壤及植被的影响会造成地表水分布不均,在 ArcGIS 中可以对每个栅格赋权重,以更详细地模拟水文特征。元江县汇流累积量见图 5。

与其他区域水文模拟相比较,元江县盆地较单一,只有 1 个主要的流域盆地。以此推测,元江县水域基本水流来自元江水系。因此,该试验可以不再做盆地分析,因为盆地分析

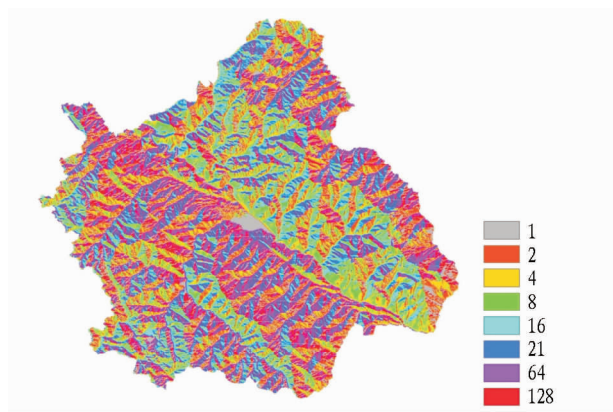


图4 元江县水流方向

Fig.4 Flow direction in Yuanjiang County



图6 提取汇流累积量大于5000数据

Fig.6 The data of flow accumulation greater than 5000

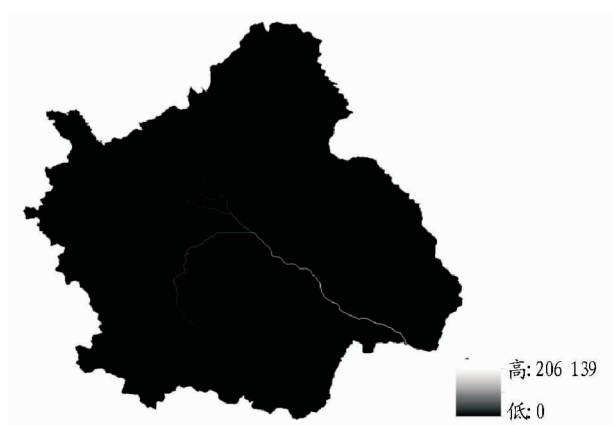


图5 元江县汇流累积量

Fig.5 Flow accumulation in Yuanjiang County

将会计算出多个极小盆地,使水文模拟过程复杂且对结果无意义。

4.1.5 汇流累积量数据重分类。汇流累积量计算得出的数据繁琐,存在多条现实中并不存在的河流。可以将这些多余的河流考虑为地下水或者是试验误差。该试验为地表水模拟,因此无需保留所有水文信息,只需要依据现实情况和经验提取出地表存在和必要的水文信息。

在 ArcGIS 中通过重分类,该试验提取了汇流累积量大于 5 000 的区域。该步骤的关键在于设置重分类阈值。首先,根据经验,主干河道必须提取又不能保留过多末端支流,一般阈值数应至少是 4 位数。在河流发育较好且盆地多的区域一般是 5 位数。其次,根据实地情况,元江常年高温,蒸发率高,降水充沛,一区跨热带、亚热带、北温带、南温带、寒带 5 个气候带。因此,虽然在上一步汇流累积量计算出最大流量为 206 139,但由于元江区域水文、地形及气候条件差异大,设置阈值时不能过大。最后,根据元江只有一条主要干流,流域单一,阈值设置 4 位数。试验提取汇流累积量大于 2 000 和大于 5 000,并结合地形和实地情况进行对比分析。最终选取汇流累积量大于 5 000 的重分类数据(图 6)。

4.1.6 河流链接。河流链接主要是为后续研究提供数据依据。河流链接记录河网信息,可得到每条弧段的起始点和终止点一级该汇水区域的出水点^[2]。河流链接对水量、水土保

持的研究具有重要意义。

4.1.7 河网分级。河网分级是用数字标识的方法划分级别,数字越大,级别越高。河网分级依据当地地形情况和水文汇流累积量。级别最低为支流,反之最大的可能是河流主干。该步骤不仅可以直观地分析流域水文分级情况和支流情况,还可以根据水文形状和分级情况验证前面汇流累积量提取和重分类的正确性。

ArcGIS 中提供了 2 种方法进行河网分级,即 Strahler 和 Shreve 方法。笔者应用了 Shreve 方法。Shreve 方法(图 7)是将所有末端支流弧段定义为 1,往后的每条弧度为前面汇入河网弧度的级别之和。如 2 条末端支流弧度汇入同一条新弧度,则该新弧段级别为 2;再如 1 条 2 级弧段和 1 条 3 级弧段汇入同一弧段,则该新弧段级别为 5。这种分级方式,分级到最后出水口位置时,其河网级别数是该河网中所有 1 级河网弧段个数。该试验将河网分级为 14 级。

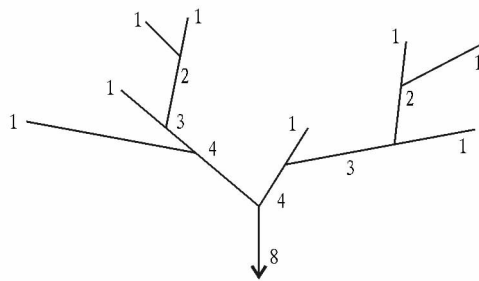


图7 河网分级

Fig.7 Classification of river network

4.1.8 栅格河网矢量化。栅格河网矢量化主要是为了后续的研究和可视化,步骤简单。在 ArcGIS 中用栅格转矢量工具就可以完成,矢量化后的河网如图 8 所示。矢量河网可以计算河流长度和沟壑密度,且可编辑性强,可应用于其他研究。在该研究中,选择矢量河网进行可视化研究主要是由于其可以调节弧段属性,以增加视觉效果。

4.2 可视化 可视化研究是基于 TIN 图和河网矢量图叠加生成。县域水文模拟不能只停留在数据计算结果。元江县处于高海拔地区,高程差异大,且为多坝区。人类生活环境复杂,区域水源流动方式复杂。通过可视化研究,可脱离宏观数字的复杂性,直观反映河网流经区域和高程及人类聚集

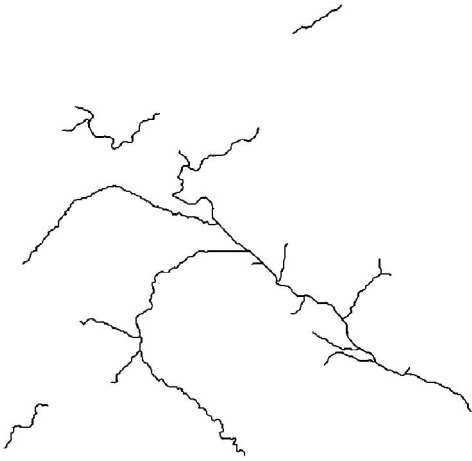


图8 矢量河网

Fig. 8 The vectorgraph of river network

地的关系。在后续研究中加入其他要素,与该图叠加,不仅可以直观地体现出各要素间关系,还便于空间分析。

元江县河网分布如图9所示,干流分布在高程较低的位置,河网基本位于山谷处。按照人类聚集地分布经验来看,元江县城市区域处于低海拔地,城市生活用水大部分来源于流经元江县的元江流域干流。在后续研究中,可以叠加现有城市分布位置,研究城市分布和河网的关系,结合环保、大气、土壤等因素在城市规划中起到更好的作用。

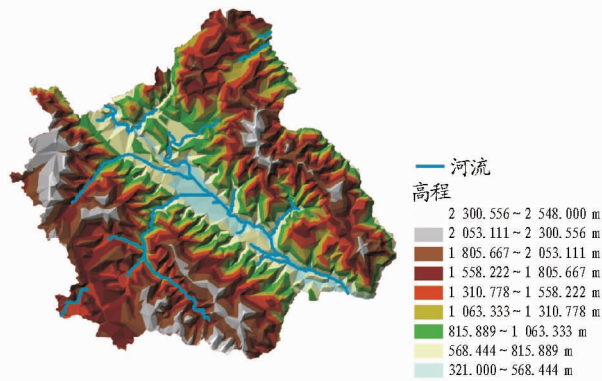


图9 元江县河网分布

Fig. 9 Distribution of river network in Yuanjiang County

5 流域水文特征分析

5.1 河网长度 在 ArcGIS 中,将栅格河网矢量化后属性表中自动统计各级河网长度,再加以统计。结果表明,由于 Shreve 河网分级的规则会出现缺乏某些级别河网的情况,元江县汇流累积量大于 5 000 的河网中,末端支流占比最大,根据 Shreve 分级方法可知,该河网缺乏 4、5、10 级河网(表 1)。

5.2 沟壑密度 沟壑密度或称切割裂度,是指每平方公里内侵蚀沟(或水文网)的总长度,以 km/km^2 表示。沟壑密度的大小与降水、径流特征、地形坡度、岩性、土壤的抗侵蚀性能、植被状况及土地利用方式等有关,也是水土流失状况的方式,可作为水土流失等级划分的参考指标,也是衡量地表破碎度的指标。计算公式见式(1)。

表1 元江县汇流累积量大于5 000的河网长度分析

Table 1 Analysis of river network length with flow accumulation is greater than 5 000 m in Yuanjiang County

级别 Grade	河流长度 River length//m	百分比 Percentage//%
1	109 181.040 400 0	48.27
2	36 573.495 180 0	16.17
3	30 314.416 550 0	13.40
6	89.991 382 44	0.04
7	179.982 764 90	0.08
8	4 095.603 891 00	1.79
9	5 554.726 205 00	2.46
11	8 947.772 033 00	3.96
12	89.991 382 44	0.04
13	9 253.157 605 00	4.09
14	21 947.885 280 00	9.70
合计 Total	226 228.062 700 00	100

$$D_s = \frac{\sum L}{A} \quad (1)$$

式中, D_s 为沟壑密度; $\sum L$ 为研究区域内沟壑总长度; A 为特定研究区域的面积。

使用 ArcGIS 得到元江县矢量面积为 2 718 391 180.91 m^2 ,换算为 2 718.39 km^2 。依据上式计算得到元江县汇流累积量大于 5 000 的河网沟壑密度为 $8.32 \times 10^{-5} \text{ km}/\text{km}^2$ 。

6 结论

(1) 基于 ArcGIS 10.0 软件,应用数字高程模型分析元江县县域水文特征,提取区域内主要干流及支流,并进行可视化,基于县域进行水文模拟,不仅打破了传统跨区域研究某流域完整流域或部分流域的思路,并且从县域规划和城市扩展角度提出县域流域和城市居民地等的关系,为后续在水文和城市发展关系研究中提供参考。从元江县水文信息分析和县域水文提取方面得出结论,提出了与传统水文模拟的不同思路。

(2) 通过元江县河网生成以及汇流累积量大于 5 000 的河网提取,得出以下结论:①元江县水域单一,明显水域只有 1 个。经过对比分析该水域为元江流域在元江县内的部分。②元江县内水域干流位于海拔较低位置,结合人类居住环境发展分析,该流域干流与人类生产活动关系密切,在今后的城市扩展中能更好地利用元江水源。③汇流累积量大于 5 000 的河网沟壑密度较小,可以得知,除自然降水外元江县水源不丰富,区域地表破碎度较小。④基于 DEM 的县域水文分析过程中,水域的取舍是一个关键过程,一般经过盆地分析后,较小盆地需要舍去,但是判断为干流的流域都要保留。这一点和某流域水文模拟研究不同,这种研究通常不考虑区域问题,只是提取完整的干流,区域内其他流域都要舍去。⑤提取的河网不可能完全保留,设置阈值是否合理与经验相关。元江县流域单一,阈值不宜过大。阈值的设置还与当地降水、植被、蒸发量相关。

(下转第 171 页)

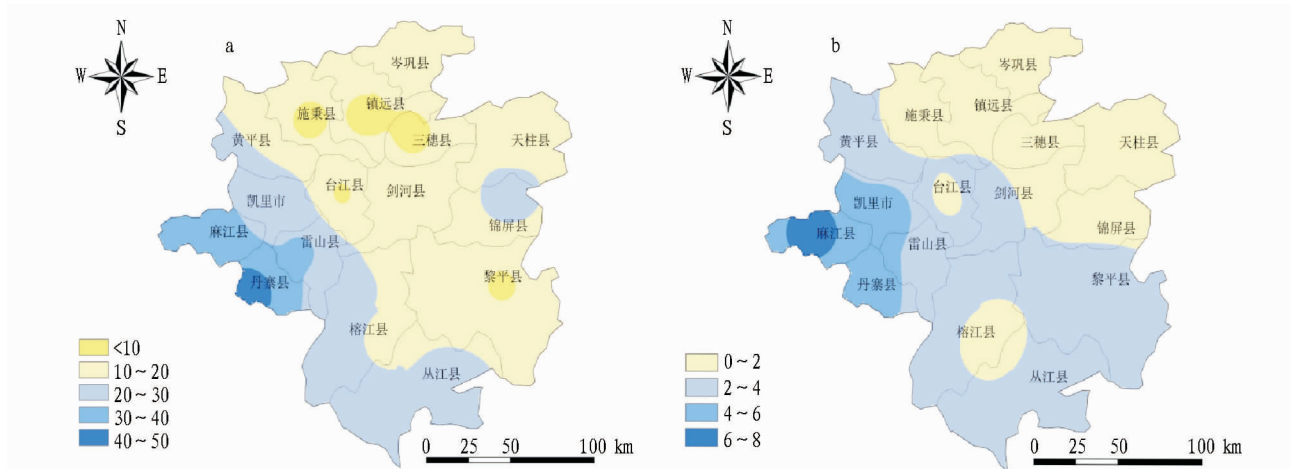


图 2 1961 ~ 2010 年黔东南州一般洪涝 (a) 和重洪涝 (b) 发生次数空间分布 (单位:次)

Fig. 2 Spatial distribution of frequencies of general flood (a) and heavy flood (b) in Qianzhongnan Prefecture from 1961 to 2010

根据分区指标对全州洪涝类型进行分区。由图 3 可知,麻江、丹寨和雷山西部属于洪涝高发地区,发生频率在 0.70 次,其中洪涝最严重的是丹寨,洪涝发生频率高达 1.00 次,基本每年都要发生 1 次洪涝事件,其次是麻江,频率为 0.84 次;黄平西部、凯里、榕江西部、锦屏北部和从江属于洪涝常发区域,发生频率为 0.45 次;施秉、剑河、黎平、天柱和岑巩属于洪涝少发地区,频率为 0.20 ~ 0.45;镇远、三穗和台江的洪涝发生频率 < 0.20 次,均属于洪涝偶发区域,其中最少的为三穗,仅有 0.16 次。

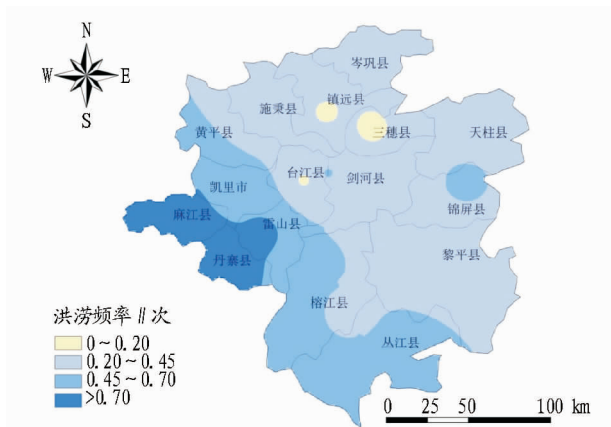


图 3 黔东南州洪涝分区

Fig. 3 Distribution of flood in Qianzhongnan Prefecture

3 结论

该研究基于黔东南州 16 个气象站点 1961 ~ 2010 年日降水资料,根据 1、2 和 3 d 洪涝指标体系,对黔东南州洪涝的发生、变化和分布规律进行研究,结果表明,50 年来黔东南州共

有 46 年发生过洪涝,平均每年 7.66 站次,其中多洪涝 7 年,较多集中在 20 世纪 90 年代以后;洪涝 4 月开始,10 月结束,主要发生在 5 ~ 9 月,各县市中丹寨县洪涝最多,麻江县次之。黔东南州洪涝发生情况从西南向东北逐渐减弱,主要集中在州的西部和西南部地区。麻江、丹寨和雷山西部属于洪涝高发地区;黄平西部、凯里、榕江西部、锦屏北部和从江属于洪涝常发区域;施秉、剑河、黎平、天柱和岑巩属于洪涝少发地区;镇远、三穗和台江均属于洪涝偶发区域,其中最少的为三穗。

运用不同时间尺度的洪涝指标对黔东南州的洪涝发生规律和特征进行分析,结果较好地反映了黔东南州洪涝发展演变情况,对洪涝的监测预警服务有一定的指导作用,另一方面,该研究仅选取了县级气象站点的日降水数据,使结果还存在一定的片面性,在今后研究中若能运用气象自动站的数据对结果加以订正,将使得研究结果更全面。

参考文献

- [1] 朱钟麟,赵燮京,王昌桃,等. 西南地区干旱规律与节水农业发展问题[J]. 生态环境,2006,15(4):876-880.
- [2] 刘雪梅,于俊伟,章日红,等. 贵州洪涝灾害的承灾能力评估和对策研究[J]. 贵州气象,1999,23(5):17-19.
- [3] 贺令萱. 洪涝灾害、湿害[M]//中国农业百科全书:农业气象卷. 北京:农业出版社,1987.
- [4] 张家诚. 中国近五百年的旱涝[C]//气象科学技术集. 北京:气象出版社,1983.
- [5] 梁平,冯晓云,韦波. 黔东南夏季旱涝指数及干旱气候特征分析[J]. 气象科技,1999,34(5):563-566.
- [6] 高阳华,唐云辉,冉荣生,等. 重庆市洪涝指标及其发生规律研究[J]. 西南农业大学学报,2002(6):551-554.
- [7] ALEXANDER L, ALLEN S, BINDOFF N L, et al. Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report climate change 2013[M]. Sweden: The Physical Science Basis Summary for Policymakers, 2013.

(上接第 52 页)

参考文献

- [1] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 2 版. 北京:科学出版社,2012:478.
- [2] 莫奇京,蔚生,桂贤. 基于 ASTER GDEM 的石漠化综合治理中的小流域提取研究:以广西石漠化综合治理应用为例[J]. 林业调查规划,2011(5):22-25.

- [3] 黄娟,申双和,殷剑敏. 基于 DEM 的江西潦河流域河网信息提取方法[J]. 气象与减灾研究,2008(1):49-53.
- [4] 刘春利. 基于 ASTER GDEM 的流域水文特征分析及水源保护区划分:以哈尔滨市磨盘山水库为例[J]. 东北农业大学学报,2015,46(10):82-88.
- [5] 王耀建. 基于 GIS 的水文信息提取:以深圳市光明森林公园水文分析计算为例[J]. 亚热带水土保持,2013,25(3):61-67.