

基于GIS的低温冷冻灾害风险区划研究 ——以安徽省为例

唐为安¹, 田 红¹, 杨元建², 卢燕宇¹, 徐光清¹, 温华洋¹, 王 胜¹

(1.安徽省气候中心, 安徽 合肥 230031; 2.安徽省气象科学研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:以安徽省为例,基于自然灾害风险形成原理,利用气象、基础地理信息、农业和社会经济等方面数据,从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性以及抗灾能力等4个方面来综合评估安徽省低温冷冻灾害风险程度的地区差异,最终建立综合的灾害风险指数,并将该指数应用于安徽省低温冷冻灾害进行风险区划及结果验证。结果表明,安徽省低温灾害风险评估模型比较客观,较全面地反映出安徽省的低温冷冻灾害风险水平。

关键词:低温冷冻灾害;自然灾害风险理论;GIS技术;风险区划;安徽省

中图分类号: P931 **文章标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)03-0356-06

联合国第二届全球减灾会议中将自然灾害风险识别、评价、灾害风险监测与预警列为未来10 a 减灾的5个优先领域之一^[1]。低温冷冻灾害是影响中国大部分地区的严重气象灾害,它与干旱、洪涝并称为中国的三大自然灾害,尤其在东北和黄淮海地区^[2-5]。目前,国外对低温灾害的研究多集中在低温灾害机理上,而对低温灾害风险区划评估等方面的研究成果甚少^[6,7]。国内针对这方面的区划研究以气象灾害指标、统计频率和灾害损失的分析为主^[8-11]。近年来,有学者将自然灾害风险理论引入到地质、生态、农业及环境等方面的灾害评估和研究中来^[12-16]。该理论以灾害模型、承灾体密度模型、抗灾性能模型和灾害损失模型为基础,在综合考虑灾害的致灾强度、承灾环境、抗灾能力、灾损风险的组合匹配情况下,构建灾害的综合风险指数模型来进行灾害风险区划^[17]。这种灾害风险性的定量评估比传统灾害指标和统计频率的分析更为科学,然而采用自然灾害风险理论进行低温冷冻灾害的风险区划研究尚未见报道。本研究以安徽省为例,基于自然灾害风险形成原理来评估安徽省低温冷冻灾害风险程度的地区差异并建

立综合的灾害风险指数作为指标,结合GIS技术,对安徽省低温冷冻灾害进行风险区划并用历史灾情数据进行验证。

1 研究区域和资料来源

1.1 研究区域概况

安徽省位于中国东部腹地,介于114°54'~119°31'E、29°41'~34°38'N,面积为13.92×10⁴ km²,占全国总面积的4%。在太阳辐射、大气环流和地理环境综合影响下,属暖温带向亚热带过渡地区。地形地貌复杂,境内除西部大别山脉和皖南山区地势较高外,其余大多为海拔400 m以下的丘陵和平原。长江、淮河自西南向东北横贯其中,天然地将全省划分为淮北、江淮之间和江南三部分。本文将安徽省细分为5个自然区域(图1):① 淮北平原;② 江淮丘陵;③ 皖西大别山区;④ 沿江平原;⑤ 皖南山区。由于气候的过渡型特征,加之气候变暖导致的暖冬,加剧农作物遭遇低温冷冻灾害的机率^[18],该省常见的低温类型有倒春寒、小满寒、秋分寒及冻害。

1.2 资料来源

气象资料取自安徽省气象档案馆提供的安徽

收稿日期: 2011-01-08; **修订日期:** 2011-04-02

基金项目: 中国气象局公益性行业专项“全球变化背景下中国气象灾害风险区划研究”(GYHY200906019)、国家自然科学基金项目(41105080)资助。

作者简介: 唐为安(1980-),男,江苏阜宁人,工程师,硕士,主要从事气候变化及其对农业影响评估研究。E-mail: twa_1980@163.com



虚线为自然分区的大致分界线

图1 安徽省行政区划

Fig.1 Sketch map of Anhui Province

省77个(不包括黄山光明顶、九华山)气象台站逐日平均气温、最低气温数据(1961~2009年)。基础地理信息资料采用安徽省1:5万地理信息数据(25 m×25 m),本文使用其中安徽省数字地面高程(DEM)的重采样数据(500 m×500 m);土地覆盖类型数据来自欧洲空间局全球土地覆盖项目(ESA/ESA Globcover Project),利用安徽省行政边界提取出该省范围内土地覆盖数据,数据精度为10"经纬度。安徽省各市县国土面积、小麦、油菜及一季稻播种面积、GDP等社会经济数据,取文献[19]。用于验证区划结果的灾情资料来自安徽省气象灾害普查数据库中的低温冷冻灾害记录。

文中倒春寒、小满寒及秋分寒过程采用文献[20]来确定,而冻害过程以连续日最低气温低于0℃作为一个过程,一旦出现日最低气温≥0℃则认为该过程结束。

2 研究方法

2.1 安徽省低温冷冻灾害评估模型构建

基于自然灾害风险形成理论,灾害风险是多个因子综合作用的结果,其表达式为^[21]:

$$D=f(H,S,V,R) \quad (1)$$

式中, D 为灾害风险; H 为致灾因子危险性; S 为孕灾环境敏感性; V 为承灾体易损性; R 为抗灾能力。

低温冷冻灾害的上述4个因子又各包含若干个指标,为消除各指标的量纲差异,对每一个指标值进行归一化处理。其中对于 H 、 S 和 V 所包含的各个指标归一化计算公式为:

$$X_{ij}=0.5+0.5\times[(X_{ij}-\min_i)/(\max_i-\min_i)] \quad (2)$$

式中, X_{ij} 是 j 站(格)点第 i 个指标的归一化值; x_{ij} 是 j 站(格)点第 i 个指标值; \min_i 和 \max_i 分别是第 i 个指标值中的最小值和最大值,式(3)同。

由于抗灾能力越强,相应的灾害风险越小,因此 R 所包含的各个指标的归一化计算公式为:

$$X_{ij}=1.0-0.5\times[(X_{ij}-\min_i)/(\max_i-\min_i)] \quad (3)$$

低温冷冻灾害主要评价因子(致灾因子危险性指数、孕灾环境敏感性指数、承灾体易损性指数和抗灾能力指数)计算用加权综合评价法^[14]:

$$V_j = \sum_{i=1}^n W_i \cdot D_{ij} \quad (4)$$

式中, V_j 是评价因子指数, j 是评价因子个数, D_{ij} 是对于因子 j 的指标 i 的归一化值,由式(2)和式(3)计算得到; n 是评价指标个数; W_i 是指标 i 的权重,它是综合考虑各指标对评价因子的影响程度,其求解方法较多,本文采用Delphi法(又称专家打分法)结合当地实际情况确定。

最后根据自然灾害风险数学公式,结合低温冷冻灾害评价指标体系,利用加权综合评价法,建立如下低温冷冻灾害风险指数模型:

$$I_{FDR}=(VH^{wh})(VS^{ws})(VV^{wv})(VR^{wr}) \quad (5)$$

式中, I_{FDR} 为低温冷冻灾害风险指数,用于表示低温冷冻灾害风险程度,其值越大,则灾害风险程度越大, VH 、 VS 、 VV 、 VR 表示根据式(4)计算得到的低温冷冻灾害危险性、敏感性、易损性和抗灾能力各因子指数。 wh 、 ws 、 wv 、 wr 是各评价因子的权重,权重的大小依据各因子对低温冷冻灾害的影响程度大小,由Delphi法确定。最后,根据灾害风险指数分布,将安徽省低温冷冻灾害风险区划5级:高、次高、中等、次低及低风险区。

2.2 GIS空间分析方法

由于上述低温冷冻灾害风险评估涉及的研究区低温特征、地理地形、土地利用及社会经济等存在区域差异,用空间属性才能恰当描述。采用GIS该技术可为低温冷冻灾害风险研究提供空间分析平台^[10],提升评估的精细化程度。本文主要运用ArcGIS空间分析模块中的内插分析、栅格运算、自然断点分级等方法,完成安徽省低温冷冻灾害风险区划,其中内插分析采用Kriging插值法^[22]进行,已有学者将方法应用于安徽省气象要素的插值研究中,并取得较好的应用效果^[23]。

3 安徽省低温冷冻灾害风险区划

3.1 致灾因子危险性区划

致灾因子危险性表示引起低温冷冻灾害的致灾因子强度及概率特征,是低温冷冻灾害产生的先决条件。定义一个低温致灾因子的危险强度指数,即过程极端最低气温、平均气温、持续时间及气温降幅的加权综合,其权重系数由主成份分析法确定。然后对全省的危险度指数进行降序处理,采用百分位数法,将其划分为5个等级,并统计各台站不同低温等级的发生频次(1961~2009年平均值)。利用式(4)计算得出各台站的不同低温类型致灾因子危险性指数,该指数为不同低温等级的发生频次的加权综合值,其权重系数根据低温强度等级越高,对低温灾害形成所起的作用越大的原则,1~5级的权重系数分别为1/15、2/15、3/15、4/15和5/15。最后,采用Kriging插值法将危险性指数插值到全省范围内的500 m×500 m网格点上,自然断点分级法(以下等级划分方法类同),将致灾因子危险性指数按5个等级进行分级区划,得到安徽省低温致灾因子危险性区划结果:

冻害高危险区主要位于皖北地区,其次高危险区主要位于该省沿淮、江淮之间东北部、大别山区及皖南东南部,其低危险区主要位于该省沿江地区;倒春寒高危险区主要位于皖北东部,其次高危险区主要位于皖北中北部、该省沿淮东部、江淮之间东北部及大别山区,而安徽中南部地区为低危险区;小满寒高危险区主要位于大别山区,其次高危险区为皖北东部、该省沿淮东部及江淮之间东北部,而其低危险区主要位于合肥以南至沿江一带以及皖南南部;秋分寒次高以上危险主要位于皖北、该省大别山区。通过历史考证和实地调查,不同低温类型的致灾因子危险性区划评估结果与安徽省低温实际发生情况基本一致,次高以上危险区均为低温的高发区,而低危险区均为少发区。同时,安徽省以冻害为主,发生频次在7.5~16.4次/a之间,其次为倒春寒,发生频次在0.7~3.0次/a之间,而小满寒和秋分寒发生频次相对较少,大部分地区不足1次/a。

3.2 孕灾环境敏感性区划

在气候条件相同情况下,某个孕灾环境的地理地貌条件与低温灾害配合,在很大程度上能加剧或减弱低温致灾因子及次生灾害。有研究表

明,影响山地、丘陵地区温度的空间分布因素很多,既包括地理经纬度、与大水体的远近、高大山脉的走向等宏观地理条件,也包括海拔、坡度、坡向、地形遮蔽等小地形因子以及土壤植被等下垫面性质^[24]。本文结合安徽省实际地理地貌特征,同时考虑到致灾因子危险性指数插值时已包含经纬度信息,选取安徽省高程和土地利用类型作为孕灾环境敏感性指标。根据不同土地利用类型对低温的敏感程度,对其进行赋值(表1)。然后利用GIS平台的空间分析模块(Spatial Analyst)中的栅格计算器(Raster Calculator),对高程和土地利用类型图层,分别取0.7和0.3的权重系数,采用公式(4)进行图层计算,得出孕灾环境敏感性指数,将其划5级,得到全省孕灾环境敏感性区划结果:高敏感区及次高敏感区主要位于该省的两大山区,即大别山区与皖南山区,中等敏感区主要为海拔相对较低的山地和丘陵地区,次低敏感区主要为该省的平原地带,低敏感区主要位于近水体的地区,如该省的沿淮、沿江一线、巢湖等。说明近水体地区不易遭受低温灾害,而高山地区则相反。

表1 不同土地利用类型对低温敏感程度赋值表

类型	耕地	草地	林地	水体	城市用地
赋值	0.940	0.850	0.750	0.550	0.500

3.3 承灾体易损性区划

易损性表示承灾体整个社会经济系统,包括人口、农业、GDP等,易于遭受低温威胁和损失的性质和状态。考虑到低温冷冻灾害主要是对农作物的生长发育造成影响,因此本文中承灾体易损性指数以不同低温类型发生时的在地农作物的播种面积作为研究指标。倒春寒承灾体易损性指数,以倒春寒发生时安徽省在地生长作物为小麦、油菜及水稻,其指标即为上述三类作物的播种面积之和;小满寒和秋分寒以水稻播种面积作为指标;冻害以小麦和油菜播种面积之和作为指标。在GIS平台中利用基于台站的承灾体易损性指数,采用空间分析模块中转化工具(Convert),将基于台站的矢量数据转化为500 m×500 m的栅格数据,并将不同低温类型的承灾体易损性指数各划分为5个等级,综上,得到全省不同低温类型的承灾体易损性区划结果:冻害高易损区主要为皖北

平原,该区域为安徽省冬小麦及油菜的主产区,而该省大别山区及长江以南地区一般不播种冬小麦及油菜,其他地区的冬小麦及油菜播种面积界于两者之间。倒春寒高易损区主要位于安徽平原地区,该区域为安徽省粮食及油料作物的主产区。小满寒与秋分寒易损区为水稻产区,主要位于安徽省淮河以南地区,其中皖中为主要产区。

3.4 抗灾能力区划

上述区划仅是从低温灾害的发生及影响角度来评估灾害风险,灾害发生时人的主观能动性以及防灾减灾措施也是重要因素。本文在抗灾能力分析中主要考虑人均GDP来表征一个地区的经济发展水平,人均GDP越大,表明该地经济发展水平越高,抗灾能力越强;反之亦然。采用与承灾体易损性指数相同的区划方法得到安徽省低温冷冻灾害的抗灾能力区划:低抗灾能力区主要位于该省北部、沿淮、大别山区及江淮之间西南部地区,而

皖中东部及皖南大部地区抗灾能力较强。

3.5 综合风险区划

低温冷冻灾害风险是致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和抗灾能力4个因子综合作用的结果。经征求有关专家意见,对4个因子分别取0.4、0.3、0.2、0.1的权重系数,利用GIS平台的多层面复合分析方法,根据式(5)给出不同低温类型的风险指数,得到不同低温类型的低温灾害风险区划图(图2)。可以看出,不同低温类型的高风险区多集中在安徽省中北部及两大山区,这些区域一般都是致灾高危险区,孕灾环境高敏感区,承灾体高易损区,低抗灾能力区。而低风险区主要集中在近水体及城市的地区,近水体区如长江、巢湖一带等,近城市区域如合肥、马鞍山、宣城等地。上述区域一般都是致灾低危险区,孕灾环境低敏感区,承灾体低易损区,也多是抗灾能力较高地区。

利用空间分析模块中的多层面复合分析方

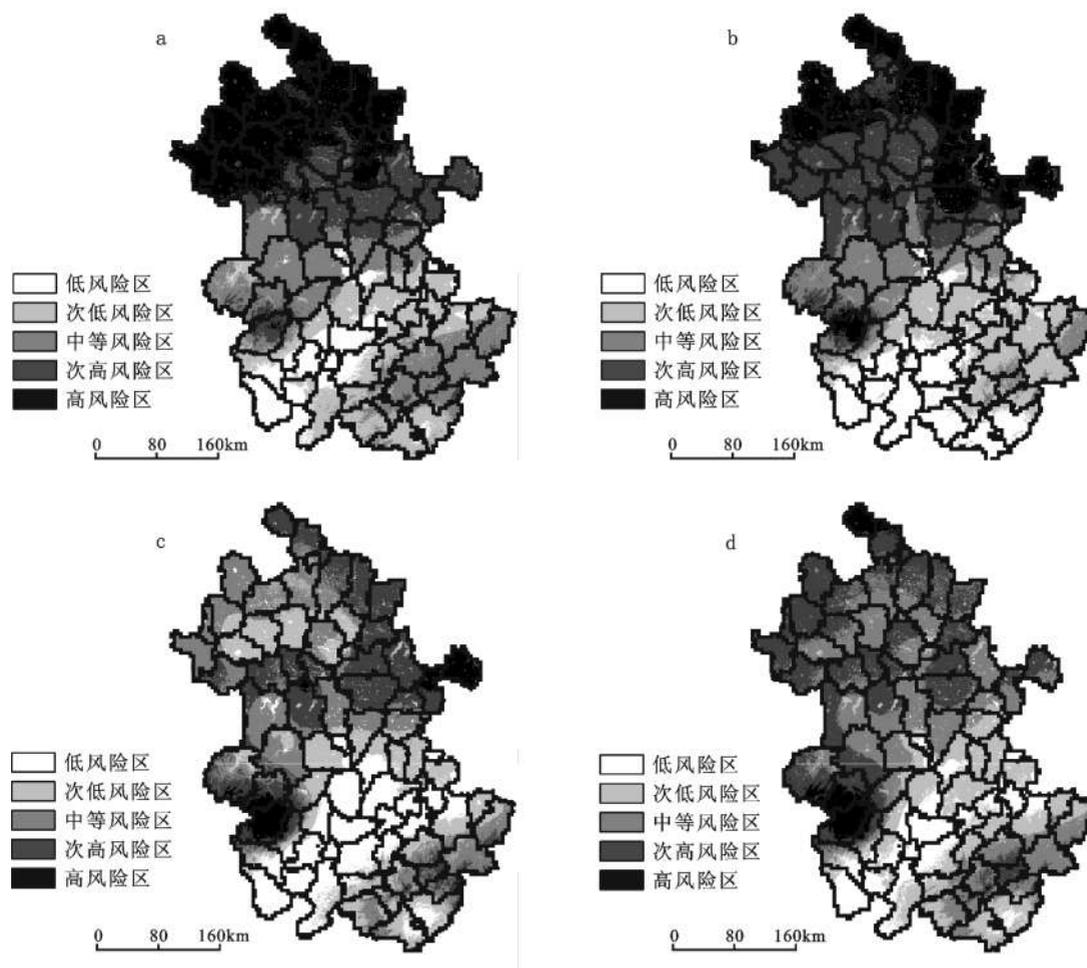


图2 冻害(a)、倒春寒(b)、小满寒(c)及秋分寒(d)风险区划

Fig.2 Risk zonation of freezing (a), late spring chilly (b), summer chilly (c) and wind of cold dew (d)

法,根据式(4),对安徽省4种低温类型的风险指数进行加权综合,根据专家意见结合实际发生情况,冻害、倒春寒、小满寒及秋分寒权重系数分别取0.6、0.2、0.1、0.1,得出低温冷冻灾害的综合风险指数并将其划分为5个等级得到图3。可见,安徽省低温灾害高风险区主要位于皖北平原及该省大别山区,主要原因是该区域为不同低温类型的高风险区;次高风险区主要位于该省沿淮及江淮丘陵地区;而低风险区也是不同低温类型低危险区,主要集中在该省合肥以南的近水体及城市地区。总的来看,高纬度、高海拔地区是低温灾害的高风险区,而近水体及城市的区域遭受低温灾害风险较小,可能原因是由于水体比热大,城市区域存在热岛效应,从而减轻低温灾害的风险性。

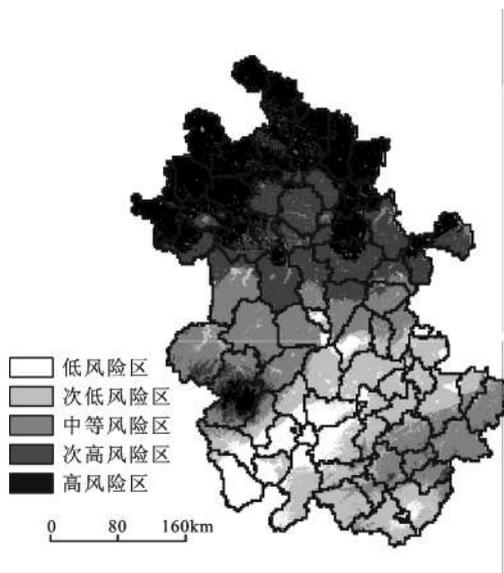


图3 低温冷冻灾害综合区划

Fig.3 Risk zone of low-temperature disaster

3.6 区划结果验证

利用安徽省气象灾害普查数据库中涉及到低温冷冻灾害的受灾面积数据,与模型区划结果进行对比验证。然后提取基于安徽省县级行政区域内低温风险综合指数,并用该指数与实际灾情数据进行相关分析。结果表明,低温灾害高风险区与实际发生情况基本一致,主要集中在皖北地区。低风险区也基本上与实际发生情况一致,主要集中在近水体及城市周边。相关分析显示,综合风险指数与实际灾情的相关系数达0.64,呈极显著相关($\alpha=0.01$)。但安徽省大别山区、沿淮地区及皖南中部的风险程度与实际发生情况不一致,区

划结果偏重。说明本文低温灾害风险评价指标、权重系数、评价模型及区划结果,虽局地存在差异,整体上比较合理,与实际发生情况吻合。

4 结论与讨论

本文以安徽省为例,率先将自然灾害系统理论引入到低温灾害风险区划研究中,利用安徽省气象资料、地理信息数据和社会经济资料,在分析安徽省低温灾害的致灾因子、孕灾环境、承灾体及抗灾能力的基础上,构建了安徽省低温灾害风险评价指标体系和评价模型,并借助GIS技术,定量、客观地完成了安徽省低温冷冻灾害风险评估和区划,具体结论如下:构建的安徽省低温灾害风险评价指标体系、评价模型及其权重系数,是比较合理和客观的,能全面反映安徽省的低温冷冻灾害风险水平并能使其风险水平所处等级直观化,既可评判各评价单位所处的风险水平,又能反映风险程度的地域差异。特别地,安徽低温冷冻灾害风险区划结果与实际发生情况基本上吻合:安徽省低温冷冻灾害高风险区主要位于安徽省北部及大别山区,低风险区主要位于该省近水体及城市区域,其综合风险指数与灾情数据呈极显著相关。

综上,可以看出本文将安徽省低温灾害分为高、次高、中等、次低和低5个风险区,为有关部门灾害管理和减灾决策制定提供参考依据,同时对其他省份进行低温灾害风险区划也有重要的借鉴意义。但由于低温灾害形成、发展及产生后果的复杂性,影响因子众多,目前评价结果尚难以做到与实际完全吻合。本项工作只是在低温灾害的风险评估分析和风险指数的研究方面作了一定的探索,以后还需要不断地深入和细化。

参考文献:

- [1] United Nation.Draft programme outcome document Building the Resilience of nations and communities to disasters: Hyogo frame work for action 2005-2015[M].Kobo Hyogo,Japan World Conference on Disaster Reduction,2005.
- [2] 孙玉亭,王书裕,杨永岐.东北地区作物冷害的研究[J].气象学报,1983,41(3):313~321.
- [3] 李茂松,王道龙,张 强,等.2004~2005年黄淮海地区冬小麦冻害成因分析[J].自然灾害学报,2005,14(4):51~55.
- [4] 高懋芳,邱建军,刘三超,等.我国低温冷冻害的发生规律分析[J].中国生态农业学报,2008,16(5):1167~1172.
- [5] 王东海,柳崇健,刘 英,等.2008年1月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析[J].气象学报,

- 2008, **66**(3):405~422.
- [6] Foolad M R, Lin G Y. Genetic analysis of cold tolerance during vegetative growth in tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill[J]. *Euphytica*, 2001, **122**:105-111.
- [7] Ke D, Sun G, Jiang Y. Dural role of superoxide radicals in the chilling-induced photoinhibition in maize seeding[J]. *Photosynthetic*, 2004, **42**(1):147-152.
- [8] 张丽娟, 李文亮, 张冬有. 基于信息扩散理论的气象灾害风险评估方法[J]. *地理科学*, 2009, **29**(2):250~254.
- [9] 马树庆, 王琪, 王春乙, 等. 东北地区玉米低温冷害气候和经济损失风险分区[J]. *地理研究*, 2008, **27**(5):1169~1177.
- [10] 何燕, 谭宗琨, 李政, 等. 基于GIS的广西甘蔗低温冻害区划研究[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2007, **29**(9):81~85.
- [11] 袭祝香, 马树庆, 王琪. 东北区低温冷害风险评估及区划[J]. *自然灾害学报*, 2003, **12**(2):98~102.
- [12] 刘希林, 陈宜娟. 泥石流风险区划方法及其应用——以四川西部地区为例[J]. *地理科学*, 2010, **30**(4):558~565.
- [13] 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.
- [14] Zhang J Q. Risk assessment of drought disaster in the maize-growing region of Songliao Plain[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, **102**(2):133-153.
- [15] 胡蓓蓓, 姜衍祥, 周俊, 等. 天津市滨海地区地面沉降灾害风险评估与区划[J]. *地理科学*, 2008, **28**(5):693~697.
- [16] Tang Chuan, Zhu Jing. Torrent risk zonation in the Upstream red river Basin based on GIS[J]. *J Geographical Science*, 2006, **16**(4):479-486.
- [17] 王春乙, 王石立, 霍治国. 近10年来中国主要农业气象灾害监测预警与评估技术研究进展[J]. *气象学报*, 2005, **63**(5):659~671.
- [18] 田红. 江淮地区极端气候事件的时空变化特征[J]. *自然灾害学报*, 2007, **16**(6):36~41.
- [19] 安徽省统计局. 安徽省统计年鉴(2006~2008)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006~2008.
- [20] 徐成怀, 程筱华. 低温冷害对水稻的影响及防御措施[J]. *安徽农学通报*, 2007, **13**(10):122~123.
- [21] Davidson R A, Lamber K B. Comparing the hurricane disaster risk of U.S. coastal counties[J]. *Natural Hazards Review*, 2001, **2**(3):132-142.
- [22] 张翀, 李晶, 任志远. 基于Hopfield神经网络的中国近40年气候要素时空变化分析[J]. *地理科学*, 2011, **31**(2):211~217.
- [23] 查良松, 陈晓红, 吉中会, 等. 1970~2008年安徽省气温时空格局变化[J]. *地理研究*, 2010, **29**(4):640~654.
- [24] 杨昕, 汤国安, 王春, 等. 基于DEM的山区气温地形修正模型——以陕西省耀县为例[J]. *地理科学*, 2008, **28**(4):525~530.

Risk Zonation of Cold Disaster Based on GIS: A Case Study of Anhui Province

TANG Wei-an¹, TIAN Hong¹, YANG Yuan-jian², LU Yan-yu¹, XU Guang-qing¹,
WEN Hua-yang¹, WANG Sheng¹

(1. Anhui Province Climate Center, Hefei, Anhui 230031, China; 2. Anhui Institute of Meteorological
Science, Hefei, Anhui 230031, China)

Abstract: Using the meteorological, geographical, agricultural and socio-economical data, the four indexes, including the danger of disaster-causing factors, the sensitivity of disaster-formative environments, the vulnerability of disaster-bearing body and the capability of disaster prevention, were presented and used to analyze the regional difference of cold disaster in Anhui Province based on the natural disaster risk theory. Furthermore, a comprehensive risk index model of cold disaster was constructed to zone the risk of cold disaster in Anhui Province using the above four disaster risk indexes and GIS. Finally, the zonation results were validated by the historical disaster data. The results showed that the cold disaster risk assessment model of Anhui Province was reasonable and objective, and its assessment results were relatively suitable for the fact of cold disaster risk in Anhui Province. Particularly, the high risk zones of cold disaster were mainly located in the northern areas of Anhui Province and the some mountainous areas, and the low risk of cold disaster zones were mainly located near water and cities areas in Anhui Province. Comparing with the historical disaster data, the zonation of cold disaster results were in accordance with the actual distributions. This work provided convincing evidences to assess, prevent and reduce natural cold disaster.

Key words: cold disaster; risk theory of natural disaster; GIS; risk zonation; Anhui Province