

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20221669

北部湾南流江洪灾时空变化特征及其风险评估

朱文轩^{1,2}, 梁志勇¹, 黎树式^{1,3}, 赵 军¹, 黄舒婷¹, 严茹菲¹

(1. 北部湾大学资源与环境学院, 广西 钦州 535011; 2. 南宁师范大学地理科学与规划学院, 广西南宁 530001; 3. 广西北部湾海洋环境变化与灾害研究重点实验室, 广西 钦州 535011)

摘要: 全球气候变化背景下, 河流洪灾风险评估对流域防灾减灾具有重要意义。基于1960~2021年南流江流域洪灾的时空变化特征, 构建洪灾风险评估指标体系评估洪灾风险。结果表明, 南流江洪水灾害的年际变化呈波动上升趋势; 1993年为洪水灾害变化的大突变年; 总体上上游盆地、中游河谷及下游入海口平原为洪灾的高发区, 洪灾风险呈东南高西北低的分布格局, 与历史洪灾数据特征一致。该结果可为南流江流域综合管理提供科学依据。

关键词: 洪水; 时空变化特征; 风险评估; 南流江

中图分类号: TV122; K903

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)06-0078-04

1 概况

南流江位于广西壮族自治区南部, 是我国西南地区最大的独流入海河流, 发源于玉林市北流市大容山南侧, 于合浦县注入北部湾的廉州湾, 地形以丘陵、盆地为主, 地势东北高、西南低(图1)。河长287 km, 流域面积8 635 km², 多年平均年径流量77.4×10⁸ m³。南流江有流域面积100 km²

以上的一级支流14条。丰水期(4~9月)的径流量占年径流量的80.6%, 6~9月的径流量占全年径流量的63.1%。汛期与枯水期水量差别大, 易受洪涝灾害的威胁。流域内城市人口密集, 2020年全流域人口已突破1 089万, 经济战略地位的重要性日益凸显。因此, 对流域内洪灾发生规律的认知, 以及区域洪水灾害风险的评估, 对流域防灾减灾具有重要意义。针对流域洪水的时空变化特征已进行了较多探讨^[1-4], 但以往研究对我国西南河流洪水发生规律和风险评估的研究相对较少, 特别是在南流江流域, 尚缺乏相应研究。鉴此, 本文结合历史灾情数据法和指标体系法进行南流江洪灾风险评估, 以期提升南流江流域洪灾风险评估的精准性, 为流域的防洪减灾工作提供参考依据。

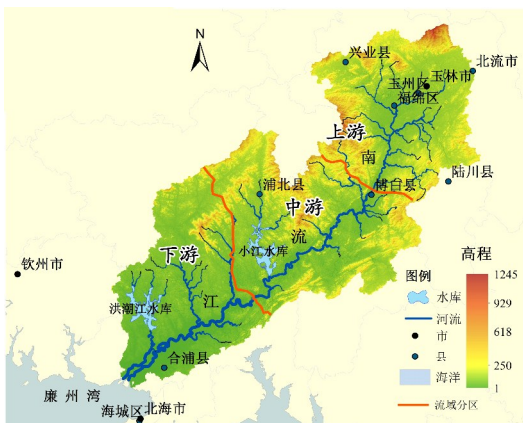


图1 研究区域

Fig. 1 Location of study area

2 研究数据及研究方法

2.1 研究数据

在南流江流域洪灾的时空变化特征分析及洪灾风险评估时, 主要数据为: ①历史洪灾数据。1960~2005年数据源于流域内各县县志(<http://www.gxdfz.org.cn/>), 2005~2021年数

收稿日期: 2022-08-13, 修回日期: 2022-09-08

基金项目: 北部湾大学海洋科学广西一流学科(DRB006, DTC003); 国家自然科学基金项目(41866001); 大学生创新创业项目(202011607057, 202011607021, 202111607134)

作者简介: 朱文轩(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋地理教学与研究, E-mail: zhuwenxuan2049@163.com

通讯作者: 黎树式(1980-), 男, 博士、教授、硕导, 研究方向为流域-河口陆海相互作用、海岸带综合管理, E-mail: lishushi120@163.com

据源于实地调研及各县洪灾事件的新闻报道。②历史多年年平均降水量数据源于中国气象局国家气象信息中心“中国气象科学数据共享服务网”(网址: <http://cdc.nmic.cn/home.do>)月值数据集,数据集代码为 SURF_CLI_CHN_MUL_MON,版本:3.0。③在孕灾环境敏感性分析时,30 m 分辨率的数字地形图和水系数据分别来源于美国地质勘探局官网(<https://earthexplorer.usgs.gov/bulk>)和全国 1:1 000 000 矢量数据(<https://www.webmap.cn/>);归一化植被指数数据则利用 Landat8 影像计算获得。④在承载体易损性分析时,1 km 分辨率的地均 GDP 数据来源于资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>);100 m 分辨率的人口密度数据来源于 PIE 遥感云平台(<https://engine.piesat.cn/>);土地利用类型数据则依据 Landsat8 影像数据进行监督分类得到,分类精度高于 95%。

2.2 研究方法

2.2.1 洪灾突变年份检验

洪灾突变年份检验是一种根据数据的累积距平值曲线的变化过程判断时间序列数据突变的统计方法^[5],在某一时刻 t 内的累计距平 X_t 的表达式为:

$$X_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (1)$$

式中, \bar{x} 为多年洪灾频次的平均值; i 、 t 分别为洪灾频次的时间序列。

若累计距平值增大,说明其数据的离散程度高于平均值;反之,则小于平均值。曲线的变化若由不同部分组成,则说明该曲线存在明显的拐点,该拐点即为突变点。

2.2.2 风险评估方法

(1)南流江流域洪水灾害风险评估指标体系构建。充分考虑南流江流域环境特征并结合洪水灾害风险评价理论进行指标体系构建^[6]。致灾性方面,降雨是南流江流域洪水的主要来源;孕灾环境方面,地形越平坦起伏越小的区域,洪水的威胁越大^[7],同时距离水系越近的地区发生洪水的可能性也越高^[8];另外,植被越茂密的区域水流下渗的速度越快。承灾体方面,经济越发达、人口越密集的区域,受到的损失越大;另外,不同的土地利用类型因洪水受损失的情况也不同。综合考虑以上因素,依据科学性与可行性相结合的原则,构建洪水灾害评估指标体系,即致灾因子选择了多年平均降雨量指标;孕灾环境选择了高程、高程标准差、归一化植被指数、水系距离指标;承灾体选择

了地均 GDP、人口密度、土地利用类型指标。为使不同类型数据之间具有可比性,需对各指标数据进行无量纲化处理。

(2)AHP 层次分析法。各指标的权重通过层次分析法进行确定,通过咨询专家进行打分,对各指标重要程度进行赋值,形成判断矩阵 $\mathbf{A}=(a_{ij})_{n \times n}$,其中 a_{ij} 为各因子相互之间重要性的比例标度。采用全部向量的算术平均值来估计权重向量 \mathbf{W}_i ,即:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{kj} \quad i=1,2,\dots \quad (2)$$

式中, $a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{kj}$ 为 \mathbf{A} 中元素的归一化; a_{ij} 为判断矩阵中第 i 行 j 列的元素。

各列归一化之后,将各列相加除以 n ,即得到权重向量 \mathbf{W}_i 。

3 结果与分析

3.1 南流江洪灾时空变化特征

3.1.1 南流江洪水灾害时间变化特征

统计南流江 1960~2021 年年际洪灾发生的频次,南流江干流在过去 61 年间,洪灾发生的频次呈波动递增趋势(图 2)。可能原因为北部湾地区的年平均气温在过去 61 年间亦呈明显上升趋势,平均气温升高 0.61 °C,增温速率为 0.11 °C/10a^[9],因此认为全球气候变暖,海平面上升导致的极端气候事件增多,可能是南流江洪灾频次总体呈上升趋势的主要原因之一。

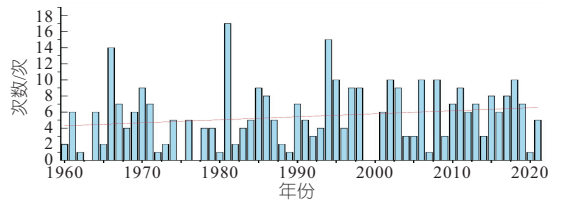


图 2 南流江洪灾频次年际变化

Fig. 2 Interannual variation of flood frequency in Nanliu River

距平累积曲线图(图 3)显示,1993 年为南流江洪灾的明显突变点,在 1993 年之前呈减少趋

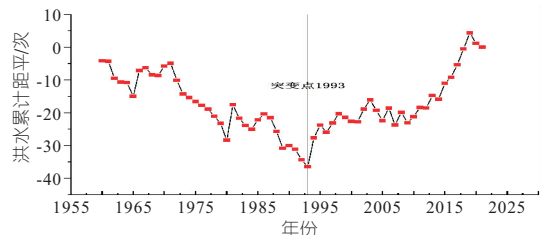


图 3 洪灾频次距平累积值曲线

Fig. 3 Cumulative value curve of flood frequency deviation

势,之后呈增加趋势。根据已有研究^[9],1993 年为北部湾地区年平均气温的突变点,在此之前年平均气温呈递减趋势,在此之后呈增加趋势,因此洪灾频次在 1993 年发生突变,可能是受年平均气温突变的影响。

3.1.2 南流江洪水灾害空间分布特征

洪灾发生频次最高的区域为玉林市及其周边区域,为 62 次;除此之外,洪灾频次较高的地区还有浦北县及合浦县,分别为 56、53 次。洪灾发生频次相对较少的区域为博白县、陆川县、灵山县,分别为 42、42、37 次(图 4)。从洪灾发生的流域分区来看,上游及下游地区洪灾发生的频率较高,中游地区洪灾发生的频次相对偏低。在自然环境方面,下游地区地势平坦,水系发达,受季风和热带气旋的影响更为剧烈;上游为盆地地形,水流不畅,且盆地开口朝南,到达盆地的水汽充足,因而上游及下游地区的洪灾频次较高。

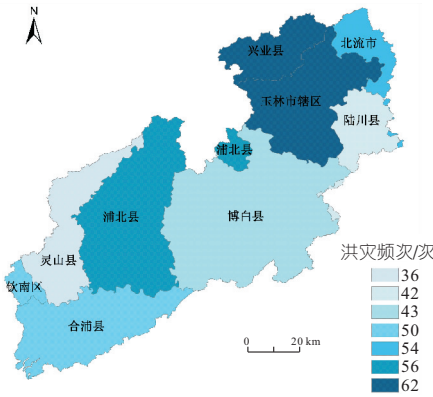


图 4 南流江洪水灾害空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of flood disaster in Nanliu River

3.2 洪灾风险评估

3.2.1 各评估指标权重的确定

根据洪水灾害风险评估的指标结构,运用层次分析法,依据专家打分,对两两因子的相对重要性进行比较量化,构建洪灾孕灾环境因子、承灾体

因子、洪灾风险因子判断矩阵。并对判断矩阵进行一致性检验, $C_R < 0.1$, 表明矩阵的构建符合一致性要求。采用算术平均法对矩阵求解,得出矩阵的特征根和特征向量,进而得出各因子的权重(表 1)。

表 1 风险评价体系指标权重

目标层	指标层	子指标层	权重(层次分析法)	
洪灾风险指数	危险性(0.2)	多年平均降水量	1.000	
		绝对高程	0.393	
敏感性(0.4)	高程标准差	水系距离	0.285	
		归一化植被指数	0.206	
		易损性(0.4)	地均 GDP	0.116
		人口密度	0.259	
		土地利用类型	0.601	
			0.140	

3.2.2 洪水危险性、敏感性及脆弱性评估

①洪灾危险性。通过空间插值得到南流江流域多年平均降水空间分布图(图 5(a)),多年平均降水量处于 1 194.2~1 855.8 mm 之间,高值区主要分布于流域的西南及东南区域,而北部地区的降水量相对较少,处于低值区域。②洪水敏感性。通过层次分析法计算各指标的权重(表 1),之后运用 ArcGIS 软件的栅格计算器功能将各子指标图层叠加计算得到敏感性指数,敏感性指数越高代表洪灾发生的风险越大。图 5(b)显示,指数值高的区域主要位于水系周边区域,且下游区域及上游盆地高值区分布更广,主要原因为下游及盆地海拔较低且地形起伏较小,水系分布密集,植被覆盖率相对较低。敏感性指数较低的区域主要位于流域的西北、东南等边缘区域,以上区域海拔较高且地形落差大,植被茂密,无大型水系,降水消退下渗速度快,因而洪水的敏感性较低。③易损性。易损性指数越高表示遭受到的洪灾损失的风险也越高。图 5(c)显示,高值区主要集中在上游的盆地,中、下游区域也有零星

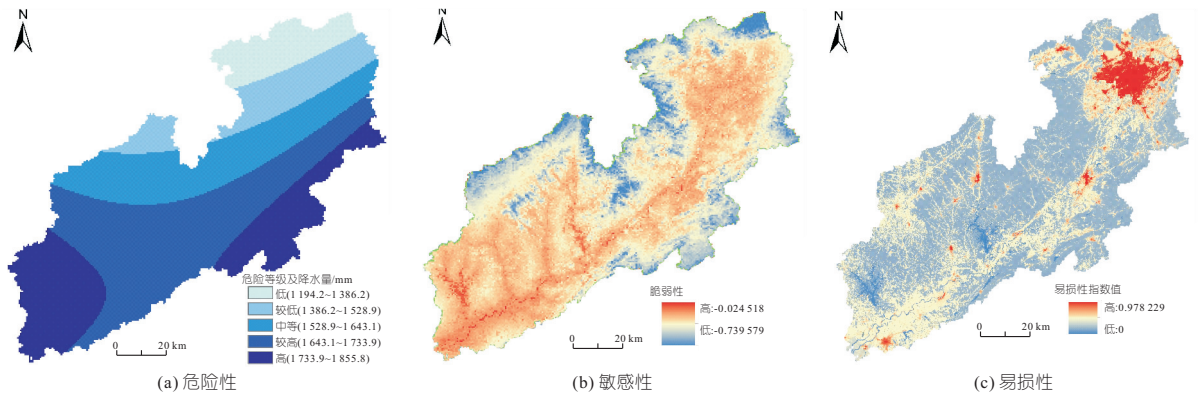


图 5 南流江流域洪水致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、载体易损性空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution map of risk of flood causing factors, sensitivity of disaster pregnant environment and vulnerability of bearing body in Nanliu River Basin

分布,上游盆地地区为玉林市的城区所在地,中下游区域的高值也均为该区域的县级行政区所在地,以上区域人口集中,为区域的经济中心,土地利用类型为城镇用地,因而易损性指数高。另外,易损性较高的区域(图中白色表示区域),主要沿江分布,且上游盆地及下游靠近入海口区域分布较广,以上区域土地利用类型主要为耕地,易遭受洪水威胁造成损失,因此易损性指数较高。

3.2.3 洪灾风险评估

将各评价指标的空间分布数据及权重输入风险评价模型,得到南流江流域洪水灾害风险指数。运用自然间断分级法将风险指数分为 5 级,依次为高风险、较高风险、中风险、较低风险、低风险,得到南流江流域洪水灾害风险空间分布图(图 6)。从各风险等级面积及分布看,高风险地区占比约为 21%,面积为 1 940.4 km²,主要分布在下游的合浦县、中游的博白县及上游的玉州区。下游的合浦县,靠近河流入海口区域,地势平坦,受热带气旋等因素影响程度更大,年降水量大且集中,同时该区域耕地面积占比较大,因此该区域洪灾风险高。中游博白县的高风险区域主要集中在沿河两侧的河谷平原,两侧地势较高,季风运动至此受地形抬升,形成大量降水,同时该区域土地利用类型主要为耕地与城镇,因此洪灾发生的风险高。上游盆地为玉林市的行政中心所在地,人口密集、生产总值高,土地类型主要为城镇和耕地,且由于盆地地形,泄洪速度较慢,因此该地区有较大面积的高风险区域。较高风险区域占比 34%,面积 3 106.2 km²,主要分布在下游的浦北县、灵山县,以上区域距离海洋较近,降水量较大且集中,水系较密集,因此较高风险区域分布较广。中风险区域占比 25%,较低风险及低风险区域分别占比 14%、6%,主要分布在流域的北部区域,以上区域地势较高、起伏较大,植被覆盖程度高,泄洪速度快,且人口稀疏,经济活动程度低,因此洪灾发生的风险为中等或较低。

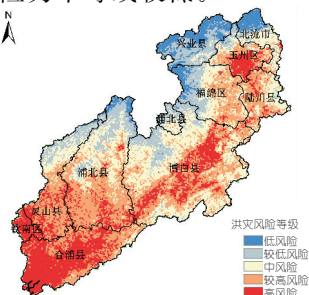


图 6 南流江流域洪灾风险空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of flood risk in Nanliu River Basin

3.2.4 历史洪灾数据对比验证

将洪灾空间分布图(图 4)与洪水灾害风险空间分布图(图 6)进行对比分析,洪灾空间分布图显示(图 4)上游的玉林市辖区,下游的浦北县、合浦县发生洪灾的风险均为高和较高,洪水灾害风险空间分布图(图 6)中显示以上区域的实际历史洪灾发生的频次也较高,分别为 62、54、52 次,因此玉林市辖区、浦北县、合浦县区域需要对洪灾进行重点防范;以上区域指标体系风险评估结果与历史灾情数据具有较好的一致性。而不一致的区域则为灵山县,风险指数图中该区域为较高风险区域,而历史洪灾数据显示为低值区域,这可能是由于该区域的人口密度较小、经济活跃程度较低,但致灾因子的危险性及孕灾环境的敏感性较高所致。同时该区域建设有洪潮江水库,防洪能力较强,但评价指标体系中尚未考虑到防灾减灾指标,因此出现两种风险评估结果不一致的情况。从整体看,依据指标体系构建的洪灾风险空间分布图与历史洪灾数据具有较好的一致性,可为流域内的防灾减灾工作提供参考借鉴。

4 结论

a. 1960~2021 年南流江洪灾发生的频次呈波动递增趋势,在 1993 年之后,洪灾增加的趋势明显,与全球气候变化关系密切;在洪灾频次的突变年份方面,1993 年为大突变年,主要是受年平均气温突变的影响。

b. 洪灾发生频次最高的区域为玉林市及其周边区域,洪灾频次较高的地区为浦北县及合浦县。上游及下游地区洪灾发生的频率较高,中游地区洪灾发生的频次中等。空间分布特征受地形、人口、水系、降水等因素的影响较强烈。

c. 洪灾的风险在整个流域呈东南高西北低,北低南高的分布格局。合浦县大部分区域、浦北县的中南部、博白县的河谷区域、玉林市辖区的中南部地区洪灾的危险性均为高或较高,以上区域洪灾风险评价结果与历史洪灾数据呈现的空间分布特征具有较好一致性,需重点加强防范。

参考文献:

- [1] 李雨凡,周亮,于世永,等. 过去两千年长江干流历史洪水事件的时空变化研究[J]. 地球与环境,2022,50(2):241-251.
- [2] 刘卫林,刘丽娜. 修河流域洪水变化特征及其对气候变化的响应[J]. 水土保持研究,2018,25(5):306-312.

[10] 罗东城,张立成,廖健程,等. 基于图像灰度值模型测定土壤含水量研究[J]. 山东农业科学,2020,52(7):89-94.

[11] 毛天旭,朱元骏,邵明安. 土壤表面灰度值与表层土壤含水量关系研究[J]. 水土保持学报,2011,25(1):245-248.

[12] ZHU YUANJUN, WANG YUNQIANG, SHAO MINGAN, et al. Estimating soil water content from surface digital image gray level measurements under visible spectrum[J]. Canadian journal of soil science,2011,91(1):69-76.

[13] 毛倩倩,梁忠民,霍世青,等. 黄河中游龙门含沙量过程统计预报模型研究[J]. 水电能源科学,2012,30(4):83-86.

[14] 夏威夷,赵晓冬,张新周. 椒江河口挟沙能力经验公式在其河床冲淤预测中的应用[J]. 水电能源科学,2017,35(1):101-103.

[15] RASHA ABDUL RAZAK A P, HARISH BINU K P. An overview of various image filtering techniques for image sharpening[J]. Journal of research in science and engineering,2020,2(9):69-76.

[16] KANG CHANGHEE, KANG SANGUG. Self-supervised denoising image filter based on recursive deep neural network structure[J]. Sensors,2021,21(23):27-37.

[17] 陈妍,徐海黎,邢强,等. 结合小波变换和双边滤波的 SICM 图像降噪算法[J]. 电子测量技术,2022,45(4):114-119.

Research and Development of Dam Seepage Sand Content Measurement Technology Based on Water Weir

LOU Feng-jin¹, DING Yong¹, LI Deng-hua², XIE Dong-hui³

(1. School of Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Jiaokou Reservoir, Ningbo City, Zhejiang Province, Ningbo 315161, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings that traditional water weirs cannot measure the sand content of runoff and the traditional measurement methods are not accurate, it is difficult to realize online measurement in the field of dam water weirs. By analyzing the negative correlation between the sand content of the water flow of the water weir and the gray value of the image, sand volume measurement technology was proposed to automatically measure the sand content of the water flow of the weir. The test results show that the deviation between the detection result of sand content and the actual value is low, and it is a convenient, efficient and real-time determination method. The research results have certain reference value for dam seepage monitoring.

Key words: sand content; image gray value; calibration test; data fitting; weir

(上接第 81 页)

[3] 孙章丽,朱秀芳,潘耀忠,等. 洪水灾害风险分析进展与展望[J]. 灾害学,2017,32(3):125-130,136.

[4] 刘媛媛,王绍强,王小博,等. 基于 AHP_熵权法的孟印地区洪水灾害风险评估[J]. 地理研究,2020,39(8):1892-1906.

[5] 田义超,王世杰,白晓永,等. 桐梓河流域输沙量变化及其对气候和人类活动的响应[J]. 自然资源学报,2019,34(12):2701-2716.

[6] 史培军,三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报. 2002,11(3):1-9.

[7] CAI TIAN, LI XINYU, DING XIANG, et al. Flood risk assessment based on hydrodynamic model and fuzzy comprehensive evaluation with GIS technique [J]. International journal of disaster risk reduction, 2019,35(1):101077.

[8] DZ A, XS B, HE X, et al. A GIS-based spatial multi-index model for flood risk assessment in the Yangtze River Basin, China- ScienceDirect[J]. Environmental impact assessment review, 2022, DOI: 10.1016/j. eiar. 2020. 106397.

[9] 黎树式,黄鹄,戴志军. 近 60 年来广西北部湾气候变化及其适应研究[J]. 海洋开发与管理,2017,34(4):50-55.

Temporal and Spatial Variation Characteristics of Flood in Nanliu River of Beibu Gulf and Its Risk Assessment

ZHU Wen-xuan^{1,2}, LIANG Zhi-yong¹, LI Shu-shi^{1,3}, ZHAO Jun¹, HUANG Shu-ting¹, YAN Ru-fei¹

(1. School of Resources and Environment Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China;

2. School of Geography and Planning Nanning Normal University, Nanning 530001, China;

3. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Change and Disaster in Beibu Gulf, Qinzhou 535011, China)

Abstract: Under the background of global climate change, river flood risk assessment is of great significance to disaster prevention and mitigation in river basins. By analyzing the spatiotemporal change characteristics of floods in the Nanliu River Basin from 1960 to 2021, a flood risk assessment index system was established for flood risk assessment. The results show that the interannual variation of flood disaster in Nanliu River shows a fluctuating upward trend; 1993 was a big catastrophe year of flood disaster change; On the whole, the upstream basin, the middle river valley and the downstream estuary plain are the flood prone areas, and the flood risk shows a distribution pattern of high in the southeast and low in the northwest, which is consistent with the characteristics of historical flood data. The results can provide scientific basis for the comprehensive management of Nanliu River Basin.

Key words: flood; spatiotemporal variation characteristics; risk assessment; Nanliu River