唐为安,田红,严小静,等.2023.基于地形订正技术的安徽冰雹灾害风险区划[J].暴雨灾害,42(5):606-612. TANG Weian, TIAN Hong, YAN Xiaojing, et al. 2023. Risk zoning of hail disaster in Anhui Province based on terrain correction technology [J]. Torrential Rain and Di-sasters,42(5):606-612 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2023-021

# 基于地形订正技术的安徽冰雹灾害风险区划

唐为安<sup>1</sup>,田红<sup>1</sup>,严小静<sup>2</sup>,吴蓉<sup>1</sup>,谢五三<sup>1</sup>,王胜<sup>1</sup> (1.安徽省气候中心,合肥 230031;2.安徽省公共气象服务中心,合肥 230031)

**摘 要:**地形订正是保证冰雹灾害风险区划结果准确的关键环节。利用1978—2020年安徽省81个国家级气象观测站冰 雹观测资料以及地理信息、国内生产总值、历史灾情等数据,采用相关分析、回归分析等统计方法,识别冰雹灾害致灾因 子,并计算其致灾强度,建立冰雹频次的地形修正方法,综合冰雹致灾强度和频次开展致灾危险性评估。基于自然灾害 风险形成理论,综合致灾危险性和承灾体易损性,借助GIS技术完成冰雹灾害经济风险区划,并对结果的合理性进行了 验证。结果表明:(1)最大冰雹直径和降雹持续时间与冰雹灾损指数显著相关,确定二者为冰雹灾害致灾因子;地形修正 后的冰雹频次空间分布特征与实际发生情况一致,且能更精细地反映出高海拔山区的冰雹频次空间差异程度;(2)冰雹 多发区、高和较高危险区均位于安徽省冰雹主要路径上的淮河以北地区、江淮之间东部地区以及大别山区和皖南山区两 大山区;(3)冰雹灾害经济风险总体上自南向北逐渐增大。通过灾情验证,安徽省冰雹灾害经济风险指数与直接经济损 失多年平均值的相关系数通过 α=0.01显著性水平检验,区划结果与实际情况基本吻合。 关键词:冰雹灾害;地形订正;致灾危险性;风险区划;安徽省

中图法分类号: P40 文献标志码: A DOI: 10.12406/byzh.2023-021

# Risk zoning of hail disaster in Anhui Province based on terrain correction technology

TANG Weian<sup>1</sup>, TIAN Hong<sup>1</sup>, YAN Xiaojing<sup>2</sup>, WU Rong<sup>1</sup>, XIE Wusan<sup>1</sup>, WANG Sheng<sup>1</sup>

(1. Anhui Province Climate Center, Hefei 230031; 2. Anhui Public Meteorological Service Center, Hefei 230031)

Abstract: Terrain correction is a key step to ensure the accuracy of risk zoning for hail disasters. This study utilizes the hail observations from 81 national meteorological stations in Anhui Province spanning from 1978 to 2020, along with geographic information data, gross domestic product (GDP), and historical disaster data, to identify causative factors for hail disasters and calculate the hazard-inducing intensity indices by employing statistical methods of correlation analysis and regression analysis. Then, a terrain-involved correction method for hail frequency is established, with the combination of hazard-inducing intensity and frequency, to conduct disaster risk evaluation. According to the theory of natural disaster risk assessment, the Geographic Information System-based economic risk zonation of hail disaster is performed by integrating the hazard-inducing factors and vulnerability factors. The feasibility of zoning results is further verified through the direct economic losses caused by hail disasters. The results show that: (1) the maximum hail diameter and duration of hailfall can be used as hail hazard-inducing factors, as both are significantly correlated with the damage index of hail disaster. The terrain-corrected spatial distributions of hail frequency are well consistent with the actual observations, which better represent spatial distribution variations in high-altitude mountainous areas. (2) the hail-prone areas, as well as the high-risk areas, are located in several regions along the main paths of hail disaster, such as to the north of the Huaihe River, in the eastern regions between the Yangtze River and Huai River, as well as in the mountainous areas of Dabie Mountains and the south part in Anhui Province. (3) The overall economic risk of hail disasters gradually decreases from north to south. The validation by direct economic losses suggests that the correlation coefficient between the economic risk index of hail disaster and the average of direct economic losses over multiple years in Anhui province has passed the significance test with a confidence level of 99%, and the zoning results agree well with the true situations.

Key words: hail disaster; terrain correction; hazard; risk zonation; Anhui Province

通信作者:田红,主要从事气象灾害风险管理研究。E-mail:Linda2383@163.com

收稿日期: 2023-02-10; 定稿日期: 2023-07-18

资助项目: 安徽省自然科学基金项目(2208085MD102);中国气象局创新发展专项(CXFZ2023J007)

第一作者: 唐为安,主要从事气象灾害综合风险评估与区划。E-mail:twa1980@mail.ustc.edu.cn

# 引 言

安徽省地处暖温带向亚热带的气候过渡地区,天 气复杂多变,自然灾害种类多、频次高,其中冰雹灾害 时有发生,尤其在春夏季,约占全年总数的94%(唐为 安等,2013),经常给工农业生产和人民生活等造成严 重影响。随着防灾减灾工作的不断推进,科学合理的 冰雹灾害风险区划可揭示风险空间分布规律,为有效 地制定风险分区管理措施提供理论依据,为工农业生 产、人民生活活动的抉择提供充分的风险信息。

近些年来,冰雹灾害风险评估和区划的研究已引 起学者们的广泛关注。罗培(2007)以地貌、灾害频率、 人口和社会经济作为评价因子,采用模糊评价法,构 建了重庆地区冰雹灾害风险评估模型,并应用地理信 息系统(Geographical Information System, GIS)得到了孕 灾环境敏感度、致灾因子危险度、承灾体易损度和风 险度区划图。段云峰等(2016)通过分析致灾因子危险 性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性及防灾减灾能力 四方面指标,建立了县级冰雹灾害风险区划技术方 法,并揭示了天祝藏族自治县冰雹灾害风险空间分 布特征。邹雨伽等(2020)基于自然灾害风险理论,开 展四川省错季草莓冰雹灾害风险区划研究,指出冰雹 灾害高风险区主要集中在川西北高原,低风险区多集 中攀西地区。相对于旱涝灾害可以用观测的气温、降 水等连续性的常规气象观测要素建立指数表征,冰雹 仅作为一种天气现象被人工记录,观测记录较少,导 致冰雹灾害风险区划研究仍相对偏少。

安徽省地形复杂且梯度较大,地貌以平原、丘陵 和山地为主,以淮河和长江为界,划分为5个地貌区, 分别为淮河以北平原区、江淮中东部丘陵区、江淮西 部山地、沿江平原区和江南山地。研究发现,冰雹事 件的发生与地形条件密切相关(王瑾和刘黎平,2008; 肖志强和赵彦峰,2014;祝小梅等,2022),然而已有研 究多基于国家级气象观测站点数据开展,而我国中东 部大部分气象观测站点主要布设在低海拔地区,并不 能准确反映高海拔地区的冰雹发生情况。因此开展 冰雹发生频次的地形修正,既可以弥补国家级气象观 测站冰雹观测空间分辨率低的问题,也可以实现高海 拔山区精细化的冰雹灾害致灾危险性评估,揭示冰雹 灾害在空间上分布的差异程度,从而使得评估结果与 实况更吻合。然而,如何开展基于地形修正的冰雹灾 害风险区划,目前少有相关的研究报道。此外,在冰 雹灾害致灾因子危险性评估方面,针对致灾因子识别 的研究仍以主观经验判断为主(温华洋等,2013),缺少 定量的客观识别方法。近些年来,GIS因其在空间数据

管理、分析和制图等方面的优势,已成为自然灾害风险 区划不可或缺的工具(唐为安等,2012;魏华兵等,2023; 余田野等,2023)。本文利用安徽省国家气象观测站的 冰雹记录、历史灾情以及数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)和经济(Gross Domestic Product, GDP) 格网数据等多源资料,通过识别冰雹灾害致灾因子, 确定致灾强度指数,开展冰雹频次地形修正,完成致 灾危险性评估与区划。在此基础上,综合致灾危险性 和承灾体易损性两方面因素,基于GIS实现地形修正 后的冰雹灾害经济风险评估与区划,以期为相关研究 提供借鉴,为区域冰雹灾害防御、农业生产布局和国 土空间规划等的决策提供科学依据。

## 1 资料说明与区划方法

#### 1.1 资料说明

1.1.1 资料来源

本研究使用的资料包括:(1) 冰雹观测资料,来源 于安徽省气象信息中心提供的1978—2020年安徽省 81个国家级气象观测站的冰雹观测资料,由气象月报 表以及通过地方志、气象灾害大典等文献扩充得到(唐 为安等,2013)。根据地面观测规范(中国气象局,2003), 一天内只要出现冰雹天气现象,不论发生次数多少、 持续时间长短均记为1个雹日。本文以雹日表征冰雹 发生频次,文中的雹日均基于国家级气象观测站的站 次雹日,若某日一次冰雹过程影响数个站,即多站出 现冰雹天气现象,则每个站均记为一个雹日。降雹持 续时间由一次冰雹过程起止时间计算得到;(2)安徽 省GDP格网数据,由国务院第一次全国自然灾害综合 风险普查领导小组办公室制作,精度为1 km×1 km, 用于承灾体易损性分析;(3)安徽省海拔高度数据,来 自 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission),精度为30 m×30m,用于冰雹频次的海拔高度修正;(4)直接经济 损失资料,来源于安徽省应急管理厅发布的1978-2020年安徽省自然灾害统计年报表,用于验证区划 结果。

#### 1.1.2 指标规范化处理

风险区划涉及致灾危险性和承灾体易损性两个 方面,包含多个评价指标,为消除不同评价指标的量 纲和数量级差异,采用式(1)对各指标进行规范化处理 (唐为安等,2012)。

$$x' = 0.5 + 0.5 \times \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$
(1)

式(1)中, x'、x、x<sub>max</sub>和 x<sub>min</sub>分别为规范化处理后的指标值、原始指标值、指标序列中的最大值和指标序列中的最小值。

1.1.3 灾情资料处理

本研究中的灾情资料特指来源于安徽省应急管 理厅发布的因冰雹导致的直接经济损失资料,近几十 年来,物价、GDP增长率等因素发生了变化,利用直接 经济损失开展灾害风险区划时,需要对其进行订正。 采用章国材(2014)提出的"当年GDP订正"法对直接经 济损失进行订正。计算方法如式(2)所示。

$$I = \frac{L}{E} \times 100 \tag{2}$$

式(2)中, *I* 为一次冰雹过程的灾损指数; *L* 表示该次 冰雹过程导致的直接经济损失,由安徽省应急管理厅 在灾害发生后通过实地调查统计得到; *E* 为该次冰雹 过程发生所在县级行政单位的当年 GDP。

#### 1.2 冰雹致灾危险性评估与风险区划方法

1.2.1 致灾因子及致灾强度指数确定

通过对冰雹灾害的历史灾情分析发现,冰雹灾害 造成损失往往与冰雹发生时的风速、雹块直径及降雹 持续时间等有关。为了确定冰雹灾害的致灾因子,采 用相关分析,选取与灾损指数显著性相关(α≤0.05)的 因子作为冰雹灾害致灾因子,并按式(3)计算冰雹灾害 致灾强度指数。

$$I' = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \times D_i + b_0 \tag{3}$$

式(3)中, *I* 为冰雹灾害致灾强度指数; *D<sub>i</sub>* 为识别的第 *i* 个经式(1)规范化处理后的致灾因子值; *a<sub>i</sub>* 和 *b*<sub>0</sub> 是以 致灾因子为自变量、历次冰雹过程的 *I* 为因变量,构 建的回归方程的回归系数。

1.2.2 致灾危险性指数确定

致灾危险性是自然灾害本身危险程度的反映,通 常表现为灾害的发生频次和强度两个因素(牟笛和陈 安,2020),灾害发生的频次越高、强度越大其对承灾体 造成的危害就越大。以雹日表征发生频次,致灾强 度指数表征发生强度,按式(4)计算冰雹灾害致灾危 险性指数。采用自然断点法这一客观、科学的分级方 法(李乃强和徐贵阳,2020),将致灾危险性划分为高、 较高、较低和低四个等级,得到冰雹灾害致灾危险性 区划。

$$H = w_{\rm r} \times r + w_{\rm i} \times I' \tag{4}$$

式(4)中, H 为冰雹灾害致灾危险性指数; r 是经式(1) 规范化处理后的冰雹频次值; l 为冰雹灾害致灾强度 指数; w<sub>r</sub>和w<sub>i</sub>分别为冰雹频次和冰雹灾害致灾强度 指数的权重系数,取等权重,即均取0.5。

1.2.3 风险评估与区划方法

根据自然灾害风险形成理论,自然灾害风险是自 然灾害致灾危险性和承灾体易损性的非线性函数,两 者缺一不可。基于此理论建立了安徽省冰雹灾害风 险评估模型。

$$R = f(H, V) = H^{w_{h}} \times V^{w_{v}}$$

$$\tag{5}$$

式(5)中, R 表示评估单元的冰雹灾害风险指数; H 表 示评估单元的致灾危险性指数; V 表示评估单元的承 灾体易损性指数,以评估单元内的GDP多少来衡量; w。和w。分别为致灾危险性和承灾体易损性指数的权 重系数。在计算R时,应先采用式(1)对H和V进行规 范化处理,并对处理后的值扩大10倍。为了确定各指 标的权重系数,提供了4:6、5:5、6:4和7:3四种初始权 重系数组合方式,征求15位行业专家的意见。首轮专 家意见统计如下:1位专家选择4:6权重系数组合方 式;2位选择5:5的组合方式;5位选择6:4的组合方式, 占总数的33.3%;7位选择7:3的组合方式,占总数的 46.7%。针对专家意见集中的6:4和7:3两种权重系数 组合方式,分别利用式(5)计算冰雹灾害经济风险指 数,并绘制风险区划图和因冰雹灾害导致的直接经济 损失的空间分布图,再次提交专家征求意见,最终确 定致灾危险性和承灾体易损性指数的权重系数分别 取0.7和0.3。

基于上述评估结果,利用GIS平台空间分析模块 (Spatial Analysis)中的栅格计算器(Raster Calculator)执 行地图代数(Map Algebra)表达式,按式(5)计算冰雹灾 害经济风险指数,采用自然断点法,将经济风险划分 为高、较高、中等、较低和低5个等级,得到安徽省冰雹 灾害经济风险区划。

#### 2 结果分析

#### 2.1 致灾危险性评估与区划

2.1.1 致灾因子识别及致灾强度指数确定

1978—2020年安徽省发生的同时具备最大冰雹 直径、降雹持续时间、降雹时阵风以及灾害损失数据 的冰雹过程共计33次。通过对冰雹过程中3个主要 特征量与灾损指数的相关分析结果表明,冰雹灾害造 成的直接经济损失与最大冰雹直径和降雹持续时间 的相关系数分别为0.577和0.524,均通过α=0.01显著 性水平检验,而与降雹时阵风的相关系数为0.246,未 通过α=0.05显著性水平检验。因此,选取最大冰雹直 径和降雹持续时间作为冰雹灾害致灾因子。

在此基础上,利用式(3)计算得到了安徽省的冰雹 灾害致灾强度指数(图1),可见冰雹灾害致灾强度指数 高值区(致灾强度指数≥0.60)主要位于亳州市、阜阳市 和滁州市等三个市的大部分县区。低值区(致灾强度 指数≤0.50)主要位于淮南市、六安市、黄山市、宣城市 等四个市的大部分县区。



图 1 1978—2020 年安徽省冰雹灾害致灾强度指数空间分布 Fig.1 The spatial distribution of hail hazard-inducing intensity indices during 1978–2020 in Anhui Province

2.1.2 冰雹频次的地形修正

海拔高度是影响冰雹频次的最主要的地形因子 (王瑾和刘黎平,2008)。图2分别为安徽省所有站点以

及海拔≥25 m、≥50 m、≥100 m站点的冰雹频次与海 拔高度的散点图。可见冰雹频次与海拔高度显著相 关,且随着站点海拔高度上升,两者的相关程度增大, 当海拔≥100m时两者相关程度最为显著。此外,安 徽省大多数站点的海拔在100m以下,100m以上只有 10个站,300m以上仅2个站。为了更准确的反映冰 電频次与海拔高度之间的关系,通过补充周边省份49 个海拔100m以上的站点冰雹频次来参与构建冰雹频 次与海拔高度之间关系(图 3a),并分析了拟合得到的 冰雹频次与站点冰雹频次之间的误差(图 3b)。结果表 明,海拔100m以上的站点冰雹频次与海拔高度相关 系数为0.901,通过 $\alpha = 0.01$  显著性水平检验。然而, 海拔在100—300 m之间拟合得到的冰雹频次与站点 冰雹频次误差较大,400 m以上的拟合误差明显收 敛,平均误差在0值附近。因此,对海拔≥400 m以上 的地区,利用DEM数据,根据冰雹频次与海拔高度之 间关系,采用GIS平台空间分析模块中的条件函数 (con)得到不同海拔高度条件下的冰雹频次空间分布 (图4b)。



图 2 1978—2020 年安徽省所有站点(a)、海拔高度≥25 m (b)、≥50 m (c)、≥100 m (d)站点的海拔高度与冰雹频次散点图 Fig.2 The scatter maps of topographic elevations for (a) all stations, (b) ≥25 m, (c) ≥50 m, (d) ≥100 m stations with hail frequencies during 1978–2020 in Anhui Province

安徽省的冰雹主要路径有8条(唐为安等,2013), 其中5条位于淮河以北,占冰雹发生总次数的44.5%; 2条位于江淮之间,1条位于沿江西部,分别占冰雹发 生总次数的12.8%和6.6%(图4c)。从安徽省海拔高度 未修正(图4a)和修正后(图4b)的冰雹频次空间分布(未 修正的冰雹频次是基于站点冰雹频次插值得到)可见, 针对海拔高度 < 400 m 的地区,未修正和修正后的冰 雹频次空间分布一致,而在海拔高度≥400 m 的大别 山区和皖南山区,两者的空间分布差异明显,修正后 的冰雹频次分布特征与冰雹的主要路径更为接近。 这说明修正后的冰雹频次能精细地反映出海拔高度 对冰雹发生的影响,更吻合冰雹实况。

#### 2.1.3 致灾危险性区划

图5为冰雹灾害致灾危险性区划结果,可见冰雹 灾害致灾高、较高危险区主要位于亳州市、宿州市、淮 北市、阜阳市、滁州市等五个市的大部县区以及安庆 市、池州市、芜湖市和宣城市等四个市的部分县区,这 些区域基本位于该省冰雹的主要路径上以及大别山





Fig.3 The scatter map for (a) topographic elevation and hail frequencies and (b) fitting errors of hail frequencies for different topographic elevations at stations with a topographic elevation of ≥100 m during 1978–2020 in Anhui Province and its nearby provinces



图 4 1978—2020 年安徽省海拔高度未修正(a)、修正后(b)的冰雹频次空间分布及冰雹的主要路径(c) Fig.4 The spatial distributions of hail frequencies for (a) uncorrected topographic elevation, (b) corrected, and (c) main paths of hail observations during 1978–2020 in Anhui Province



区和皖南山区的高海拔地区。淮南市、蚌埠市、合肥 市、六安市、铜陵市、马鞍市、宣城市和黄山市等八个 市的大部县区为冰雹灾害致灾较低和低危险区。

#### 2.2 风险评估与区划

图6是安徽省冰雹灾害经济风险区划结果,可见 总体上冰雹灾害经济风险程度自北向南逐渐减轻,



高、较高风险区主要位于宿州市、亳州市、阜阳市以及 滁州市等四个市的大部分县区,大别山区和皖南山区 有零星分布,这些区域尽管GDP总量偏少,但致灾危 险性较其他地区明显偏高。淮南市、蚌埠市、合肥市、 六安市、铜陵市、芜湖市、马鞍山市、宣城市、黄山市等 九个市的大部县区为较低、低风险区,其他大部分县 区为中等风险区。此外,该省境内的水体以及大别山 区和皖南山区的高海拔区域由于无承灾体对象,故存 在一定范围的无风险区域。

为了验证区划结果的合理性,采用GIS平台的空间分析模块中的区域分析(Zonal)工具以表格显示分 区统计(Zonal Statistics as Table)方法提取各县区级行 政单元的冰雹灾害经济风险指数值,并用该值与该县 的直接经济损失多年平均值进行相关分析(图7)。结 果表明,两者的相关系数为0.374,通过α=0.01显著性 水平检验。这说明冰雹灾害经济风险的评价指标、权 重系数、评价模型及区划结果基本合理,与实际情况 吻合。

为了研究致灾危险性指数和承灾体易损性指数 的权重系数的不同组合方式对风险区划结果可能产 生的影响,还分析了首轮专家意见征求时专家选择第 二多和第三多的两种权重系数组合,即两者的权重系 数分别取0.6和0.4、0.5和0.5时得到的风险指数与直



接经济损失之间的关系,结果如图8所示。结合图7 可知,三种权重系数组合方式得到的风险指数与直接 经济损失的线性相关系数均通过α=0.01显著性水平 检验,权重系数取0.7和0.3时,风险指数与直接经济 损失的相关系数最高,其次是取0.6和0.4时,而以0.5 和0.5的权重系数组合的相关系数最小。据此推断, 一方面,采取0.7和0.3的权重系数组合方式开展安徽 省的冰雹灾害经济风险区划更为合理;另一方面,相 较于承灾体易损性而言,灾害本身的致灾强度大小对 灾害损失严重程度的贡献更大,这与章国材(2014)的 研究结论一致。



图 8 权重系数分别取 6:4 (a)和 5:5 (b)时的 1978—2020 年安徽省冰雹灾害经济风险指数与直接经济损失散点图 Fig.8 The scatter maps of hail disaster economic risk indexes calculated with weight indexes of (a) 5:5 and (b) 6:4, and the direct economic losses caused by hail disaster, respectively

### 3 结论与讨论

本文利用安徽省的冰雹观测记录、历史灾情以及 DEM和GDP格网数据等多源资料,识别冰雹灾害致 灾因子,修正不同海拔高度的冰雹频次,并借助GIS 技术开展冰雹灾害致灾危险性评估,结合承灾体数 据,基于自然灾害风险系统理论,开展冰雹灾害经济 风险区划研究,并对结果的合理性进行了验证。得到 主要结论如下:

(1) 最大冰雹直径和降雹持续时间与冰雹灾损指 数显著相关,选取二者作为冰雹灾害致灾因子。基于 海拔高度修正后的冰雹频次与实况一致,且更精细地反映高海拔地区的海拔高度对冰雹产生的影响。

(2) 冰雹灾害致灾危险等级偏高区域主要位于冰 雹主要路径上的淮河以北地区、江淮之间东部地区以 及大别山区和皖南山区两大山区,而沿淮中部、江淮 之间大部、沿江中东部及皖南南部的大部分县区危险 性程度偏低。

(3)冰雹灾害经济风险程度自北向南逐渐减轻。 经历史灾情的合理性验证,确定的冰雹灾害经济风险 评价指标、评价模型客观,致灾危险性指数和承灾体 易损性指数的权重系数取0.7和0.3时得到的风险指

灾害风险是致灾危险性、承灾体易损性以及综合 减灾能力等多方面因素共同作用形成的,成因复杂, 本文仅是在冰雹灾害风险区划研究方面作了一定的 探索,但受限于防灾减灾能力等方面高精度数据获取 困难,目前评价结果尚难以做到与实际完全吻合。绝 大多数情况下,大风和冰雹两者是伴生灾害,应急管 理部门在灾情统计时将两者导致的灾害损失均归类 为风雹灾害损失,而无单独的冰雹灾害损失统计数 据,这可能在一定程度上造成区划结果合理性验证结 论的不准确。2020年开始的风险普查工作,在自然灾 害致灾因子、承灾体、减灾能力、灾害发生情况、重点 隐患等风险要素数量的调查基础上,科学全面地厘清 区域自然灾害风险水平,针对性地强化综合风险防治 能力,切实有效地保障经济社会可持续性发展。后续 将利用此次风险普查成果进一步开展冰雹灾害的风 险评估与区划研究。

#### 参考文献(References):

- 段云峰,胡正华,刘明春,等.2016.基于 GIS 的祁连山东端冰雹灾害风险评 估与区划[J].长江科学院院报,33(5):129-134. Duan Y F, Hu Z H, Liu M C, et al. 2016. Risk assessment and zonation of hail disaster in the East of Qilian Mountains based on GIS [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,33(5):129-134 (in Chinese). doi:10.119 88/ckyyb.20150401
- 李乃强,徐贵阳.2020.基于自然间断点分级法的土地利用数据网格化分 析[J].测绘通报,4:106-110. Li N Q, Xu G Y. 2020. Grid analysis of land use based on natural breaks (jenks) classification [J]. Bulletin of surveying and mapping,4:106-110 (in Chinese). doi:10.13474/j.cnki.11-2246.2020.0121
- 罗培.2007.GIS 支持下的气象灾害风险评估模型—以重庆地区冰雹灾 害为例[J].自然灾害学报,16(1):38-44. Luo P. 2007. GIS-based risk evaluation model of meteorological disaster: a case study on hail disaster in Chongqing administrative region [J]. Journal of Natural Disasters, 16(1):38-44 (in Chinses). doi:10.3969/j.issn.1004-4574.2007.01.008
- 牟笛,陈安.2020.中国区域自然灾害综合风险评估[J]-安全,41(12):23-26.
   Mu D, Chen A. 2020. Natural disaster universal risk evaluation of China
   [J]. Safety & Security,41(12):23-26 (in Chinese). doi:10.19737/j.
   cnki.issn1002-3631.2020.12.005
- 唐为安,田红,杨元建,等-2012.基于GIS的低温冷冻灾害风险区划研究— 以安徽省为例[J].地理科学,32(3):356-361. Tang W A, Tian H, Yang Y J, et al. 2012. Risk zonation of cold disaster based on GIS: A case study of Anhui Province [J]. Scientia Geographica Sinica,32(3):356-361 (in Chinese). doi:10.13249/j.cnki.sgs.2012.03.016
- 唐为安,田红,莫伟强,等.2013.冰雹数据库扩容前后对比分析一以安徽 省为例[J].中国农业气象,34(2):249-254. Tang W A, Tian H, Mo W

Q, et al. 2013. Comparative analysis on hail database expansion: A case study of Anhui Province [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 4(2):249–254 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1000-6362.2013.02.019

- 王瑾,刘黎平.2008.基于 GIS 的贵州省冰雹分布与地形因子关系分析[J]. 应用气象学报,19(5):627-634. Wang J, Liu L P. 2008. Hail distribution and topographical factors in Guizhou Province based on GIS technique [J]. Journal of Applied Meteorological Science,19(5):627-634 (in Chinese). doi:10.11898/1001-7313.20080515
- 魏华兵,罗翔,袁观强,等-2023.基于 GIS 的咸宁市枇杷气象灾害危险性评 价[J].暴雨灾害,42(1):105-112. Wei H B, Luo X, Yuan G Q, et al. 2023. Risk assessment of meteorological disasters of loquat planting in Xianning of Hubei based on GIS [J]. Torrential Rain and Disasters, 42(1):105-112 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2022-202
- 温华洋,田红,唐为安,等.2013.安徽省冰雹气候特征及其致灾因子危险 性区划[J].中国农业气象,34(1):88-93. Wen H Y, Tian H, Tang W A, et al.2013. Climatic characteristics of hail disaster and its risk zoning in Anhui Province [J]. Chinese Journal of Agrometeorology,34(1): 88-93 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1000-6362.2013.01.013
- 肖志强,赵彦峰.2014.陇南山区近40年农业冰雹灾害发生规律与风险区 划研究[J].江苏农业科学,42(3):323-326. Xiao Z Q, Zhao Y F. 2014. Study on occurrence regularity and risk zoning of agricultural hail disaster in Longnan mountain in the last 40 years [J]. Jiangsu Agricultural Sciences,42(3):323-326 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1002-1302. 2014.03.111
- 余田野,贺姗,张科杰,等.2023.基于改进层次分析法的湖北省雷电灾害风险区划.暴雨灾害,42(1):88-96. Yu T Y, He S, Zhang K J, et al. 2023. Risk zoning of lightning disaster in Hubei Province based on improved analytic hierarchy process [J]. Torrential Rain and Disasters, 42(1):88-96 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2022-185
- 章国材.2014.自然灾害风险评估与区划原理和方法[M].北京:气象出版 社:16-17. Zhang G C. 2014. Principles and methods of natural disaster risk assessment and zoning [M]. Beijing:Meteorological Press: 16-17 (in Chinese)
- 中国气象局.2003.地面观测规范[M].北京:气象出版社:23-27. China Meteorological Administration. 2003. Specifications for surface observation [M]. Beijing: Meteorological Press:23-27 (in Chinese)
- 邹雨伽,张玉芳,代昕鹭,等.2020.四川省错季草莓生产区冰雹灾害分布 及风险区划[J].湖北农业科学,59(2):49-54. Zhou Y J, Zhang Y F, Dai X L, et al. 2020. Distribution and risk evaluation of hail disaster of stagger-season strawberry production area in Sichuan Province [J]. Hubei Agricultural Sciences,59(2):49-54 (in Chinese). doi:10.14088/j. cnki.issn0439-8114.2020.02.011
- 祝小梅,范宏云,白婷.2022.伊犁地区冰雹气候特征及环境场分析[J].沙 漠与绿洲气象,16(2):122-129. Zhu X M, Fan H Y, Bai T. 2022. Analysis on the Hail Climatic Characteristics and Environmental Fields in Ili Area [J]. Desert and Oasis Meteorology,16(2):122-129 (in Chinese). doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.02.017

(责任编辑 唐国瑛)