

# 基于网格 GIS 的安徽省旱涝组合风险区划\*

孙仲益<sup>1</sup>, 张继权<sup>1</sup>, 王春乙<sup>2</sup>, 严登华<sup>3</sup>, 刘兴朋<sup>1</sup>, 佟志军<sup>1</sup>, 段胜武<sup>1</sup>

(1. 东北师范大学 城市与环境科学学院, 东北师范大学 自然灾害研究所, 吉林 长春 130024;

2. 海南省气象局, 海南 海口 570100; 3. 中国水资源和水利研究院, 北京 100038)

**摘要:** 依据自然灾害风险形成原理, 综合考虑安徽省自然和社会经济状况, 从致灾因子的危险性、承载体的暴露性和脆弱性、防灾减灾能力四个方面选取指标, 利用自然灾害风险指数法、熵组合权重法以及加权综合评价法建立安徽省旱灾风险指数和涝灾风险指数评价模型。并运用 GIS 空间分析技术与格网 GIS 技术绘制出安徽省旱涝组合风险区划图。研究发现, 安徽省西北部、中部旱涝组合风险较高, 西南部和东北部旱涝组合灾害风险较低, 这与安徽省旱、涝灾害历史资料基本吻合, 该研究结果可以作为安徽省旱涝综合灾害管理的理论依据。

**关键词:** 旱涝组合; 风险评价; 格网 GIS; 风险区划; 安徽省

**中图分类号:** P429; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)01-0074-06

## 0 引言

据统计, 我国每年遭受旱涝灾害的受灾面积约 37 万 km<sup>2</sup> ~ 55 万 km<sup>2</sup>, 占各种自然灾害损失总量的 60% 以上。目前国内外对于旱涝灾害的研究基本上都是使用同一套指标从单方面考虑的干旱灾害与洪涝灾害风险, 比如标准化降水指数 (SPI)、Z 指数、降水距平百分率等<sup>[1]</sup>。徐尔灏等在假设年降雨量符合正态分布的基础上, 利用降雨量标准差划分旱涝等级<sup>[2-3]</sup>; 鞠笑生等对降雨量进行标准正态分布化, 并利用 Z 指数的正态分布曲线进行旱涝等级划分<sup>[4]</sup>; 刘吉平等利用马尔科夫模型对吉林省旱涝灾害地域组合规律进行研究, 得到吉林省干旱灾害和洪涝灾害发生较为严重区域<sup>[5]</sup>。

在全球气候变暖大背景下, 旱涝灾害已成为制约社会经济发展的主要因素, 因此, 对旱涝组合风险的研究是十分必要的。本文以网格尺度结合 GIS 空间分析技术综合自然灾害风险理论完成了安徽省的旱涝组合风险评价与区划, 并用历史数据加以检验, 表征研究具有一定的准确性和可靠性。

## 1 研究区域概况

安徽省属华东地区跨江近海省份, 位于长江

下游, 淮河中游, 以平原、丘陵和低山为主, 面积 13.96 万 km<sup>2</sup>, 人口 5 950 万。属亚热带向暖温带交替的过渡地带, 年降水量 700 ~ 1 200 mm, 雨水充沛但是降水极其不均, 集中性强, 致使旱涝灾害事件频繁发生, 对当地经济建设和社会发展都带来了巨大的影响。图 1 为研究区概况图。

## 2 数据来源与主要研究方法

### 2.1 数据来源

论文气象数据来自中国气象科学数据共享服务网, 选取安徽省境内 15 个气象站点 2005 - 2010 年逐日数据; 社会经济数据 (2005 - 2010 年) 来源于《安徽省统计年鉴》; 数字高程模型数据是选取 STRM 系统的 DEM 数字高程 (90 m 分辨率) 模型数据, 编号分别为 59\_06, 59\_07, 60\_06, 60\_07 四幅影像, 镶嵌为一幅影像, 之后使用经过校正的安徽省边界图切割而成, 如图 1 所示为提取的安徽省高程示意图; 土地利用类型数据来源于“国家科技基础条件平台—地球系统科学数据共享平台”, 由 1:100 万土地利用/土地覆盖变化专题库申请下载得到。

### 2.2 主要研究方法

#### (1) 自然灾害风险指数法

自然灾害风险指未来若干年内可能达到的灾害程度及其发生的可能性。在区域自然灾害风险

\* 收稿日期: 2012-06-12 修回日期: 2012-07-26

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题 (2011BAD32B00-04); 全球变化研究国家重大科学研究计划 (2010CB951102); 国家自然科学基金 (41071326)

作者简介: 孙仲益 (1989-), 男, 辽宁鞍山人, 硕士研究生, 主要从事自然灾害风险评估与应急管理方向的研究。

E-mail: sunzy025@nenu.edu.cn

通讯作者: 张继权 (1965-), 男, 吉林九台人, 教授, 博士 (后), 博士生导师, 主要从事区域灾害与生态环境风险评价、预警与应急管理研究。

E-mail: zhangjq022@nenu.edu.cn

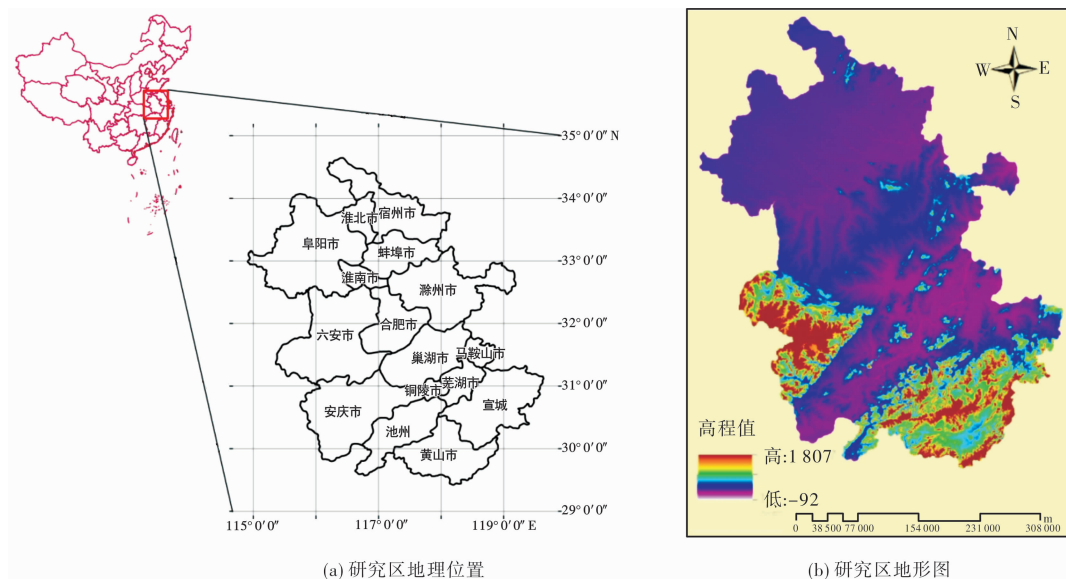


图1 研究区概况

形成过程中, 危险性( $H$ )、暴露性( $E$ )、脆弱性( $V$ )和防灾减灾能力( $R$ )是缺一不可的, 是四者综合作用的结果, 自然灾害风险指数中文数学计算公式为:

自然灾害风险度 = 危险性( $H$ ) × 暴露性( $E$ ) × 脆弱性( $V$ ) × 防灾减灾能力( $R$ )<sup>-1</sup>。 (1)

致灾因子危险性, 是指造成灾害的自然变异程度, 主要是由灾变活动规模(强度)和活动频次(概率)决定的。承灾体暴露性, 是指可能受到危险因素威胁的所有人和财产。承灾体脆弱性或易损性, 是指在给定危险地区存在的所有任何财产由于潜在的危险因素而造成的伤害或损失程度, 其综合反映了自然灾害的损失程度。防灾减灾能力表示出受灾区在长期和短期内能够从灾害中恢复的程度, 防灾减灾能力越高, 可能遭受潜在损失就越小, 灾害风险越小。

#### (2) 熵组合权重法

层次分析法(AHP)是一种对指标进行定性定量分析的方法, 是一种比较方便有效的计算方法, 它是对指标进行一对一的比较, 可以连续进行并能随时改进。该方法主要是将研究对象的影响因素细分, 并根据其所类属的紧密程度, 分为上下不同的隶属层次, 然后根据某种方式, 对所细分的指标量化, 通过每个指标的不同分量, 反应对研究对象的影响轻重程度。层次分析法(AHP)是一种对指标进行定性定量分析的方法, 具有一定的主观性; 熵权法是一种客观赋权方法。熵组合权重法运用最小相对信息熵原理, 将层次分析法与熵权法结合, 能够较好地减少主客观的影响:

$$W_j = (W_{1j} \times W_{2j})^{\frac{1}{2}} / \sum (W_{1j} \times W_{2j})^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中:  $W_j$  为  $j$  指标的综合权重;  $W_{1j}$  为指标  $j$  的主观权重;  $W_{2j}$  为指标  $j$  的客观权重。

#### (3) 网格 GIS 技术

网格 GIS 是地理信息系统技术与网格技术的结合, 是地理信息系统在网格环境下的一种应用。网格 GIS 分为规则网格与不规则网格两种, 网格的尺寸根据研究内容的精确程度而设定, 是一种新理念的 GIS 空间分析手段。网格 GIS 的具体实施过程包括以下几个方面: 运用 GIS 软件先将搜集到的相关地图进行数字化并将相关数据进行收集和标准化; 根据具体的研究内容和精度, 确定是否使用规则网格, 网格的形态及大小; 使用一定的数学模型及数学方法将所获得行政区数据或者遥感图像数据网格化展布, 并与网格相联系建立空间数据库。

### 3 安徽省旱灾与涝灾风险评价指标体系与模型建立

#### 3.1 旱灾风险与涝灾风险概念框架

根据自然灾害风险理论和干旱灾害风险的形成原理, 从干旱灾害的发生学和灾害系统论角度建立干旱灾害风险概念框架。区域干旱灾害风险是由危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾能力四个主要因子构成的, 某个区域干旱灾害风险的大小是这四个因素综合作用的结果。其中每个因子又是由特定的副因子组成, 危险性表示引起干旱灾害的气象现象、地形、水文特征; 暴露性描述当干旱灾害发生时受灾人口、经济状况等; 脆弱性表示受灾暴露物体在干旱灾害中受影响的程度; 防灾减灾能力表示出受灾区在长期和短期内能够从灾害中恢复的程度。上述四个方面综合作用, 影响着区域干旱灾害风险的大小。图2为旱涝组合风险概念框架。

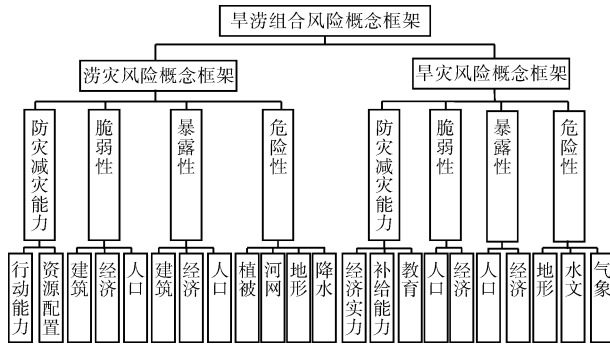


图2 旱涝组合风险评价概念框架图

涝灾风险是指充余水分的形成和运动对当地社会、经济和自然环境可能造成的影响和危害。根据自然灾害风险4因子理论可知，涝灾风险是由危险性、暴露性、脆弱性和当地的抗涝能力综合作用结果。危险性包括引起涝灾的地形、水文和气象等条件；暴露性是指暴露在涝灾环境下的受灾人口和经济等状况；脆弱性是指暴露在涝灾环境下的物体的受涝影响程度；防灾减灾能力是指受灾区抵御涝灾能力的大小以及可以从涝灾中恢复的程度。按照该理论，建立安徽省洪涝灾害风险评价的概念框架。

### 3.2 旱灾风险与涝灾风险评价指标体系的建立

选择旱涝组合风险评价指标是进行旱涝风险评价的前提和关键。根据旱涝风险评价概念框架，综合考虑指标体系确定的目的性、系统性、科学性、可比性和可操作性原则，结合安徽省的实际操作情况和资料获取的难易程度选取指标。

根据自然灾害风险理论和旱、涝灾害风险的形成原理，从旱、涝灾害风险的四因子即危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力出发，选取了表1中列出的4个因子的14个指标，建立了旱灾风险评价的指标体系；选取了表2中列出的4个因子18个指标，建立了涝灾风险评价指标体系；分别用于评价旱灾和涝灾风险的程度。整个指标体系分为因子层、副因子层和指标层，并利用熵组合权重法，综合计算出因子层和指标层的权重。

### 3.3 风险评价指标空间展布

主要利用 ArcGIS10.0 软件中的地统计功能对各项指标进行了空间格网化展布。气象因子进行空间展布时，充分考虑气象站点的经纬度和高程值，降雨量数据采用反距离权重插值法，风速、气温等其他气象数据采用普通克里格插值法；人口数据网格化采用多元相关分析、回归分析等方法，将人口数据与路网密度、土地利用类型进行相关分析，从而进行人口数据空间展布；经济因子以县为基本样点，以人口数量、居民地数量为协同数据进行克里格空间插值展布。

表1 涝灾风险评价指标体系

涝灾风险4因子	副因子	指标	综合权重
危险性(H) (0.4811)	地形	坡度	0.0567
		高程	0.0586
	河网	河网密度	0.1821
	植被	植被覆盖度	0.0846
	降水	降雨量	0.0991
暴露性(E) (0.1813)	人口	人口密度	0.0467
	经济	耕地面积	0.1033
		工业企业个数	0.0313
脆弱性(V) (0.1789)	人口	弱势人口比例	0.0210
	经济	受涝耕地面积比	0.0570
	建筑	平房比例	0.1009
防灾减灾能力(R) (0.1585)	资源配置	人均GDP	0.0409
		排水管道长度	0.0883
	行动能力	路网密度	0.0293

表2 旱灾风险评价指标体系

旱灾风险4因子	副因子	指标	综合权重
危险性(H) (0.4287)	气象	气温	0.0949
		降水	0.3316
		风速	0.0578
	土壤	土壤湿度	0.1466
	水资源	地下水资源量	0.1609
暴露性(E) (0.2473)		地表径流量	0.1573
	地形	坡度	0.0509
	下垫面	植被覆盖率	0.2004
	人口	人口密度	0.2090
	经济	农林牧渔业产值	0.3183
脆弱性(V) (0.2129)		工业总产值	0.2723
	人口	人均生活用水量	0.2079
		脆弱性人口比例	0.1221
	经济	易旱耕地比率	0.3744
		单位GDP工业用水量	0.2956
防灾减灾能力(R) (0.1111)	灌溉能力	有效灌溉面积	0.6692
	社会经济实力	人均收入	0.1544
	教育水平	在校学生比例	0.1764

### 3.4 旱、涝灾害风险评价模型建立

分别根据旱、涝灾害风险形成机制，综合考虑灾害风险形成的4个因子，以及其相应指标，并利用熵组合权重法确定各指数权重，建立如下旱灾风险指数模型与涝灾风险指数模型：

$$ADRI = H^{WH} \times E^{WE} \times V^{WV} \times [1 - R]^{WR}, \quad (3)$$

$$AFRI = H^{WH} \times E^{WE} \times V^{WV} \times [1 - R]^{WR}, \quad (4)$$

$$E = \sum_{i=1}^n X_{ei} W_{ei}, \quad (5)$$

$$H = \sum_{i=1}^n X_{hi} W_{hi}, \quad (6)$$

$$V = \sum_{i=1}^n X_{vi} W_{vi}, \quad (7)$$

$$R = \sum_{i=1}^n X_{ri} W_{ri} \quad (8)$$

式中:  $ADRI$  是旱灾风险指数, 表示旱灾风险程度,  $AFRI$  是涝灾风险指数, 表示涝灾风险程度, 二者值越大, 旱、涝灾害风险程度越大;  $H$ 、 $E$ 、 $V$ 、 $R$  表示相应的危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力因子指数;  $W$  为指标权重值, 表示各指标对于形成灾害风险的因子的相对重要性;  $X$  为各评价指标量化值。

### 3.5 旱、涝灾害风险区划

根据灾害形成机制, 利用 GIS 技术, 依据旱、涝灾害风险评价模型, 计算安徽省旱灾风险指数 ( $ADRI$ )、涝灾风险指数 ( $AFRI$ )。运用最优分割法

分别对旱灾风险指数和涝灾风险指数进行最优分割, 以确定安徽省旱、涝灾害风险最优划分等级与阈值。对最优分割散点图分析, 最优 5 分割效果良好, 经  $F$  检验结果显著, 因此确定安徽省旱、涝灾害风险为 5 个等级: 低风险、较低风险、中等风险、较高风险和高风险(表 3), 并以此阈值进行风险区划, 得到安徽省旱灾风险区划图和安徽省涝灾风险区划图(图 3)。

表 3 安徽省旱、涝灾害风险区划界限阈值

指数	低风险	较低风险	中风险	较高风险	高风险
$ADRI$	<0.425	0.425 ~ 0.504	0.504 ~ 0.585	0.585 ~ 0.654	>0.654
$AFRI$	<0.460	0.460 ~ 0.535	0.535 ~ 0.598	0.598 ~ 0.668	>0.668

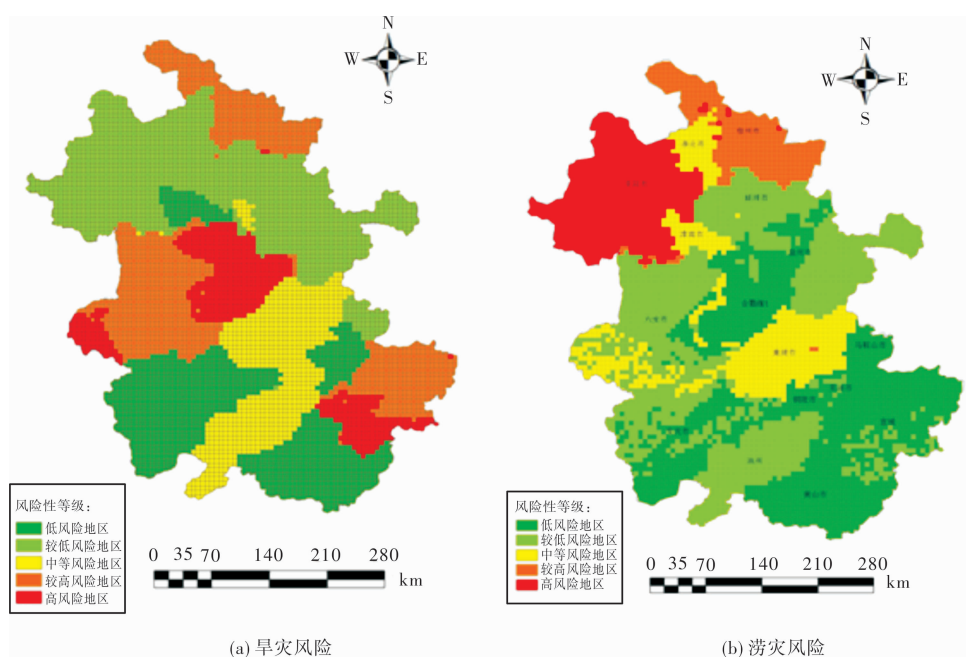


图 3 安徽省旱、涝灾害风险区划图

## 4 安徽省旱涝组合风险评价区划与检验

### 4.1 安徽省旱涝组合风险区划

安徽省旱涝组合风险区划是在安徽省旱灾风险区划和安徽省涝灾风险评价基础上, 将二者进行叠加分析, 重新进行等级阈值的划分而进行的。根据灾害风险形成的四个因子, 分别创建危险性图层、脆弱性图层、暴露性图层和防灾减灾能力图层, 据四因子图层得到安徽省旱灾风险图层与安徽省涝灾风险图层, 将经纬度相同网格进行叠加计算, 得到旱涝组合风险图层, 具体研究过程如图 4 所示。

由于安徽省旱灾风险具有 5 个等级, 涝灾风险具有 5 个等级, 所以理论上组合后具有 25 种旱涝组合形式, 通过 GIS 空间分析手段, 得到表 4。

由表 4 可知低涝灾低旱灾风险区域和高涝灾低旱灾风险区域所占的面积比重相对较大, 高涝灾高旱灾风险、高涝灾中旱灾风险、较高涝灾高旱灾风险、较高涝灾中旱灾风险与较高涝灾低旱灾风险区域所占的面积比重相对较少。

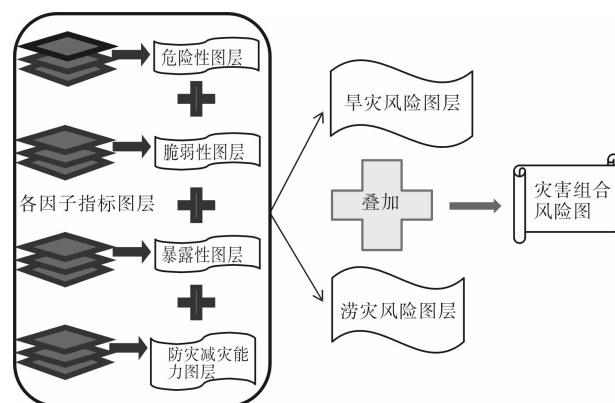


图 4 安徽省旱涝组合风险区划图绘制流程



表 4 安徽省旱涝组合风险情况表

旱涝组合形式	网格个数/个	面积比例/%
低涝灾低旱灾风险区	804	13.91
低涝灾较低旱灾风险区	197	3.40
低涝灾中旱灾风险区	81	1.40
低涝灾较高旱灾风险区	350	6.05
低涝灾高旱灾风险区	346	5.99
较低涝灾低旱灾风险区	335	5.80
较低涝灾较低旱灾风险区	596	10.31
较低涝灾中旱灾风险区	354	6.12
较低涝灾较高旱灾风险区	422	7.30
较低涝灾高旱灾风险区	156	2.70
中涝灾低旱灾风险区	117	2.04
中涝灾较低旱灾风险区	112	1.93
中涝灾中旱灾风险区	334	5.78
中涝灾较高旱灾风险区	82	1.42
中涝灾高旱灾风险区	94	1.63
较高涝灾低旱灾风险区	2	0.03
较高涝灾较低旱灾风险区	41	0.71
较高涝灾中旱灾风险区	2	0.04
较高涝灾较高旱灾风险区	387	6.70
较高涝灾高旱灾风险区	2	0.03
高涝灾低旱灾风险区	19	0.33
高涝灾较低旱灾风险区	727	12.58
高涝灾中旱灾风险区	1	0.02
高涝灾较高旱灾风险区	17	0.29
高涝灾高旱灾风险区	0	0

#### 4.2 安徽省旱涝组合风险区划分析

通过表 4, 并根据旱、涝灾害风险具体的组合与叠加得分可以将旱涝组合风险分为 3 个级别: 高风险、中等风险与低风险区。安徽省旱涝组合风险评价区划图如图 5 所示。

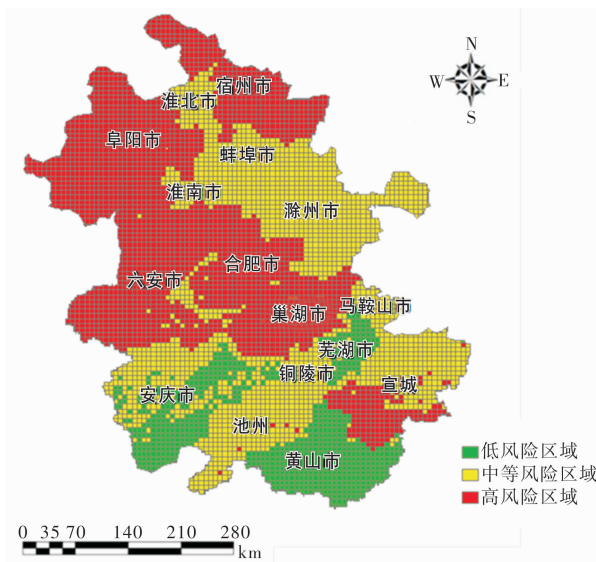


图 5 安徽省旱涝组合风险区划图

由安徽省旱涝组合风险图可以看出安徽省的中部与西北部发生旱涝组合风险较大, 属于高旱涝组合风险区域, 安徽省的南部相对旱涝组合风险较低, 属于低旱涝组合风险区域。合肥市、原巢湖市、宿州市、阜阳市、六安市以及宜城市的南部三县旱涝组合风险高; 淮北市、蚌埠市、淮

南市、马鞍山市、池州市、滁州市、安庆市北部及宜城市北部旱涝组合风险性中等; 芜湖市、安庆东部及黄山市旱涝组合风险低。

## 5 结论

本文以  $5\text{ km} \times 5\text{ km}$  尺度标准网格为旱涝组合风险评估基本单元, 充分考虑了对自然灾害风险形成有重要作用的危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾能力, 利用自然灾害风险指数法、熵组权重法、加权综合分析等方法, 分别绘制了安徽省旱灾风险区划图与安徽省涝灾风险区划图, 并通过 GIS 空间叠加分析技术, 计算得到安徽省旱涝组合风险区划图。通过与安徽省旱灾频次图、安徽省涝灾频次图以及历史旱涝灾害资料相比较, 可以发现论文所绘制的安徽省旱涝组合风险区划图与研究区历史实际情况基本吻合。安徽省旱涝组合高风险区域面积最广, 中等风险与低风险区域次之, 总体来说安徽省西北部与中部旱涝组合风险较高, 西南部和东北部旱涝组合风险相对低一些。由于作者工作量有限, 并且旱涝灾害风险均受人文经济因素影响较大, 如果更加完善人文经济数据的空间展布方法, 提高网格单元分辨率, 结果将会更准确地描述安徽省旱涝组合风险。随着资料的不断丰富, 指标在时间序列上不断地加长, 时间和空间上的精度不断地提高, 研究旱涝组合风险的长期动态变化趋势和旱涝灾害短期急转现象等重大自然灾害动态变化的特点等都是十分有价值的。

## 参考文献:

- [1] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 982-991.
- [2] 张强, 潘学标, 马柱国, 等. 干旱[M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [3] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007: 123-263.
- [4] 鞠笑生, 邹旭恺, 张强. 气候旱涝指标方法及其分析[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(3): 51-57.
- [5] 刘吉平, 吕宪国, 吴正方. 吉林省旱涝灾害地域组合规律的动态变化[J]. 中国农业气象, 2004, 25(2): 5-8.
- [6] Stevan Prohaska, Borislava Blagojevic, Aleksandra Ilic. Methodology for assessing probability of extreme hydrologic events coincidence[J]. Architecture and Civil Engineering, 2010, 8(2): 187-199.
- [7] 杨涛, 陆桂华, 李会会, 等. 气候变化下水文极端事件变化预测研究进展[J]. 水科学进展, 2011, 22(2): 279-286.
- [8] 钱永甫, 王谦谦, 黄丹青. 江淮流域的旱涝研究[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1279-1289.
- [9] Wu Zhiwei, Li Jianping, He Jinhai, et al. Large-scale atmospheric singularities and summer long-cycle droughts-floods abrupt alternation in the middle and lower reaches of the Yangtze river[J]. Chinese Science Bulletin, 2006(51): 2027-2034.
- [10] 张效武, 徐维国, 施宏江, 等. 安徽省旱涝急转规律的认识与研究[J]. 中国水利, 2007(5): 40-42.
- [11] Elsa E Moreira, Carlos A Coelho, Ana A Paulo. Mexiam SPI-based drought category prediction using loglinear models[J]. Journal of Hydrology, 2008, 354(4): 116-130.
- [12] 国家统计局中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006-2011.

(下转第 87 页)