

城市化对秦淮河中下游洪涝灾害风险的影响分析

石 怡, 许有鹏, 蔡 娟

(南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210093)

摘 要:秦淮河流域大部分位于长江下游的南京市境内,随着城市化进程加快,近年来流域中下游的洪涝灾害风险显著增大,严重威胁着人民的生命和财产安全。基于遥感与 GIS 方法,从时、空变化两个方面,分析了城市化对秦淮河中下游洪涝灾害风险的影响。研究表明:①城市化过程加剧了洪涝灾害风险,城市化发展与洪涝灾害风险的空间分布呈现一致性;②伴随着城市化发展,1994—2001 年,洪涝灾害风险的增大以南京城南和沿江地带较为突出,2001—2008 年,风险增大区域沿秦淮河干流向中上游发展,至 2008 年,秦淮河干流沿岸的洪涝灾害风险相对较高;③秦淮河下游南京城区和江宁新市区的防汛压力增大,应加强防汛水利综合配套工程建设及科学调度,提高洪涝灾害的气象预报能力。

关键词:洪涝灾害风险; 城市化; 遥感与 GIS 方法; 秦淮河中下游

中图分类号:P426.616

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0026-06

Analysis of the Impact of Urbanization on Flood Risk in the Middle and Lower Reaches of Qinhuai River

SHI Yi, XU You-peng, CAI Juan

(School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Main part of Qinhuai River Basin is located in Nanjing which lies in the lower reaches of Yangtze River. With the acceleration of urbanization in recent years, the flood risk of the middle and lower reaches of basin has increased and threatened the safety of people's lives and treasure. Based on RS and GIS methods, the impact of urbanization on flood risk in the middle and lower reaches of Qinhuai River was analyzed from both space and time. The study showed that: ①urbanization aggravated the flood risk; the space distribution of urbanization and the flood risk showed consistency; ②with the rapid urbanization, from 1994 to 2001, the flood risk of south of Nanjing City proper and area along Yangtze River increased; from 2001 to 2008, areas of increased flood risk migrated upstream along Qinhuai main stream; until 2008, the flood risk along Qinhuai main stream was relatively higher; ③the flood prevention pressure of Nanjing City proper and new urban area of Jiangning District which lies in the lower reaches of Qinhuai River augmented; the construction and reasonable control of integrated ancillary water conservancy project for flood prevention should be strengthened and the meteorological forecast ability should be improved.

Key words: flood risk; urbanization; RS and GIS methods; the middle and lower reaches of Qinhuai River

城市化是一个复杂的空间形态变化和社会经济发展过程。快速城市化进程下,人类活动加剧,城市下垫面性质发生相应变化,加剧了城市的防洪压力。同时伴随城市不透水面的不断增加、区域产业结构的不合理布局以及城市管网排水的脆弱现状,现有排水能力难以应付较大暴雨,发生洪涝的可能性进一步增大,城市化对洪水风险影响正日趋受到人们关注。

美国、日本等发达国家从 20 世纪 50、60 年代就

开始开展洪灾风险研究^[1],我国的洪涝灾害风险研究始于 20 世纪 80 年代中期^[2-5]。目前,关于洪涝灾害风险评价,主要采用地貌学方法^[6]、水文水力学模型与系统仿真模拟方法^[7-8]、基于历史灾情数据的方法等^[9]。虽然研究方法不断完善,但目前已有研究中较少以城市化为背景来开展。为此本文以长江下游秦淮河流域为典型,探讨城市化对洪涝灾害风险的影响。近年来秦淮河流域中下游城市化快速崛起,选

收稿日期:2011-01-30

修回日期:2011-03-30

资助项目:国家自然科学基金重点(40730635);国家自然科学基金(40571025);水利部公益性行业科研专项经费项目(200701024, 200901042)

作者简介:石怡(1987—),女,江苏省南京市人,硕士研究生,主要从事洪涝灾害、水文水资源研究。E-mail:shiyi_heny@163.com

通信作者:许有鹏(1956—),男,江苏省南京人,博士,教授,主要从事水文、水资源与水环境研究。E-mail:xuyp305@yahoo.com.cn

取该流域开展城市化对洪涝灾害风险研究具有较好的典型性,其研究将为城市化地区防洪减灾提供借鉴和参考。

1 研究区概况

秦淮河流域地处长江下游南京河段南岸,为感潮河网地区。秦淮河有溧水河、句容河两源,两源在江宁区西北村汇合为秦淮河干流。干流长约 34 km,流域集水面积 2 631 km²。秦淮河流域是一典型山间盆地,沿河两岸是低洼圩区,地面高程 6~8 m,圩区后是丘陵山区,地面高程 300 m 以下。流域位于亚热带半湿润季风气候区,降水丰沛。秦淮河中下游地区由于地势平坦,平原区洪涝水相互交织,外洪顶托、内涝难排,共同导致该平原区洪涝灾害风险高、防汛压力大。改革开放 30 多年来,秦淮河中下游地区经历了快速城市化阶段,2000 年流域人口城市化水平已达 59.3%。随着流域内城市的扩展和开发区的建设,流域下垫面结构发生了很大变化,水体面积减小,不透水面大幅增加。另一方面,研究区内管网排水能力较脆弱,排涝标准偏低,一旦遇到较大降雨,往往雨水就会滞留雍高,给流域人民生命和财产安全造成严重威胁。为分析秦淮河中下游平原区洪涝给南京市主城区和江宁大部分区域带来的风险和影响,本文选取以秦淮河干流和秦淮新河为主干河道、自前埠村向下游直至长江河口,面积为 564.8 km² 的秦淮河中下游泛平原地区为研究区。

2 资料和方法

本文以秦淮河中下游地区的 2003 年 1:50 000 数字地形图,1994 年、2001 年和 2008 年三期遥感图作为数据源,参考《南京统计年鉴》获取社会经济数据。

从致灾因子、孕灾环境的自然属性和承灾体的社会属性^[10]两方面出发,选取降水、过境洪水、地形、区内水系和不透水面作为洪涝灾害危险性评价因子,人口密度、单位面积地区生产总值、固定资产投资和工业增加值为洪涝灾害易损性评价因子,综合利用 ArcGIS 的叠加、内插和表面分析等空间分析功能和专家赋值法、层次分析法及因子叠加法,分别从时、空维度分析城市化对洪涝灾害风险的影响。空间维度上,评价以 2008 年为代表的快速城市化背景下洪涝灾害危险性和易损性的空间分布,综合两者,得到洪灾风险区划;时间维度上,以 1994—2001 年、2001—2008 年为研究期,评价城市化过程引发的洪涝灾害危险性和易损性变化分布,最终得到该区洪涝灾害风险变化的空间布局。技术路线如图 1 所示。

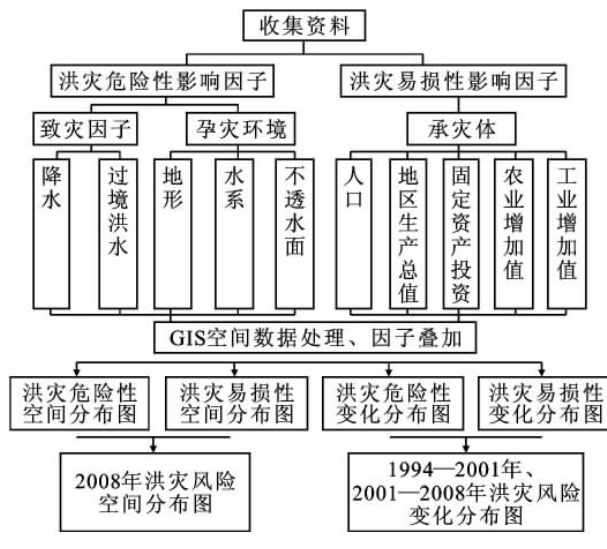


图1 洪涝灾害风险评价技术路线图

3 秦淮河中下游城市化下洪涝灾害风险评价

秦淮河中下游地区在快速城市化过程中,受人口聚集程度、经济发展水平等影响,同一时期,不同区域的城市化速度有所差别,城市化水平空间分布不均,有必要从空间维度评价城市化带来的洪涝灾害风险区域差异。

3.1 洪涝灾害危险性评价

3.1.1 致灾因子

(1)降水对洪涝灾害危险性的影响。降水是诱发洪涝灾害最重要的致灾因子。降水越大,洪涝灾害危险性越大。本文从该流域 1960s 以来历年洪水过程中,选取 1983 年长江型洪水、1991 年和 1996 年流域型洪水及 2003 年和 2007 年区域型洪水共 5 a 灾害损失严重的典型洪水和 14 个雨量站的降水数据作为研究基础,计算各典型年的逐日面平均降水量^[11],得出最大 7 日、15 日和 30 日面平均降水量及出现时间,并对比各水位站最高水位出现日期,选取典型洪涝年份的最大 7 日平均降水量作为秦淮河流域的致灾因子雨量指标^[12]。

将面雨量的克里金空间内插结果经标准化得到图 2a 所示的典型年降水对洪涝灾害的影响分布图。降水影响的高值区分布在前埠村—东山—秦淮新河闸一线,向东北和西南方向递减。该区域的低平地势、不同下垫面和显著的城市化进程均会对气象产生反馈作用,导致降水量增加。研究区西部的地势相对较高,“迎风坡降水机制”表现显著;随着城市化进程加剧,研究区的下垫面发生变化,建设用地比重增大,耕地及水域缩减,导致下垫面的热力学性质改变,极大地影响了城市气候,产生并强化了“热岛效应”和

“雨岛效应”,最终反馈为降水量的变化。

(2)过境洪水对洪涝灾害危险性的影响。秦淮河流域地处长江下游,受长江干流洪水顶托明显。当长江汛期水位较高时,长江洪水的顶托导致秦淮河水不能顺利下泄、排水不畅,使得流域内各干支流水位得到抬升。

本文综合考虑了秦淮河中下游地区的地理区位和洪水淹没的可能深度,选取研究区与长江主干河道的距离和典型洪水淹没情景下洪水水位与地面高程之差作为指标^[5],得到两者对研究区洪涝灾害危险性的影响分布,标准化后叠加得到过境洪水对洪涝灾害危险性的影响区划图(图 2b)。

除了西南和东北角有几个相对低值区,过境洪水淹没导致的洪涝灾害危险性普遍较大,距离长江越近,危险性越大。区内地势低洼、坡度平缓,水位高、径流量大,加上河道缩窄严重,共同导致行洪缓慢,从而产生较大的洪涝灾害危险性。西南和东北角分布有低山,危险性相对较小。

3.1.2 孕灾环境

(1)地形对洪涝灾害危险性的影响。地形对洪涝灾害危险性的影响体现在高程和坡度变化两方面。本文利用数字地形图生成 DEM 和坡度分布,标准化后叠加得到图 2c 所示的地形对洪涝灾害危险性的影响分布。

地形和坡度对洪涝灾害的影响基本一致。大部分区域地势低平、地形变化小,洪涝灾害危险性很高。秦淮河干流两侧的危险性最高,距干流越远,危险性越弱。西部和东北部地势相对高、地形变化大,洪涝灾害危险性较小。

(2)水系对洪涝灾害危险性的影响。秦淮河干流自西北村北流,在东山街道分为两支:北支绕城南、城西至三汊河入长江,西支为秦淮新河,经西善桥至金胜村入长江。

平原区地势低平,距离水体越近,洪涝灾害危险性越大。本文经遥感图解译提取出水体部分,选取水面率和主干河道的缓冲区两个指标研究水系对洪涝灾害危险性的影响^[9]。利用格网法计算水面率;并分别对干流、一级支流和较大湖泊建立不同宽度的二级缓冲区^[5]。综合两者得到水系对洪涝灾害危险性的影响分布图,如图 2d 所示。

(3)不透水面对洪涝灾害危险性的影响。秦淮河中下游地区的城市化进程迅速,不透水面扩张显著。随着不透水面的增大,洪峰时间提前,洪峰流量增大,洪水危险性加大。本文采取了格网化方法,得到图 2e 所示的不透水面密度对洪涝灾害危险性的影响。

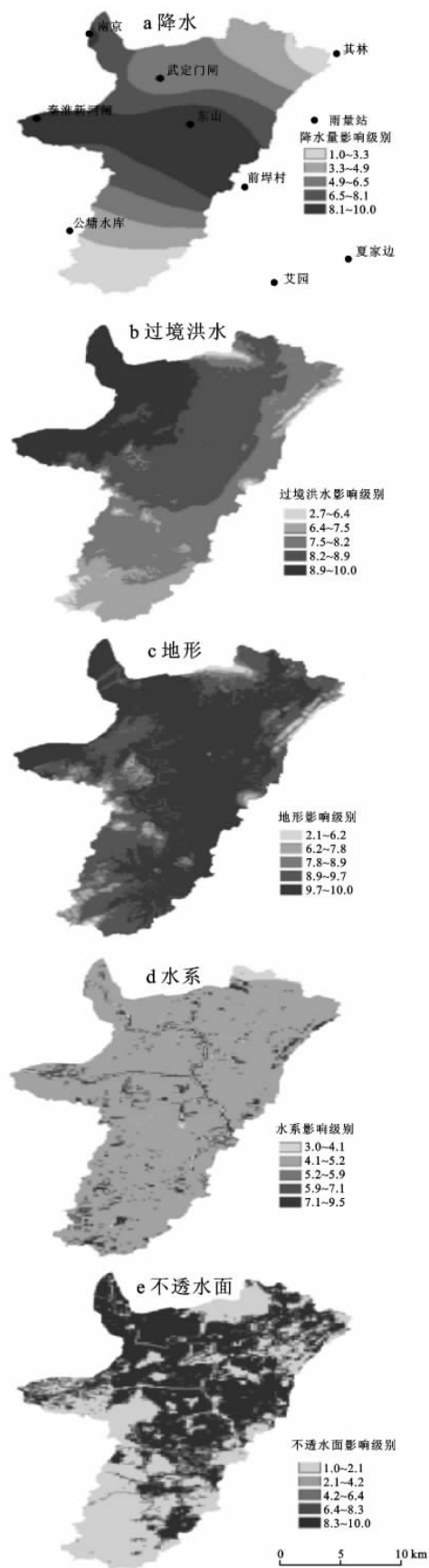


图 2 致灾因子、孕灾环境对洪涝灾害危险性的影响
由图 2 可知,从前埠村沿秦淮河干流至东山、再

到南京城区是城市化水平最高的区域,不透水面对洪涝灾害危险性的影响最大。低值区主要分布在西南片云台山、牛首山及北部钟山附近。

3.1.3 洪涝灾害危险性的综合分析 根据研究区专家意见并参照有关研究成果^[16],为上述因子构造判断矩阵,由 Yaahp 软件求得权重,得出降水、过境洪水、地形、水系、不透水面的权重分别为 0.282 2, 0.224 5, 0.196 4, 0.17, 0.126 8。按权重叠加各因子,得到附图 4a 所示的洪涝灾害危险性区划图。

本文综合分析了致灾因子——降水、过境洪水和孕灾环境——地形、区内水系和不透水面,得出 2008 年研究区内前埠村至东山段是洪涝灾害危险性最高的区域,雨花台区和南京城区其次,危险性最低的是研究区的西南和东北角。

3.2 洪涝灾害易损性评价

相同量级的洪涝发生在不同的承灾体上,效应不同。洪涝灾害易损性评价针对承灾体易于遭受致灾洪水损害的程度进行评估。承灾体的社会经济属性直接影响了其对洪涝灾害风险的承载能力。

本文选取人口密度、单位面积地区生产总值、农业和工业增加值及固定资产投资为指标,定量研究该区的社会承灾能力。人口、地区生产总值、工农业增加值是对当年状况的反映,固定资产投资则预测了未来洪涝风险的可能大小,这是由于经济发达地区进一步发展的动力也较强。为方便资料收集,本文以行政区为单元统计单位面积社会经济指标^[13]。根据社会经济水平越高,易损性越大的原则,采用层次分析法,得到洪涝灾害易损性分布图(附图 4b)。

分析可知,中心城区人口稠密,以商业为主,经济发展最迅速,一旦发生洪涝,造成的人员伤亡和经济损失最高。南京主城区南部的产业结构偏向工农业,易损性也较高。而江宁区等郊区面积广阔,社会经济密度较低,人口、产业集中度不高,对洪涝灾害易损性的贡献也相对低。

3.3 洪涝灾害风险评价

参照有关的研究成果,确定出危险性和易损性的权重^[14],最终得到以 2008 年为代表的快速城市化时期秦淮河中下游地区的洪涝灾害风险区划图(附图 4c)。

2008 年,秦淮河干流沿岸的洪涝灾害风险较高,其中南京城南地区风险最高,表明社会经济属性对洪涝灾害风险的影响较大。区内西南部和东北角属山地,若发生洪涝,过水迅速,不易产生积水,造成的损失较小。

4 城市化对洪涝灾害风险变化的影响

本文选取 1994—2001 年和 2001—2008 年两个阶段,分析每个阶段各因子的变化及其导致的洪涝灾害风险变化,并从时间维度对比各因子在两个阶段中的变化速度与幅度的差异。

4.1 洪涝灾害危险性的变化分析

本文分别计算 1994 年、2001 年和 2008 年研究区的水面率和不透水面密度,得到 1994—2001 年、2001—2008 年两者变化的空间分布,按 0.450 2 和 0.549 8 权重叠加,得到洪涝灾害危险性变化的空间分布,如图 3 所示。

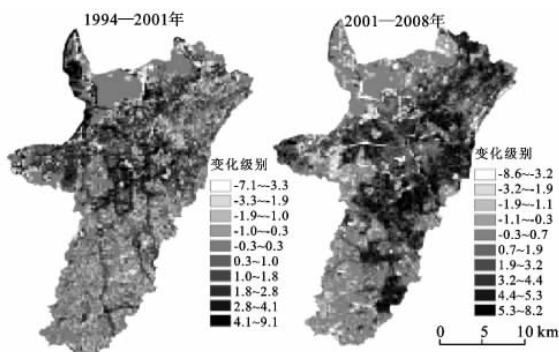


图3 洪涝灾害危险性变化分布图

对比两个阶段,洪涝灾害危险性沿秦淮河干流急剧增大,增大区域向东部呈面状扩展,以东南部和东北角最明显。1994—2001 年,危险性增大区域主要分布在江宁区的东山附近、南京城南和沿江地带;2001—2008 年,危险性增大区域沿秦淮河干流上移至前埠村附近,东北角也有所扩展,而南京城区的危险性变化不大,雨花台区甚至出现局部减小的情况。

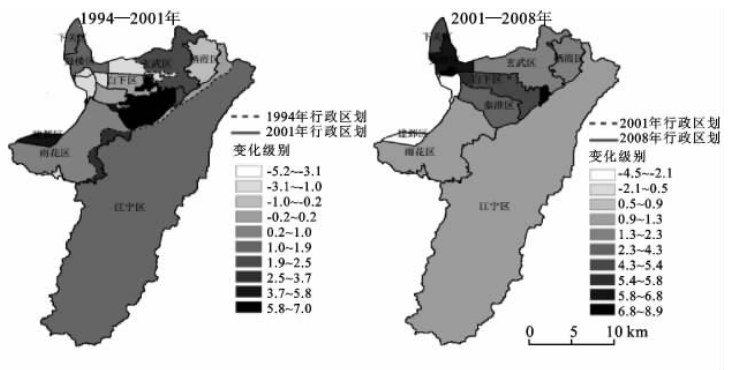


图4 洪涝灾害易损性变化分布图

研究表明以水体缩减和不透水面扩张为特征的城市化过程在 90 年代主要发生在南京主城区和江宁城区;进入 21 世纪,城区的城市化发展已进入稳定阶段,城市化过程沿秦淮河干流向郊区蔓延,江宁区 and 栖霞区均出现了明显的城市化过程。总体来说,由城市化进程推进的洪涝灾害危险性空间变化呈现出由西北片向东南方向大幅转移的趋势。

4.2 洪涝灾害易损性的变化分析

伴随着城市化发展,人口、地区生产总值和固定资产投资显著增长,产业结构有所调整。城市化进程加剧了各因子的空间布局变化。以人口由乡村向城市迁移、地区生产总值增长的城乡差异加剧和固定资产投资向城市倾斜为主要标志。城市化过程一方面导致洪涝灾害易损性增强,即洪涝一旦发生在人口稠密、经济发达地区,将产生巨大损失;另一方面,防洪减灾能力相应提高,对洪灾的社会承灾能力增强。

本文收集了 1994 年、2001 年和 2008 年研究区的行政区划和社会经济数据^[16],得到 1994—2001 年和 2001—2008 年各指标的变化分布,按权重叠加,得出研究区易损性的变化(图 4)。综观整个研究时期,南京市的行政区划频繁调整,城区面积不断扩大,郊区和县频繁微调。由于各行政区的经济实力等有所差异,行政区划调整使得人口密度、经济发展水平等重新布局,抗灾减灾能力也随之改变,共同导致承灾体的洪涝灾害易损性发生变化。

1994—2001 年,行政区划发生重大调整,主城区面积急剧扩张,郊区变化不大。由人口聚集带来的洪涝风险表现出主城区减小的趋势。另一方面,在城市化的起步阶段,各产业迅速发展,经济投资增加,导致

洪涝易损性明显增大。综合人口和社会经济发展状况,该阶段的洪涝灾害易损性呈现出南京主城区下降,江宁等郊区变化不大、甚至略有增长的总体趋势。

2001—2008 年的快速城市化时期,人口膨胀、经济急剧增长,其中,南京主城区发展起步早,目前已由高速发展逐步进入稳定状态;江宁等郊区的发展起步较晚,但势头强劲,现正处于急速发展阶段。洪涝灾害易损性的变化表现出相同的趋势。主城区的易损性增大显著;江宁等郊区面积广阔,单位面积社会经济水平低于主城区,该阶段易损性的变化不大。建邺区由于面积明显增大,易损性呈减小趋势。

4.3 城市化引起洪涝灾害风险的变化分析

将危险性变化和易损性变化的空间分布按权重叠加,得到研究区城市化进程引发的洪涝灾害风险变化的空间分布(图 5)。洪涝风险的变化是自然危险性和社会经济易损性的综合。风险变化在总体趋势上与危险性变化相同,其中叠加了社会经济发展带来的易损性变化。

1994—2001 年城市化引发的洪涝灾害风险增大主要发生在南京城南和沿江地带。2001—2008 年风险增大区域沿秦淮河干流向中上游发展,前埠村附近的

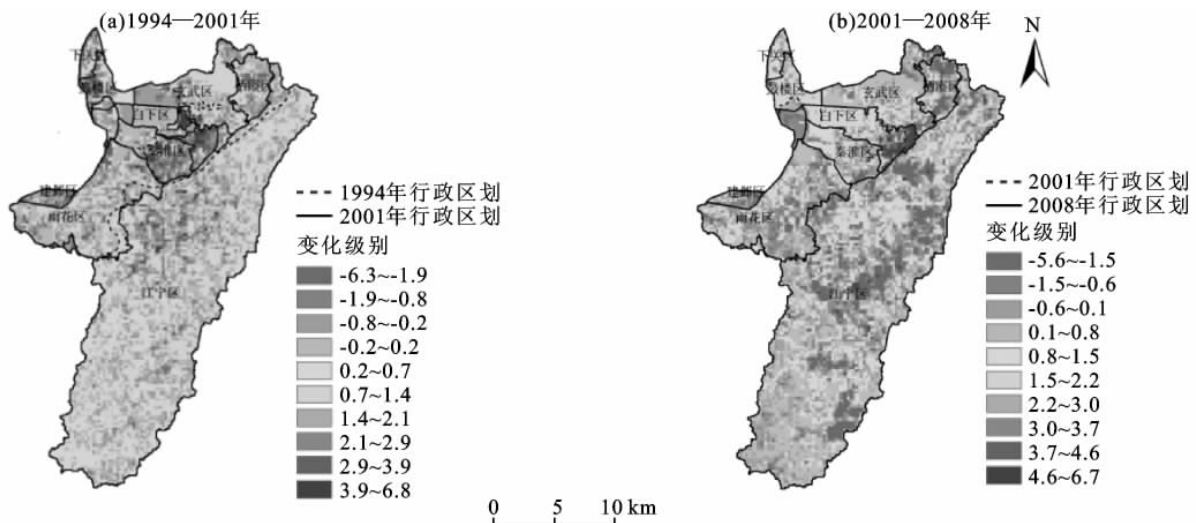


图 5 洪涝灾害风险的变化分布图

对比研究同时期的城市化进程,20 世纪 90 年代,主城区城市化发展迅速,郊区进程相对缓慢。江宁的城镇用地增长主要来源于开发区建设;位于城市内边缘的东山地区,工业化发展快、交通便利,逐渐成为南京主城区的相连部分^[15],但江宁的总体城市化进程仍相对缓慢。进入 21 世纪,城市化进入快速增长阶段,并逐步向郊区扩展。其中,江宁在撤县设区的带动下,城镇用地以大学城的形式快速增长,东山新市区已发展为城市化空间集聚的核心^[15]。

可见,不同阶段的洪涝灾害风险变化与城市化进程表现出了一致的空间分异状况,城市化过程成为洪涝灾害风险增大的重要驱动力之一。

伴随主城区和郊区的产业发展、城镇用地增长,下渗模式改变,天然水体的洪水调蓄功能下降。然而,防洪减灾措施却未跟上,稍显薄弱,明显增大了洪涝灾害风险性。针对洪涝灾害风险变化趋势,除了完善南京主城区的防汛措施外,应加强对流域中上游新兴城市化区的防洪减灾工程建设,对中上游独特的工

农产业制定有针对性的防汛政策,建设有效、可用性强的水利设施。

5 总结与展望

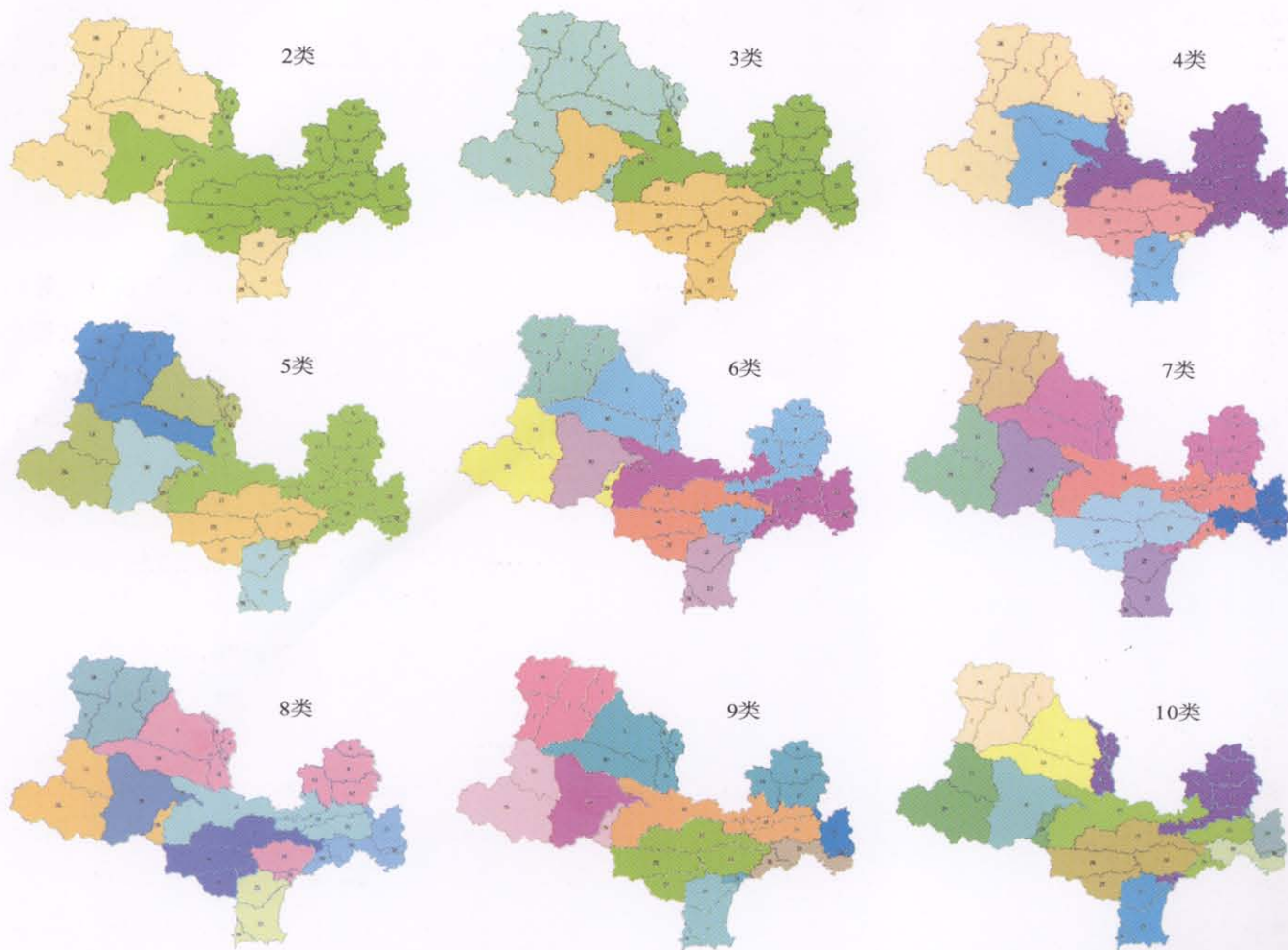
(1)气象条件等自然因素诱发产生洪涝灾害,以人类活动为代表的城市化过程明显加剧了洪涝灾害风险性;城市化与洪涝灾害风险的空间分布呈现一致性;平原区的快速城市化发展导致其洪涝灾害风险明显大于低山丘陵地区。

(2)伴随城市化发展,1994—2001年洪涝灾害风险增大主要发生在南京城南和沿江地带,2001—2008年洪涝灾害风险增大区域沿秦淮河干流向中上游发展,前埠村附近的风险增大明显;到2008年,秦淮河干流沿岸的洪涝灾害风险相对较高,南京主城区的洪涝灾害风险最大,研究区西南和东北角的洪涝灾害风险较小。

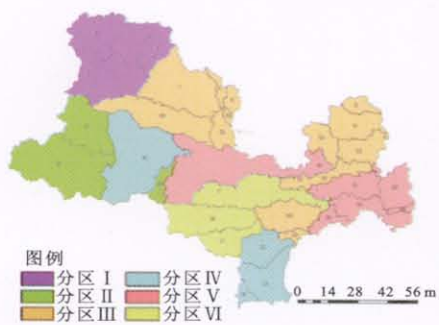
(3)秦淮河下游南京主城区和江宁新市区的防汛压力加大。应加强防汛水利综合配套工程建设及科学调度,提高洪涝灾害气象预报能力。对中上游新兴城市化区,应结合其工农业产业结构制定有针对性的防洪措施。

参考文献:

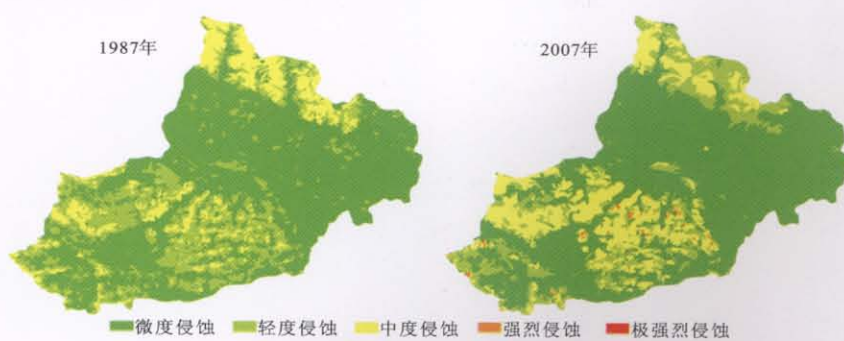
- [1] Richards B D. 洪水的估算与控制[M]. 北京:水利电力出版社,1958:16-31.
 - [2] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京:科学出版社,2007:3-60.
 - [3] 周成虎,万庆,黄诗峰,等. 基于GIS的洪水灾害风险区划研究[J]. 地理学报,2000,55(1):15-24.
 - [4] 张念强. 基于GIS的鄱阳湖地区洪水灾害风险评价[D]. 南昌:南昌大学,2006.
 - [5] 李谢辉,王磊,谭灵芝,等. 渭河下游河流沿线区域洪水灾害风险评价[J]. 地理科学,2009,29(5):733-739.
 - [6] Shigeko H, Hiroshi O, Tongchai S, et al. Geomorphological zoning for flood inundation using satellite data[J]. GeoJournal,1996,38(3):273-278.
 - [7] Anselmo V, Galeati G, Palmieri S, et al. Flood risk assessment using an integrated hydrological and hydraulic modelling approach: a case study[J]. Journal of Hydrology,1996,175:533-554.
 - [8] Jiang Weiguo, Deng Lei, Chen Luyao, et al. Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics[J]. Progress in Natural Science,2009,19(10):1419-1425.
 - [9] 黄大鹏,刘闯,彭顺风. 洪涝灾害风险评价与区划研究进展[J]. 地理科学进展,2007,26(4):11-22.
 - [10] 叶正伟. 淮河洪泽湖洪涝灾害特征与成灾本底机理分析[J]. 水土保持研究,2006,13(4):90-92.
 - [11] 陈香. 福建省暴雨洪涝灾害风险评估与管理[J]. 水土保持研究,2007,14(4):180-185.
 - [12] 陈锡林,闻余华,罗俐雅. 里下河地区暴雨与致涝关系分析[J]. 江苏水利,2008(4):17-20.
 - [13] 南京市统计局. 1994年统计年鉴,2001年统计年鉴,2008年统计年鉴[EB/OL]. <http://www.njtj.gov.cn/2004/index.html>.
 - [14] 李军玲,刘忠阳,邹春辉. 基于GIS的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究[J]. 气象,2010,36(2):87-92.
 - [15] 苏伟忠,杨桂山,顾朝林. 秦淮河流域城镇用地增长格局及其演化机制:秦淮河流域江宁段实证[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(4):440-445.
- ~~~~~
- (上接第25页)
- [4] 郭建军,李惠卓,郝金宏. 不同母岩母质上土壤特性的分析与研究[J]. 河北林业科技,2004(6):13-14.
 - [5] 张建军,张宝颖,毕华兴,等. 黄土区不同植被条件下的土壤抗冲性[J]. 北京林业大学学报,2004,26(6):25-29.
 - [6] 周清,王翠红,郭朝晖,等. 湖南省丘岗红壤抗冲性实验研究[J]. 湖南农业大学学报,2001,27(3):202-204.
 - [7] 邹翔,崔鹏,陈杰,等. 小江流域土壤抗冲性实验研究[J]. 水土保持学报,2004,18(2):71-73.
 - [8] 蒋定生. 黄土区不同利用类型土壤抗冲刷能力的研究[J]. 土壤通报,1979(4):20-23.
 - [9] 刘秉正,王佑民,陈东立. 刺槐林地土壤抗冲性的试验研究[J]. 西北林学院报,1984,1(1):83-94.
 - [10] 刘国彬. 黄土高原草地植被恢复与土壤抗冲性形成过程:Ⅱ. 植被恢复不同阶段土壤抗冲性特征[J]. 水土保持研究,1997,4(S1):111-121.
 - [11] 李勇,朱显谟,田积莹. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 科学通报,1991(12):935-938.
 - [12] 李勇,徐晓琴,朱显谟,等. 植物根系与土壤抗冲性[J]. 水土保持学报,1993,7(3):11-18.
 - [13] 吴秀芹,蔡运龙,蒙吉军. 喀斯特山区土壤侵蚀与土地利用关系研究:以贵州省关岭县石板桥流域为例[J]. 水土保持研究,2005,12(4):46-48,77.
 - [14] 袁勇,高华端,孙泉忠. 黔中喀斯特地区不同地类土壤侵蚀研究[J]. 中国水土保持,2010(6):50-51,66.
 - [15] 高华端,孙泉忠,袁勇. 喀斯特地区不同土地利用类型土壤侵蚀特征研究[J]. 水土保持通报,2010,30(2):92-96.
 - [16] 蒋定生,范兴科,李新华,等. 黄土高原水土流失严重地区土壤抗冲性的水平和垂直变化规律研究[J]. 水土保持学报,1995,9(2):1-8.
 - [17] 张丽萍,张德铨,王英安,等. 国内外土壤质地自动分类程序介绍[J]. 土壤通报,2007,38(5):989-992.



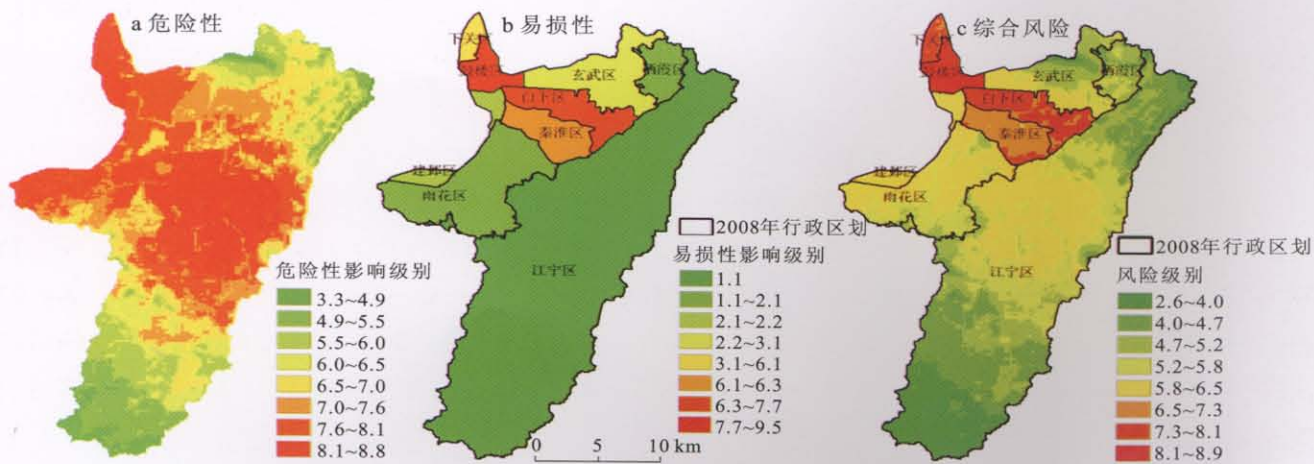
附图1 研究区域水环境压力分区方案 (每幅图同一种颜色代表一类)



附图2 研究区域水环境压力分区结果



附图3 山东省费县不同年份土壤侵蚀强度等级分布



附图4 2008年秦淮河中下游洪涝灾害危险性、易损性、综合风险区划图