

文章编号: 1007-7588(2013)11-2308-10

河南省水旱灾害生态风险综合评价

李谢辉^{1,2}, 王磊¹, 苗长虹², 闵祥鹏², 李亚婷²

(1. 成都信息工程学院大气科学学院, 高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 610225;

2. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 开封 475001)

摘要: 水旱灾害是河南省发生频率最高、危害和损失最大的自然灾害。在USEPA生态风险评价框架和国内风险评价研究的基础上, 以水旱两种自然灾害为风险源, 6种景观生态系统为风险受体, 利用AHP法和GIS技术, 通过构建河南省水旱灾害生态风险综合评价模型, 计算每个风险小区内的综合生态风险值, 最后获得5个级别的综合评价图。结果表明: 在行政区划范围内, 高风险区占6.64%, 主要位于漯河市、许昌市和郑州市的大部分地区; 低风险区占19.91%, 主要分布在三门峡市、南阳市的西北地区、信阳市的南部地区、济源市的北部地区和洛阳市的西南地区。作为面向新世纪的现代防灾减灾非工程措施, 本文对水旱灾害生态风险的综合评价研究可为灾害风险管理和防灾减灾决策提供参考依据。

关键词: 水旱灾害; 生态风险; 综合评价; AHP法; GIS技术; 河南省

1 引言

河南省位于我国中部偏东, 华北平原南部, 黄河中下游, 因大部分地区位于黄河以南, 故称河南。气象上, 自南向北由亚热带向暖温带过渡, 天气系统复杂多变; 地势上, 自西向东由山区向平原过渡, 加之河道上下游间排泄能力极不相称, 因而极易形成水旱灾害^[1]。据公元14–19世纪的600年史料统计, 河南省共发生干旱270年, 大旱100年, 特大干旱9次; 洪水302年, 大水124年, 特大洪水9年, 大约是5~6年一次大旱, 4~5年一次大水, 60年左右发生一次特大干旱和特大洪水^[2]。另据1950–2006年57年水旱灾情统计, 河南省年均受灾面积2.6967万km² (水灾1.1249万km², 旱灾1.5718万km²), 年均成灾面积1.7774万km² (水灾8147km², 旱灾9627km²)^[3]。

20世纪90年代初, 区域生态风险评价(RERA, Regional Ecological Risk Assessment)研究开始兴起, 并逐渐成为生态风险评价研究中的一个重要领域^[4]。RERA就是在区域尺度上描述和评估环境污染、人

为活动或自然灾害对生态系统及其组分产生不利作用的可能性和大小的过程^[5]。近20年来, RERA的研究案例主要集中在流域、洪泛平原、海湾、湿地等一些自然地域系统和采矿点、石油污染点、青藏铁路/公路沿线等一些特殊生态区^[6]; 风险源主要涉及如气象、水文、地质等方面的自然灾害、污染物、生境破坏、物种入侵以及严重干扰生态系统的人为活动等^[7]; 研究的模型和方法主要有基于美国环境保护局(USEPA, US Environmental Protection Agency)《生态风险评价指南》的理论框架模型、等级动态框架法、生态等级风险评价法、因果分析法、基于因子权重法的相对风险模型等^[8]。

中国的区域生态风险评价正逐步转向区域综合生态风险评价的发展模式, 并在一些具有实际决策执行和生态保护意义的区域开展了案例研究^[4]。如, 马禄义等^[9]根据USEPA的生态风险评价框架和相对风险模型对青岛市域县级行政区的干旱、洪涝、大风和冰雹4种气象灾害进行了生态风险评价。徐丽芬等^[10]运用8种自然灾害风险源频率分布

收稿日期: 2013-05-21; 修订日期: 2013-08-28

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年项目(编号: 09YJCZH032); 国家自然科学基金(编号: 41001359, 41275033); 四川省教育厅2011年科研项目(编号: 11ZZ014); 成都信息工程学院科研人才基金资助成果(编号: J201310)。

作者简介: 李谢辉, 女, 河南平舆人, 博士后, 副教授, 主要从事灾害风险评估、气象防灾减灾和3S技术应用研究。

E-mail: lixiehui325328@163.com

2013年11月

图等数据,通过综合考虑生态的脆弱性,风险源的发生频率,受体的暴露水平、危害程度等,对多风险源、多个生态系统综合的包括津京唐及华北和渤海数个石油基地范围内的生态风险进行了评价。许学工等^[11]通过选择10种自然灾害作为生态风险源,22种生态系统作为风险受体,在各单项灾害生态风险评价的基础上,完成了中国灾害生态风险综合评价与制图。

近年来,随着自然灾害的频发,对自然灾害进行风险分析日益成为灾害预测、损失评估和减灾决策的重要组成部分^[10]。目前,针对河南省水旱灾害有关的研究多集中在关于历史时期水旱灾害的分析及影响、水旱灾害的成因与演变特征分析、减灾对策与治理措施、灾害监测、预警与评估信息系统建立等方面,而作为防灾减灾非工程措施重要内容的灾害风险评价研究相对较少。如,针对灾害出现频率高而且强度非常大的民国时期,苏留新^[12]在完成民国时期河南省水旱灾害描述的基础上,针对政府不同程度的救灾应对措施进行了阐释。朱业玉等^[13]利用河南1949–2003年的逐年旱涝灾害成灾面积统计数据,采用年旱涝成灾面积的相对大小进行了旱涝年型等级划分,并分析了旱涝灾害演变的基本特征;同时运用小波分析的方法探讨了旱涝灾害的转折突变特征。张震宇^[14]通过分析河南省自然灾害(干旱、洪涝等)的主要特征和动态演变趋势,对分布在不同区域的自然灾害提出了一些具体的防灾减灾对策。武洪涛等^[15]针对河南省的旱涝自然灾害,通过建立一个综合性、多功能且实用性很强的灾害信息系统,来进行灾害监测与评估。

本文主要利用GIS技术,在USEPA生态风险评价框架^[16]和国内一些学者^[17]提出的区域生态风险评价的方法步骤下,通过构建综合生态风险值的计算模型,对河南省水旱灾害生态风险进行综合评价,其结果可为决策者了解河南省水旱灾害风险的总体空间分布,以及为风险管理和防灾减灾措施的制定等方

面提供参考依据。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 水旱灾害生态风险综合评价模型

风险一般指遭受损失、损伤或毁坏的可能性,通常定义为在一定时期产生有害事件的概率与有害事件后果的乘积^[18]。生态风险值作为生态风险的表征,是风险源的强度、发生概率、风险受体的特征、风险源对风险受体的危害等信息的综合^[19]。在USEPA生态风险评价框架和国内风险评价研究的基础上,本文构建的河南省水旱灾害生态风险综合评价模型见图1所示。

研究主要通过计算综合生态风险值来进行评价,而认为综合生态风险值是综合风险概率、综合生态损失度、综合社会经济易损度的叠加^[20],即:

$$\begin{aligned} \text{综合生态风险值}(R) = & \text{综合风险概率}(P) \\ & \times \text{综合生态损失度}(L) \\ & \times \text{综合社会经济易损度}(V) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{其中: } P = \beta_1 P_1 + \beta_2 P_2 \quad (2)$$

$$L = \sum_{i=1}^m \frac{A_i}{A} R_i \quad (3)$$

$$V = f(D, G, C) \quad (4)$$

式中 β_1 为干旱风险源的权重; P_1 为干旱风险源的发生概率; β_2 为洪水风险源的权重; P_2 为洪水风险源的发生概率; m 为景观组分类型的数量; i 为景观

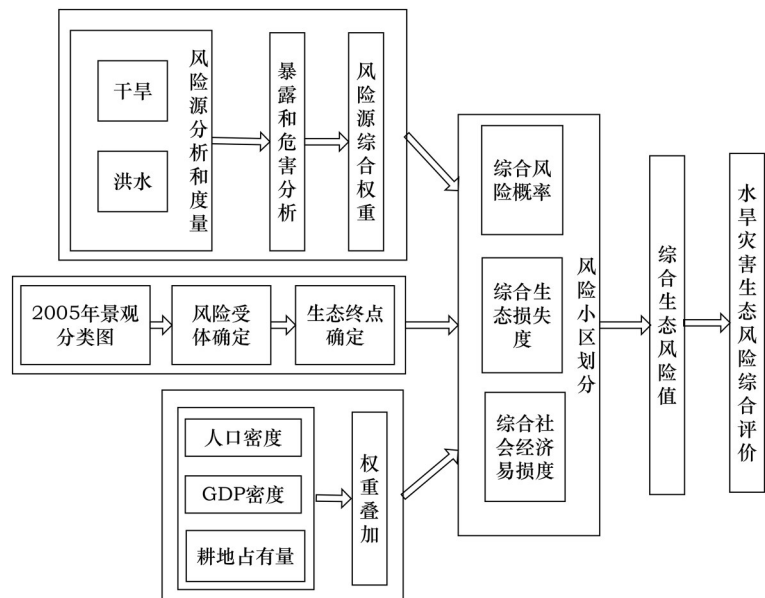


图1 水旱灾害生态风险综合评价模型框架

Fig.1 Model framework on integrated assessment of ecological risk about flood and drought disasters

景观组分类型; A_i 为区域内第 i 类景观组分的面积; A 为景观的总面积; R_i 为第 i 类景观组分所反映的景观损失指数,由景观破碎度、景观分离度、景观优势度和景观脆弱度指数综合得到,其具体的计算和处理方法见笔者已发表参考文献^[21]; D 为人口密度指标; G 为GDP密度指标; C 为耕地占有量(耕地面积百分比)指标。

2.2 数据标准化

由于涉及到众多因子,而这些指标因子的数值范围、单位均不同,因此非常有必要在评价分析中对各指标进行标准化和归一化,主要包括数据趋同化和无量纲化处理两个方面。研究主要采用公式法(式5)和专家分级赋值法对相关指标进行标准和归一化^[20]。

$$N = \frac{I - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \times (0.9 - 0.1) + 0.1 \quad (5)$$

式中 I 为原始系列数据; I_{\min} 和 I_{\max} 分别为其中的最小值和最大值; N 为标准化后的值;其值域在 $[0.1, 0.9]$ 之间。

当数据呈不规则分布时,采用公式法会导致处理后的数据分布不均匀,这时可采用分级赋值法,其原则是尽量使数据呈正态分布。专家分级赋值法可以将相关指标的隶属度归一化取值到同一区间,从而便于在同一个数量等级范围内进行计算和对比。本文在水旱灾害综合风险概率和综合社会经济易损度的计算中,对原始数据的处理和影响度等的赋值都是基于这两种方法进行,其标准和归一化的值域区间为 $[0.1, 0.9]$ 。

2.3 层次分析法

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是一种将定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法。其主要思想是通过将复杂问题分解为若干层次和因素,对两两指标之间的重要程度作出比较判断,建立判断矩阵,通过计算判断矩阵的最大特征值以及对特征向量得出不同方案重要性程度的权重,为最佳方案的选择提供依据^[22]。在运用中大体包括建立层次结构模型、构造判断矩阵、层次单排序、层次总排序和一致性检验 5 个步骤。本文主要利用 AHP 法来确定历史洪灾频次、降水、地形、水系和土壤几个因子在度量洪水风险源风险概

率中的权重。

2.4 栅格数据的叠加分析

栅格数据的叠加分析是指在统一空间参考系条件下,将同一地区、同一比例尺的多组栅格数据层叠加在一起,在图层的相应位置上产生新属性值的分析方法^[23]。由于水旱灾害生态风险评价是一个复杂的地学多源信息综合分析过程,涉及到多种数据源和数据格式,为进行综合评价,考虑到河南省的实际范围和空间数据分析的一致性,研究将所有相关数据都转换为 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 分辨率的栅格数据,并利用 ArcGIS 软件中的 Raster Calculator 工具来实现对栅格数据的叠加分析。同时,本文还运用了 ArcGIS 软件中的矢量——栅格数据格式转换、插值、缓冲区计算、区域统计等空间分析和制图工具来完成对水旱灾害生态风险的综合评价。

2.5 数据来源

1951–2010 年的降水量数据来源于中国气象科学数据共享服务网;历史水旱灾年统计和灾情数据来源于河南省历代大水大旱年表和中国气象灾害大典(河南卷);地形数据来源于美国 SRTM-3 DEM 数据,分辨率为 3 弧秒;土壤数据来源于河南省 1:20 万分县土壤类型矢量图;河流水系、行政区边界等数据来源于河南省 1:25 万地理信息矢量数据集;2005 年土地利用/土地覆盖栅格数据来源于地球系统科学数据共享平台;2005 年人口、GDP、耕地面积等数据来源于《河南统计年鉴》和《中国县(市)社会经济统计年鉴》。

3 水旱灾害生态风险分析

根据图 1 的模型框架,具体的分析步骤如下:

3.1 水旱灾害风险源的分析和度量

表 1 是 1450–1979 年河南省 5 个分区的水旱灾

表 1 1450–1979 年河南省分区水旱灾年统计

| 地区 | 水灾 | 其中 | | 旱灾 | 其中 | |
|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|
| | | 大、特大灾 | 特大灾 | | 大、特大灾 | 特大灾 |
| 豫西 | 251 | 66 | 6 | 273 | 60 | 6 |
| 豫北 | 218 | 50 | 6 | 276 | 56 | 4 |
| 豫东 | 258 | 64 | 6 | 254 | 45 | 4 |
| 豫南 | 167 | 48 | 3 | 172 | 36 | 3 |
| 唐白丹 | 147 | 31 | 5 | 125 | 39 | 6 |
| 全省 | 188 | 47 | 6 | 209 | 45 | 6 |

2013年11月

年统计,关于每个分区的划分范围和灾情统计方法见笔者已发表文献^[24]。

3.1.1 干旱 河南省干旱灾害形成的原因极其复杂,有来自自然的,社会的等多方面的因素,诸多因素中大气降水少是形成旱灾的直接原因^[25]。风险源一般以其发生的概率、强度和范围来描述。在单项气象干旱指数中,降水量距平百分率(PAP, Precipitation Anomaly Percentage)能直观反映降水异常引起的干旱,多用来评估月、季、年发生的干旱事件。借鉴中国气象灾害大典(河南卷)中对河南省干旱标准的划分,主要涉及对3-5月(春旱)、6月(初夏旱)、7-8月(伏旱)、9-10月(秋旱)4个时段,当PAP小于-50%时为干旱,小于-70%时为重旱^[25]。考虑到河南省内单季旱灾以春旱、初夏旱、伏旱和秋旱发生频次高、旱情重、危害大,本文首先收集了河南省18个站点从1980-2009年的降水量数据,通过计算4个时段的PAP,统计其小于-50%时发生春旱、初夏旱、伏旱和秋旱的频次,然后综合统计基于PAP的旱年频次,并利用ArcGIS9软件中的Spline with Barriers工具进行空间插值。为更好的描述干旱风险源的发生概率、强度和范围,研究不仅考虑了基于1980-2009年数据得到的PAP旱年频次,而且还考虑了表1中关于河南省5个分区从1450-1979年发生旱灾的历史灾年频率,在对这两个时段的时间间隔长短和数据区域范围大小进行衡量和分析后,通过专家咨询和讨论分别赋以权重0.4和0.6对标准化后的数据进行叠合,就得到了以旱年发生频率进行干旱风险源度量的分布等级图^[24]。

3.1.2 洪水 造成河南水灾频繁的原因是多方面的,是多种因素复合形成的,首先是气候因素,其次是河流、地形、土壤等,其中气候因素起着主导作用,其它则是激发的,一旦与气候条件相结合,便酿成灾害^[1]。本文对洪水风险源的度量不是简单的只统计洪灾发生频率,而是通过对引起洪灾危险性的影响因子进行综合叠加而获得。即主要将传统的洪灾研究方法和现代技术手段GIS相结合,从形成洪灾的自然属性出发,选取历史洪灾频次、降水、地形、水系和土壤几个因素,通过分别分析它们对洪水灾害危险性的影响度后,利用AHP法确定影响权重,根据权重进行栅格叠加获得洪灾危险性影响度

综合分布图,并以此作为度量洪水风险源的概率指标进行分析。为便于在同一个数量等级范围内进行计算和对比,各影响度的值域区间为[0.1, 0.9],其取值主要通过采用文献参阅、专家咨询和分级赋值法获得^[20]。

(1) 历史洪灾频次。由于数据资料的缺乏,河南省历史洪灾的频次和范围可以粗略的通过表1的分区范围和5个分区1450-1979年水灾灾年频率来反映。根据频率越高,洪水危险性越大的原则,确定出历史洪灾对洪水危险性的影响度,即频率小于30%的区域为0.5, 30%~35%的区域为0.6, 35%~40%的区域为0.7, 40%~45%的区域为0.8, 大于45%的区域为0.9, 据此利用ArcGIS9软件可以得到河南省历史洪灾对洪水危险性的影响度图^[26]。

(2) 综合降水。在气候因素中,降水量年内分配不均和年际变化强烈是形成洪水的主要原因。河南省降水量主要集中在6-9月,约占全年降水量的60%以上,而且刚好处于汛期,根据引起洪水灾害的降水特征,采用境内88个气象站的多年(1951-2006年)平均汛期雨季(6-9月)降水量和通过18个测站计算出的降水变率(1951-2010年)来综合表征降水量对洪水危险性的影响。根据降水量越大,影响度越高,降水变率越大,降水量越不稳定,洪水危险性越高的原则,确定降水因子对洪灾形成的影响度划分标准,并根据此标准获得综合降水因子对洪

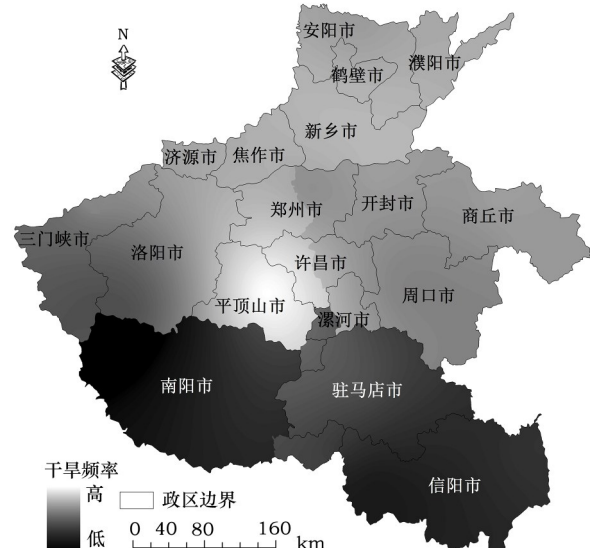


图2 干旱频率分布

Fig.2 Distribution map of drought frequency

水灾害危险性的影响度图^[27]。

(3) 综合地形。河南省地貌结构的基本轮廓是西部为连绵起伏的山地,东部为广阔坦荡的平原,其地形对洪水存在许多不利的影响因素。地形与洪水的危险程度是密切相关的,地形高程越低,坡度越大越容易发生洪水。由于高程相对标准差能很好地反映栅格处的地形变化程度,可用来取代坡度,因此本文主要采用由美国 SRTM-3 DEM 数据获得的绝对高程和高程相对标准差两个指标来表征地形对洪灾危险性的影响。根据绝对高程越低,相对高程标准差越小,洪水危险程度越高的原则,确定地形因子与洪水危险程度的影响度关系,并根据此关系获得综合地形因子对洪水灾害危险性的影响度图^[27]。

(4) 土壤。按照现行中国土壤分类系统,河南省土壤共有7个土纲,11个亚纲,17个土类^[28]。在河南省土壤类型分布图上,根据砂礓黑土、盐碱土、淤土、沙土、两合土、褐土、棕壤土、水稻土等土类由于在质地、孔隙、团粒结构等基本特征上的不同而导致的吸水、渗水、保水能力方面的差异,对引发洪灾有影响的土类类型进行由易到难不同影响度的划分,并据此获得土壤因素对洪灾危险性的影响度分布图。

(5) 河流水系。水系对洪水危险性的影响可以通过建立水系的的不同级别缓冲区来表示,做缓冲区时不仅要考虑河流干、支流的区别,还要考虑地形因素,地形因素也反映了由于黄河河道泥沙淤积严重而引起的“悬河”现象。缓冲区的宽度则就是为综合考虑这些因素而设置的,不同的缓冲区宽度代表了不同地段受洪水侵袭的难易程度。由于河南省的水系众多,根据《全国河流名称代码》中关于河南省各河流等级代码的涵义,结合历史水情资料,首先将主要引起较大防汛任务的河流水系进行了干流、一级和二级河流支流的不同级别划分。然后根据河流的不同级别和所处地形对河流建立了一级、二级和非缓冲区,根据距离河流越近,洪水危险性越大的原则,确定各级缓冲区对洪水危险性的影响度(一级缓冲区为0.9,二级缓冲区为0.8,非缓冲区为0.5),最后通过对缓冲区级别进行洪水危险性影响度再分类,就可以得到河流水系对洪水灾害危

险性的影响度分布图。

(6) 洪灾危险性影响综合分析。从形成河南省洪灾的致灾因子和孕灾环境出发,将以上选取的5个因子利用 AHP 法确定权重,在通过求解判断矩阵的最大特征值和它所对应的特征向量,并进行一致性检验后,得到各因子的权重为:

$W_{\text{历史洪灾频次}}=0.1462$ 、 $W_{\text{综合降水}}=0.4038$ 、 $W_{\text{综合地形}}=0.0918$ 、 $W_{\text{土壤}}=0.0781$ 和 $W_{\text{河流水系}}=0.2801$ 。

利用 ArcGIS 的 Raster Calculator 工具,通过对各因子的洪灾危险性影响度分布图进行不同权重叠加,就获得洪灾危险性影响综合分布图3,并以此作为度量洪水风险源的概率指标进行分析。

3.2 暴露和危害分析

河南是农业和人口大省,也是灾多灾重的大省。在气象灾害中,水旱灾害发生频率最高,出现次数占各类自然灾害总次数的2/3,其产生的危害是多方面的。旱灾不仅给工农业生产和人民生活造成困难,而且给经济发展和社会稳定带来重大损失和影响;水灾通常能引发滑坡、泥石流等地质灾害,而且造成农田淹没、房屋倒塌、交通电力中断、人员伤亡;因此,水旱两种风险源的存在对河南省的社会经济和可持续发展构成了极大的威胁。

对于水旱灾害生态风险源来说,研究区每种景观生态系统暴露于风险源之下的状况各不相同。旱灾发生时一般影响范围较广,研究区内所有景观

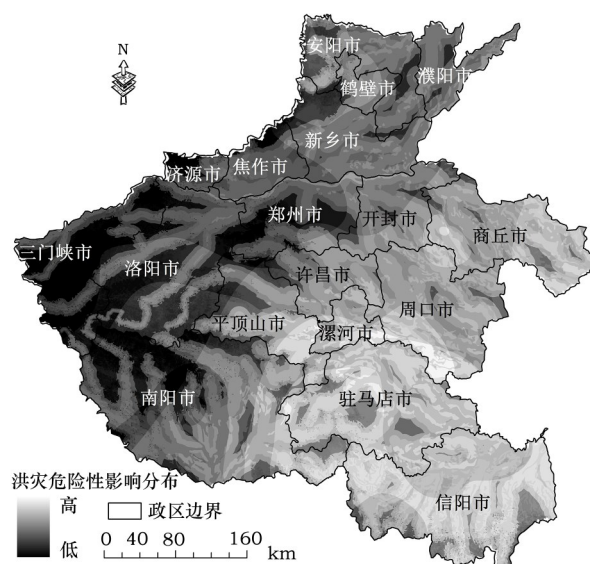


图3 洪灾危险性影响综合分布

Fig.3 Integrated distribution map of flood hazard effect

2013年11月

类型都暴露在这种风险源之下,使得各种生态系统都可能受到损害。水灾的影响范围一般与研究区内的水系和地形有关,通过水系的不同缓冲区、不同流向和地形坡度变化而对这些范围内的景观类型产生不同的影响。由于许多景观生态系统是暴露于多重生态风险之下,它们所受的风险是多重风险源风险强度的叠加,而各风险源在不同的分布区内有不同的影响强度,因此不同的景观类型所面临的风险强度不尽相同,相同的景观类型分布于不同的区域所面临的风险强度也不相同,而对它们的综合叠加评价可以具体反映这些问题^[20]。

3.3 水旱灾害风险源的综合权重

水旱灾害两种风险源对形成区域性景观生态风险的作用大小有所差异,因此在进行综合评价时,要对这两种风险源赋予各自不同的权重。在对历史水旱灾害的发生频率、灾情、范围等进行对比和分析后,通过专家咨询认为旱灾风险源的权重为0.6,水灾风险源的权重为0.4。

3.4 风险受体分析

研究采用由地球系统科学数据共享平台(www.geodata.cn)提供的2005年100m土地利用/土地覆盖栅格数据。考虑到河南省的土地利用现状,结合中国科学院土地资源分类系统,将此数据归类划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地6种景观斑块类型,并将这6种景观类型所代表的生态系统作为风险受体进行分析。

3.5 生态终点确定

生态终点是指在具有不确定性的风险源作用下,风险受体可能受到的损害,以及由此而导致的区域生态系统结构和功能的损伤^[5]。在对区域景观进行生态风险分析时,选择什么指标来表征河南省

6种景观受体受到风险源干扰后可能出现的损害情况是分析中相当关键的一个步骤。选择的评价终点既要将危害与生态影响联系在一起,又要呈现给人们一系列可测定的数据,准确地说明研究区内各景观生态类型受干扰影响的大小。考虑到不同类型景观所具有的不同结构和功能,本文将通过几种景观格局指数来建立生态风险指数,并以此作为生态终点度量的指标(具体的计算和处理方法见笔者已发表参考文献^[21]),得到的2005年景观格局指数见表2。

3.6 社会经济易损性指标

水旱灾害具有自然和社会的双重属性,同样的水旱灾害发生在不同的地区,可能会导致完全不同的结果,因此在对水旱灾害进行风险评价时需要考虑区域的易损性特征^[29]。一般,社会经济条件可以定性反映区域的灾损敏感度(易损性高低),并可通过衡量区域社会经济易损性大小的社会经济指标来反映,因此本文以行政区为单位,主要选取2005年河南省18个地市的人口密度、GDP密度和耕地占有量(耕地面积百分比)来作为社会经济易损性指标参与综合社会经济易损度的计算^[30]。

4 评价结果与分析

由于每一种风险源的影响范围不同,且在不同范围内的风险强度大小也不同,研究区受干旱和洪水两种自然灾害风险源的共同作用,因此在不同地点可能是不同风险源的多重影响区。为了体现受不同强度风险源影响而反映出的综合风险差异,需要将旱灾和洪灾两种风险源的概率度量指标进行综合叠加,划分风险小区。研究首先对干旱和洪水两种自然灾害风险源度量指标进行标准化,并利用公式(2)和ArcGIS中的Raster Calculator功能,通过

表2 2005年景观格局指数

Table 2 Indices of landscape pattern in 2005

| 景观类型 | 斑块数 (个) | 面积 (万 hm ²) | 破碎度 指数 C_i | 分离度 指数 N_i | 优势度指数 D_i | 结构指数 S_i | 脆弱度指数 F_i | 损失指数 R_i |
|-------|------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 耕地 | 3 906 | 1 142.008 | 0.000 3 | 0.011 1 | 0.378 3 | 0.041 4 | 0.580 0 | 0.024 0 |
| 林地 | 2 477 | 275.648 | 0.000 9 | 0.036 7 | 0.104 5 | 0.022 0 | 0.260 0 | 0.005 7 |
| 草地 | 3 940 | 92.044 | 0.004 3 | 0.138 8 | 0.061 6 | 0.050 4 | 0.420 0 | 0.021 2 |
| 水体 | 3 596 | 39.552 | 0.009 1 | 0.308 5 | 0.042 8 | 0.102 3 | 0.740 0 | 0.075 7 |
| 建设用地 | 15 149 | 106.726 | 0.014 2 | 0.234 7 | 0.162 4 | 0.095 2 | 0.100 0 | 0.009 5 |
| 未利用土地 | 25 | 0.210 | 0.011 9 | 4.856 4 | 0.000 3 | 1.464 1 | 0.900 0 | 1.317 7 |

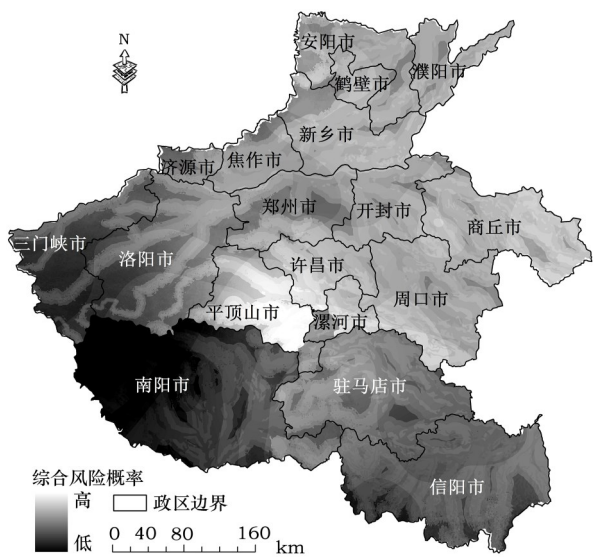


图4 水旱灾害综合风险概率分布

Fig.4 Distribution of integrated risk probability

权重值进行叠加,然后划分为5km×5km的采样单元网格,即风险小区,这样就获得了各风险小区内所受到的综合风险概率空间分布图4。

根据河南省2005年100m土地利用/土地覆盖栅格数据中各景观单元的面积大小,首先将研究区划分为5km×5km的风险小区,然后根据公式(3),利用表2中的景观损失指数对每一个风险小区计算出一个综合生态损失度值,并把这个值作为采样网格中心点的生态损失度值,接着利用地统计学方法,计算出实验变异函数,并运用球状模型进行拟合检验,最后利用普通Kriging空间插值法进行内插,就获得整个研究区的综合生态损失度空间分布图5。

为了将3个社会经济易损性指标转换成各自对水旱灾害社会经济易损性的影响度,从统计特征分析出发,参考各指标数据的均值和标准差,分别把各指标划分为5类,并赋予[0.1,0.9]的影响度范围(表3-表5),为综合分析水旱灾害的社会经济易损性,根据公式(4),在ArcGIS软件中通过将3个因子等权重叠加,再划分风险小区后就获得各风险小区内的综合社会经济易损度分布图6。

利用公式(1)和GIS的栅格计算功能,再将各数据的值域标准化到(1,10)后,将每个风险小区内的综合风险概率分布图、综合生态损失度分布图、综合社会经济易损度分布图进行叠加可获得

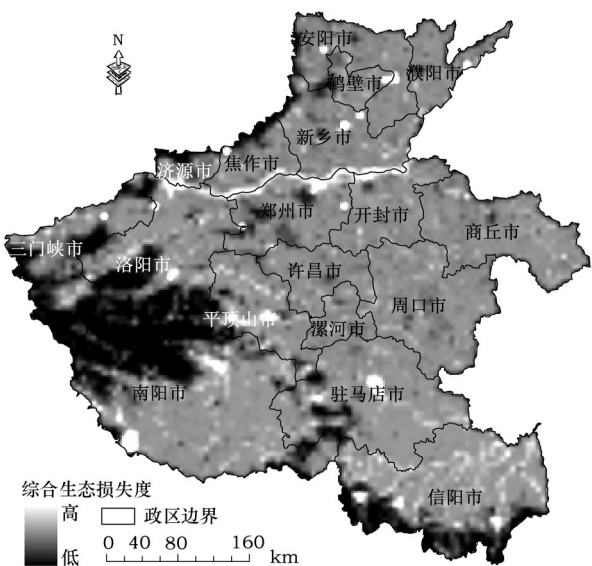


图5 综合生态损失度分布

Fig.5 Distribution of integrated ecological loss degree

表3 人口密度分类

Table 3 Population density and influence index

| 分类号 | 分类范围(人/km ²) | 影响度 |
|-----|--------------------------|-----|
| 1 | 0~297.97 | 0.5 |
| 2 | 297.97~515.23 | 0.6 |
| 3 | 515.23~732.49 | 0.7 |
| 4 | 732.49~949.75 | 0.8 |
| 5 | ≥949.75 | 0.9 |

注:均值为595.93;标准差为217.26。

表4 GDP密度分类

Table 4 GDP density and influence index

| 分类号 | 分类范围(万元/km ²) | 影响度 |
|-----|---------------------------|-----|
| 1 | 0~320.04 | 0.5 |
| 2 | 320.04~756.91 | 0.6 |
| 3 | 756.91~1 193.78 | 0.7 |
| 4 | 1 193.78~1 630.65 | 0.8 |
| 5 | ≥1 630.65 | 0.9 |

注:均值为640.07;标准差为436.87。

表5 耕地面积百分比分类

Table 5 Percentage of cultivated area and influence index

| 分类号 | 分类范围(%) | 影响度 |
|-----|-------------|-----|
| 1 | 0~23.95 | 0.5 |
| 2 | 23.95~39.75 | 0.6 |
| 3 | 39.75~55.55 | 0.7 |
| 4 | 55.55~71.35 | 0.8 |
| 5 | ≥71.35 | 0.9 |

注:均值为47.9;标准差为15.8。

2013年11月

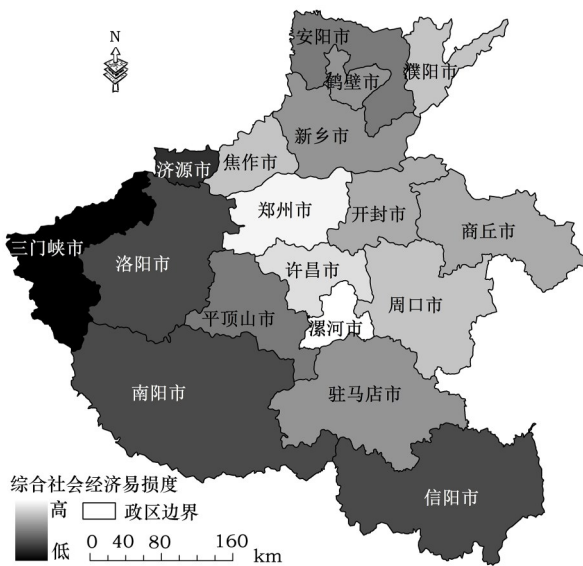


图6 综合社会经济易损度分布

Fig.6 Distribution of integrated social and economic vulnerable degree

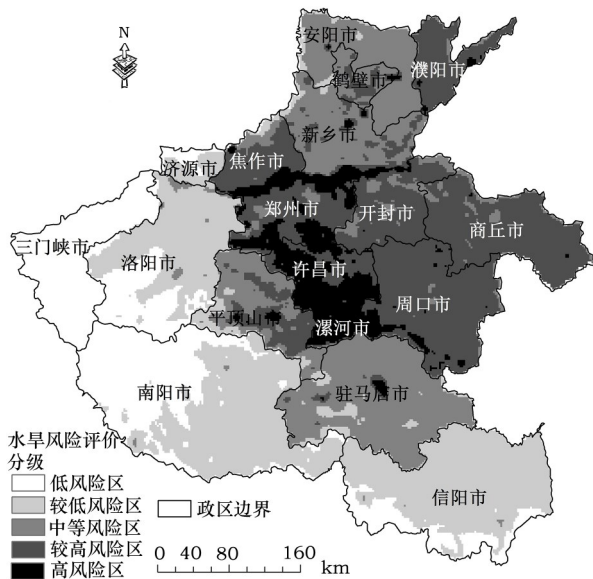


图7 水旱灾害生态风险综合评价

Fig.7 Integrated assessment of ecological risk about flood and drought disasters

表6 5个级别风险区所占面积和比例统计

Table 6 Statistics on area and percentage of five risk regions

| 风险等级 | 面积(万 km ²) | 比例(%) |
|-------|------------------------|-------|
| 低风险区 | 3.30 | 19.91 |
| 较低风险区 | 4.37 | 26.31 |
| 中等风险区 | 3.59 | 21.62 |
| 较高风险区 | 4.24 | 25.52 |
| 高风险区 | 1.10 | 6.64 |

各风险小区内的综合生态风险值。最后利用ArcGIS软件中关于属性分类符号设置的自然断点法再对综合生态风险值进行分级后就获得河南省水旱灾害5个级别的生态风险综合评价图7。

表6是划分的低风险区,较低风险区,中等风险区,较高风险区和高风险区分别所占面积和比例的统计。

结果可知,由于漯河市、许昌市和郑州市的部分地区水旱灾害风险源的综合风险概率高,社会经济易损度高,而且黄河下游干流沿线区域生态损失度高,因此高风险区主要位于漯河市、许昌市和郑州市的大部分地区,面积为1.10万 km²,占总面积的比例为6.64%。河南省地处我国地势的第二和第三阶梯的过渡地带,地势西高东低,北、西、南三面由太行山、伏牛山、桐柏山、大别山沿省界呈半环形分布,从行政区划上主要隶属于三门峡市、南阳市的西北地区、信阳市的南部地区、济源市的北部地区和洛阳市的西南地区,由于这些地区的土地利用类型多以林地为主,生态损失度低,同时水旱灾害风险源的综合风险概率低,社会经济易损度低,因此都属于低风险区,面积为3.30万 km²,所占比例为19.91%。周口市、商丘市、开封市、濮阳市、焦作市、鹤壁市都属于黄淮海冲积平原,水旱灾害风险源的综合风险概率较高,生态损失度较高,社会经济易损度较高,因此这些地区连同郑州、许昌和平顶山市的部分地区都属于较高风险区,面积为4.24万 km²,所占比例为25.52%。由于综合生态风险值是综合风险概率、综合生态损失度和综合社会经济易损度三指标的叠加,因此某一指标的高低并不能代表最终的结果,通过叠合,较低风险区主要位于信阳市、南阳市、洛阳市和济源市的丘陵与平原区,面积最大,为4.37万 km²,所占比例为26.31%;中等风险区主要位于驻马店市、新乡市、安阳市,以及平顶山和鹤壁市的部分地区,面积为3.59万 km²,所占比例为21.62%。

5 结论

本文在USEPA生态风险评价框架和国内风险评价研究的基础上,以水旱两种自然灾害为风险源,6种景观类型所代表的生态系统为风险受体,利用AHP法和GIS技术,通过构建河南省水旱灾害

生态风险综合评价模型,计算每个风险小区内的综合生态风险值,最后获得5个级别的综合评价图。由结果可知:在行政区划范围内,高风险区面积所占比例为6.64%,主要位于漯河市、许昌市和郑州市的大部分地区;较高风险区面积所占比例为25.52%,主要分布在周口市、商丘市、开封市、濮阳市、焦作市、鹤壁市,以及郑州、许昌和平顶山市的部分地区;中等风险区面积所占比例为21.62%,主要位于驻马店市、新乡市、安阳市,以及平顶山和鹤壁市的部分地区;较低风险区面积所占比例为26.31%,主要位于信阳市、南阳市、洛阳市和济源市的丘陵与平原区;低风险区面积所占比例为19.91%,主要分布在三门峡市、南阳市的西北地区、信阳市的南部地区、济源市的北部地区和洛阳市的西南地区。

当前,防灾减灾的思路正在由抗御灾害向灾害风险管理转移,非工程措施逐渐被摆到防灾减灾的重要位置。水旱灾害生态风险评价作为风险管理的重要组成部分,不仅是了解灾情,进行灾害风险区划,实行灾害预防、预测和损失评估的基础,而且对决策部门制定防灾减灾措施具有重要意义。针对本文获得的面积比例为32.19%的高和较高风险区,可以通过加强水利设施建设、加大堤防和河道整治力度、修订完善各类防灾预案、强化非工程措施、保护生态环境、注重提高民众的防灾意识和水平来减少水旱灾害风险,降低灾害损失。

参考文献(References):

- [1] 河南省水利厅水旱灾害专著编辑委员会. 河南水旱灾害[M]. 郑州:黄河水利出版社,1999.
- [2] 河南省防汛抗旱指挥部办公室. 河南省防汛抗旱手册[M]. 郑州:河南省防汛抗旱指挥部办公室,2008.
- [3] 河南省水文水资源局. 河南省水情手册[M]. 郑州:黄河水利出版社,2009.
- [4] 殷贺,王仰麟,蔡佳亮,等. 区域生态风险评价研究进展[J]. 生态学杂志,2009,28(5):969-975.
- [5] 付在毅,许学工. 区域生态风险评价[J]. 地球科学进展,2001,16(2):267-271.
- [6] 颜磊,许学工. 区域生态风险评价研究进展[J]. 地域研究与开发,2010,29(1):113-118.
- [7] 蒙古军,赵春红. 区域生态风险评价指标体系[J]. 应用生态学报,2009,20(4):983-990.
- [8] 孙洪波,杨桂山,苏伟忠,等. 生态风险评价研究进展[J]. 生态学杂志,2009,28(2):335-341.
- [9] 马禄义,许学工. 基于气象灾害的青岛市域生态风险评价[J]. 城市环境与城市生态,2010,23(4):1-5.
- [10] 徐丽芬,许学工,卢亚灵,等. 基于自然灾害的北京幅综合生态风险评价[J]. 生态环境学报,2010,19(11):2607-2612.
- [11] 许学工,颜磊,徐丽芬,等. 中国自然灾害生态风险评价[J]. 北京大学学报(自然科学版),2011,47(5):901-908.
- [12] 苏新留. 民国时期河南水旱灾害及其政府应对[J]. 史学月刊,2007,(5):103-110.
- [13] 朱业玉,程炳岩,王记芳. 河南旱涝灾害的演变特征分析[J]. 灾害学,2006,21(3):94-97.
- [14] 张震宇. 河南省自然灾害动态演变趋势及防灾减灾对策[J]. 地域研究与开发,1991,10(3):45-48.
- [15] 武洪涛,张震宇,邬恺夫,等. 河南省自然灾害监测与评估信息系统研究[J]. 地域研究与开发,2005,2(6):125-128.
- [16] USEPA.Guidelines for Ecological Risk Assessment[M]. Washington:Rarebooksclub,1998.
- [17] Xu X G, Lin H P, Fu Z Y. Probe into the method of regional ecological risk assessment—a case study of wetland in the Yellow River Delta in China[J]. Journal of Environmental Management, 2004,70(3):253-262.
- [18] 李谢辉,李景宜. 我国生态风险评价研究[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(3):70-74.
- [19] 巫丽芸,黄义雄. 东山岛景观生态风险评价[J]. 台湾海峡,2005,24(1):35-42.
- [20] 李谢辉. 渭河下游河流沿线区域生态风险评价及管理研究[D]. 兰州:兰州大学,2008.
- [21] 李谢辉,王磊. 河南省景观生态风险评估[J]. 西北师范大学学报,2013,49(3):92-96.
- [22] 郭金玉,张忠彬,孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报,2008,18(5):148-153.
- [23] 李林涛,徐宗学,庞博,等. 中国洪灾风险区划研究[J]. 水利学报,2012,43(1):22-30.
- [24] 李谢辉,王磊. 河南省历史水旱灾害危险性分析[J]. 资源科学,2012,34(8):1526-1532.
- [25] 温克刚,庞天荷. 中国气象灾害大典(河南卷)[M]. 北京:气象出版社,2005.
- [26] 何报寅,张穗,杜耘,等. 湖北省洪灾风险评价[J]. 长江科学院院报,2004,21(3):21-25.
- [27] 李谢辉,王磊. 河南省洪灾风险危险性区划研究[J]. 人民黄河,2013,(1):10-13.
- [28] 河南省土壤普查办公室. 河南土壤[M]. 北京:中国农业出版社,2004.
- [29] 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.
- [30] 河南省统计局,国家统计局河南调查总队. 河南统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2006.

Integrated Assessment of Ecological Risk for Flood and Drought Disasters in Henan Province

LI Xiehui^{1,2}, WANG Lei¹, MIAO Changhong², MIN Xiangpeng², LI Yating²

(1. Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;

2. Research Center of Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng 475001, China)

Abstract: Flood and drought are two frequent kinds of natural disasters that result in large losses in Henan. Using the USEPA ecological risk assessment framework and flood and drought disasters as risk sources, six landscape ecosystems (cultivated land, forest land, meadowland, water body, construction land and un-used land) as risk receptors, the AHP method and GIS techniques, we construct integrated ecological risk values across five grades (very high risk regions, high risk regions, medium risk regions, low risk regions, very low risk regions). We found that very high risk regions account for 6.64%, and chiefly lie in Luohe, Xuchang and most of Zhengzhou. High risk regions account for 25.52%, and mainly lie in Zhoukou, Shangqiu, Kaifeng, Puyang, Jiaozuo, Hebi, parts of Zhengzhou, Xuchang and Pingdingshan. Medium risk regions account for 21.62%, and mainly lie in Zhumadian, Xinxiang, Anyang, parts of Pingdingshan and Hebi. Low risk regions account for 26.31% and chiefly lie in hilly areas and the plains of Xinyang, Nanyang, Luoyang and Jiyuan. Very low risk regions account for 19.91%, and lie in Sanmenxia, northwest of Nanyang, south of Xinyang, north of Jiyuan and southwest of Luoyang. As non-engineering measures of modern disaster prevention and reduction, we provide references for disaster risk management and decision-making for disaster prevention and reduction.

Key words: Flood and drought disasters; Ecological risk; Integrated assessment; AHP method; GIS technique; Henan province