

基于栅格数据的气象灾害风险评估

王怀军^{1,2} 潘莹萍³ 李 帅⁴ 陈忠升⁵ 赵卓怡¹ 米荟璇¹

(1. 淮阴师范学院 城市与环境学院, 江苏 淮安 223300; 2. 水利部应对气候变化研究中心 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 3. 北京师范大学 地理科学学部, 北京 100875; 4. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730000; 5. 西华师范大学 国土资源学院, 四川南充 637002)

摘要 全球变化背景下, 洪涝、干旱、高温热浪和低温冷冻等气象灾害频发, 给农业生产和生态环境带来严重损害. 气象灾害风险评估与区划是灾害评估与管理的重要内容, 本文利用江苏省气象水文数据、基础地理信息数据、社会经济数据、灾害数据, 通过分析气象灾害(洪涝、干旱、高温热浪和低温冷冻)致灾因子、孕灾环境因子、承灾体易损性因子和防灾减灾因子等指标, 利用 GIS 技术, 建立了江苏省气象灾害风险评估模型, 进而对气象灾害进行风险评价与区划. 结果表明: (1) 高温灾害苏南地区风险最大, 苏北地区风险最小; (2) 低温灾害风险在省内从北向南递降, 高风险区位于苏北地区, 低风险区位于苏南地区; (3) 洪涝灾害高风险区主要位于苏北地区, 淮安、宿迁、连云港以及盐城北部属洪涝灾害的高风险区, 镇江、泰州和南通北部属于中风险区, 而低风险区主要分布在徐州西部, 无锡、苏州以及南通东南部; (4) 旱灾风险从苏南向苏北递增, 最大区域为宿迁、连云港西部及徐州东部, 旱灾风险低值区位于苏州、无锡、镇江、泰州及南通北部. 风险区划结果能直观反映出气象灾害的区域性差异, 且与致灾因子危险性分布图一致, 因此对气象灾害进行全面精准的预报是进行防灾减灾的主体, 同时还应采取降低孕灾环境的敏感性, 成灾体的易损性以及加强防灾减灾能力建设.

关键词 气候灾害; 风险评估与区划; 层次分析法; 江苏省

中图分类号 P412

文献标识码 A

0 引言

极端气候事件(如洪涝、暴雨、严寒、高温)频繁突发和加剧, 已成为当今社会和科学界关注的焦点^[1,2]. 中国是世界上受自然灾害影响最为严重的国家之一, 也是极端气候事件发生频率与强度较高的国家之一^[3]. 据民政部和国家减灾委员会等部门统计, 1990-2010年气象灾害造成的直接经济损失高达2000亿元/年, 约相当于当年GDP的1%-3%^[4]. 近年来, 气象灾害造成的损失日益加重, 气象灾害的频繁发生已成为制约我国国民经济持续稳定发展的主要因素之一.

气象灾害是传统自然灾害分类中的一种类型, 由气候异常所引起的财产损失、人员伤亡、资源环境破坏等现象即为气象灾害^[5]. 极端气候事件影响的严重性, 不仅取决于极端事件本身, 而且还取决于承灾体的暴露度和脆弱性, 两者是灾害风险的主要决定因素^[6,7]. IPCC第五次评估报告指出只有极端天气或气候事件、暴露度和脆弱性重合时, 才形成灾害风险^[8]. 这说明自然灾害风险的产生与危害性自然事件、社会条件、承灾对象等因素的相互作用密切相关, 这些因素构成了一个复杂而有机的自然灾害风险系统, 其中孕灾环境、致灾因子、承灾体是该系统的三大组成部分. 张继权^[9]认为防灾减灾能力也是制约和影响自然灾害风险的因素. 因此, 目前比较广泛的认识是自然灾害风险的大小取决于孕灾环境稳定性、致灾因子危险性、承灾体脆弱

收稿日期: 2018-12-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41701034); 江苏省高校自然科学研究面上项目(16KJB170001); 江苏省区域现代农业与环境保护协同创新中心科技项目(HSXT2-324); 大学生实践创新项目江苏省级指导项目(201810323095X)资助

通讯作者: 王怀军, 男, 汉族, 博士, 讲师, 研究方向: 极端水文气候事件、遥感水文, E-mail: wanghj@ms.xjb.ac.cn.

性以及抗灾恢复能力等诸多因素的影响^[10]. 近年来,许多学者利用这个概念对气象灾害进行了广泛而深入的研究. 例如,张菡等^[11]利用 GIS 工具完成针对农业的四川省暴雨洪涝灾害风险区划,结果显示四川盆地东北、西南大部地区灾害风险等级较高,容易发生致害性较强的暴雨洪涝灾害. 柳媛普等^[12]采用加权综合评价法对西南地区干旱灾害风险因子进行分析,指出气候变暖后四川东南部、云南西部危险性明显增加. 在研究尺度方面,有以省及直辖市为单位的,例如黑龙江省^[13]、安徽省^[14]、陕西省^[15,16];有以地级市为单位的,例如东营市^[17]、赤峰市^[18]、洛阳市^[19]、杭州市^[20]. 这些研究成果都表明基于致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性、以及防灾减灾能力的气象灾害风险评估具有很好的适用性、准确性与推广性.

江苏省地处中纬度海陆过渡带和中国南北气候过渡带,兼受西风带、副热带和低纬东风带天气系统的影响,气象灾害频次高、种类多、影响面广,是我国气象灾害发生较为严重的省区之一. 江苏省主要的气象灾害有洪涝、高温热浪、干旱、低温冷冻等. 同时,江苏省经济发达,人口稠密,各类气象灾害带来的影响和造成的损失比较严重,并且还会诱发其他衍生灾害. 目前,对江苏省气象灾害的研究主要集中在时空分布规律上^[21,22],对气候灾害风险评价与区划研究相对较少,因此有必要对典型气象灾害进行系统的评估与区划. 本文通过对江苏近年来农业灾情数据(高温热浪、低温冷冻、干旱、洪涝)的统计整理,重点开展在栅格尺度上的农业气象灾害风险评价与区划研究.

1 数据和方法

1.1 数据来源

本文所用江苏省 13 个气象站(图 1)1960-2015 日最高气温、最低气温、降水等气象数据来自中国气象局国家气象信息中心(<http://www.nmic.gov.cn>),数据经过质量控制后,数据的实有率普遍在 99% 以上,数据的正确率均接近 100%. 通过日气象数据计算低温指数、高温指数以及洪涝指数等致灾因子如表 1 所示(指数由 RClimdex 软件计算得到,<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>). 数字高程数据(DEM)源于中国地理空间数据云 GDEM V230m 分辨率数字高程数据(<http://www.gscloud.cn>),空间分辨率重采样为 1 km × 1 km. 1 km × 1 km GDP 公里格网数据、1 km × 1 km 人口空间分布数据和 2010 年土地利用类型数据来自于资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn/Default.aspx>). 土地利用类型数据以各期 Landsat TM/ETM 遥感影像为主要数据源,通过人工目视解译生成,是目前我国精度最高的土地利用遥感监测数据产品,已经在国家土地资源调查、水文、生态研究中发挥着重要作用. 1 km GDP 空间分布公里格网数据模拟值与真实值间的相对误差为在 6%-17% 之间^[23]. 1 km 空间化人口数据的相对误差在 4.5% 到 13.6% 之间,而且大部分样本的相对误差小于 10%^[24]. 2010 统计数据包括粮食总产量、耕地面积、农民人均收入、财政收入、医疗机构数等均来自江苏省 2010 年统计年鉴(<http://www.jssb.gov.cn/>). 干旱用标准降水蒸发指数(SPEI)表征,计算软件为 R 软件中的“SPEI”包. (<http://finzi.psych.upenn.edu/R/library/SPEI/html/00Index.html>).

表 1 气象灾害致灾因子

气象灾害种类	特征	定义
低温	强度	月最低气温的最小值
	频率	日最低气温 < 10% 分位值的日数
	持续时间	每年至少连续 6 天日最低气温小于 10% 分位值的日数
高温	强度	月最高气温的最大值
	频率	日最高气温 > 90% 分位值的日数
	持续时间	每年至少连续 6 天日最高气温大于 90% 分位值的日数
洪涝	强度	每月连续五日的最大降水量
	频率	每年日降水量 ≥ 20 mm 的总日数
	持续时间	日降水量 ≥ 1 mm 的最大持续日数
干旱	中等干旱	1 个月尺度 SPEI 指数每年在 (-0.5, 0.5] 累加的绝对值
	严重干旱	1 个月尺度 SPEI 指数每年在 (-1.5, -2] 累加的绝对值
	极端干旱	1 个月尺度 SPEI 指数每年在 < -2 累加的绝对值

1.2 研究方法

气象灾害风险是致灾因子危险性(D)、孕灾环境敏感性(P)、承灾体易损性(B)和防灾抗灾能力(R)4 个

因素综合影响的结果,气象灾害风险用综合风险指数表示,评估模型表示为

$$RH=(D \times wd)+(P \times wp)+(B+wb)+(1-R) \times wr, \tag{1}$$

其中 RH 为灾害风险指数, D 为致灾因子危险性、 P 为孕灾环境敏感性、 B 为承灾体易损性、 R 为防灾抗灾能力。 wd 、 wp 、 wb 、 wr 分别表示气象灾害 4 个影响因子的权重,由层次分析法(AHP)确定;专家对 D 、 P 、 B 、 R 两两比较确定重要程度,根据相对重要性的比例标度,建立起判断矩阵后,由 yaahp 软件计算出它们的权重.确定某个元素的相对权重是否合适采用一致性验证,对不满足条件的权重进行修改,直到符合要求为止.

以低温灾害为例,江苏低温灾害发生特点,一般表现为持续低温日数越长,日最低气温越低,发生极端低温天气频次越多的地区越容易受到低温灾害影响,故致灾因子主要考虑低温强度,持续时间和频率;孕灾环境是指可能受到风险因素威胁的自然社会环境,故孕灾环境主要考虑江苏的地形和土地利用类型;承灾体是人类遭受损失的主要载体,由于低温灾害对农业的影响比重较大,所以农业指标比例越大的,其易损性也越大,并且与人口密集程度密切相关,故承载体主要考虑江苏省耕地比重和人口密度;防灾抗灾能力主要为灾害后的恢复能力和承灾体的抗压能力以及预测防范能力,地区经济水平,科技实力,教育水平等的因素越优秀,其灾后恢复、抗压、灾情预测能力就越强.故防灾抗灾能力主要考虑到江苏省各地区的人均 GDP、医疗卫生投入.综上所述,建立起低温灾害风险评价指标体系,见图 2.

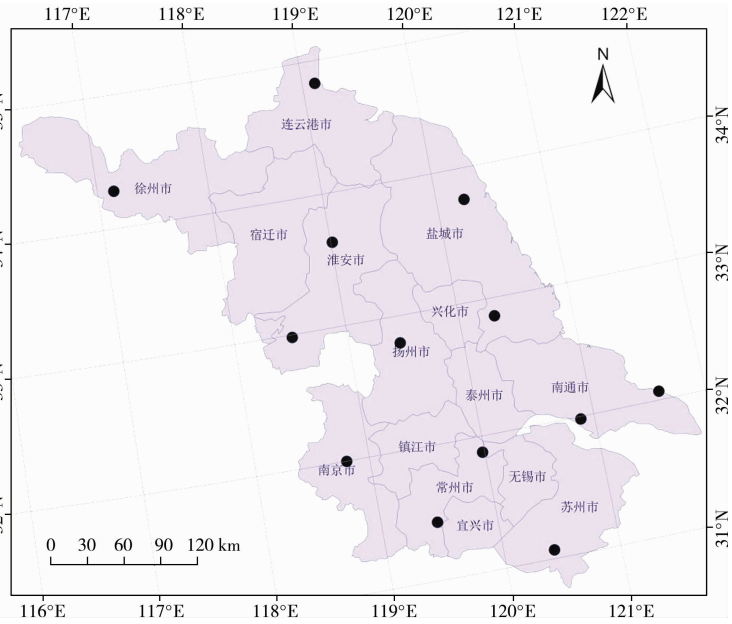


图 1 江苏省行政区划及气象站点分布图

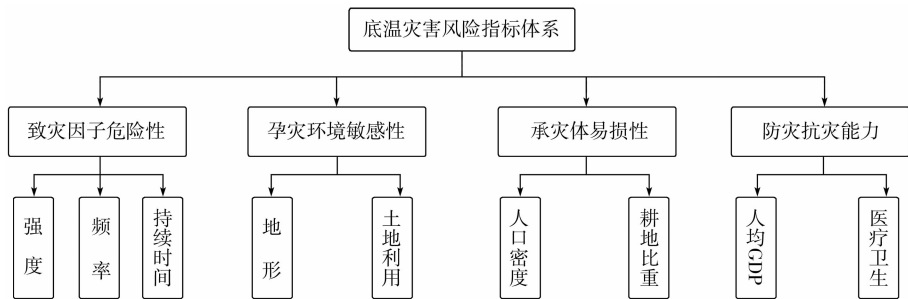


图 2 低温灾害风险指标体系

表 2 相对重要性比例标度值

重要性	绝对重要	很重要	重要	略重要	同样重要	略不重要	不重要	很不重要	绝对不重要
标度值	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9

注:以上两种判断之间的折中状态对应的标度值分别为 8、6、4、2、1/2、1/4、1/6、1/8.

(1) 致灾因子危险性

(2) 孕灾环境敏感性

致灾因子危险性	低温强度	频率	持续时间	权重
低温强度	1.0000	3.0000	5.0000	0.6370
频率	0.3333	1.0000	3.0000	0.2583
持续时间	0.2000	0.3333	1.0000	0.1047

孕灾环境敏感性	地形	土地利用	权重
地形	1.0000	0.2500	0.2000
土地利用	4.0000	1.0000	0.8000

注:一致性比率 $CR=0.0370$.

注:一致性比率 $CR=0$.

(3) 承灾体易损性

(4) 防灾抗灾能力

承灾体易损性	人口密度	耕地比重	权重
人口密度	1.0000	3.0000	0.7500
耕地比重	0.3333	1.0000	0.2500

防灾抗灾能力	人均 GDP	医疗卫生	权重
人均 GDP	1.0000	5.0000	0.83333
医疗卫生	0.2000	1.0000	0.16667

注:一致性比率 $CR=0$.

注:一致性比率 $CR=0$.

对上述 4 个灾害风险影响因素的权重,即 w_d 、 w_p 、 w_b 、 w_r ,运用判断矩阵进行一致性检验并且确定权重值.过程中运用到 yaahp 层次分析法软件;由专家对 D 、 P 、 B 、 R 通过两两比较确定重要程度,根据相对重要性的比例标度(表 2),建立起判断矩阵后,由软件计算得出它们的权重(表 3).通过软件 yaahp 计算,得到模型中各要素权重,确定的权重全部满足一致性检验.

表 3 江苏省低温灾害风险各影响因子判断矩阵及权重

影响因子	致灾因子危险性	孕灾环境敏感性	承灾体易损性	防灾抗灾能力	权重
致灾因子危险性	1.0000	5.0000	6.0000	9.0000	0.6449
孕灾环境敏感性	0.2000	1.0000	2.0000	6.0000	0.1980
承灾体易损性	0.1667	0.5000	1.0000	3.0000	0.1125
防灾抗灾能力	0.1111	0.1667	0.3333	1.0000	0.0446

注:一致性比率 $CR=0.0420$.

经 AHP 层次分析法、归一化方法、加权综合评价法这 3 种数据处理方法对选取的指标体系进行权重赋值、数据极差标准化和加权求和.最后利用 ArcGIS 的空间克里金插值、空间重分类、投影变换、栅格计算、重采样、空间叠加分析等功能绘制风险区划图.四种气象灾害分析评价因子见表 4,最终确定的风险影响因素权重如表 5 所示.由于选用的数据多量纲,不能直接进行加权处理,故对各项底层要素指标进行极差标准化处理.极差标准化可表示为

$$Z_{ij} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}}, \quad (2)$$

其中 Z_{ij} 为底层要素指标的标准化值, X_{ij} 为该要素数据集合中第 i 行、第 j 列的元素, $\max\{X_j\}$ 为第 j 行中的最大值, $\min\{X_j\}$ 为第 j 行中的最小值.经过这种方法处理后所得的新数据,各要素的极大值为 1,极小值为 0.5,其它要素数值位于 $[0.5, 1]$ 中.

表 4 江苏省气象灾害风险评估因子

气象灾害种类	致灾因子	孕灾环境	承灾体	防灾抗灾能力
低温	强度、频率、持续时间	土地利用、海拔	耕地面积、人口密度	医疗机构数量、人均 GDP
高温	强度、频率、持续时间	土地利用、河网密度、海拔	耕地面积、人口密度	医疗机构数量、财政收入、人均 GDP
洪涝	强度、频率、持续时间	土地利用、河网密度、海拔	耕地面积、人口密度、人均 GDP	医疗机构数量、财政收入、农民人均收入
干旱	中等干旱、严重干旱、极端干旱	河网密度、植被指数、海拔	耕地面积、人口密度、	医疗机构数量、财政收入、农民人均收入、人均 GDP

表 5 江苏省气象灾害风险影响因素权重

气象灾害种类	致灾因子	孕灾环境	承灾体	防灾抗灾能力
低温	0.6449	0.1980	0.1125	0.0446
高温	0.6462	0.0901	0.0882	0.1755
洪涝	0.6220	0.1309	0.1105	0.1366
干旱	0.5226	0.2403	0.1261	0.1109

2 结果与分析

2.1 低温

江苏省低温灾害评价因子栅格图如图 3 所示.低温致灾危险性由西北向东南方向递减,如图 4(a);高危险区主要分布在江苏北部地区,包括徐州大部、淮安大部、宿迁大部和连云港,如图 4(a);次高危险区主要包括南京六合区北部、淮安南部、扬州北部和盐城北部;中等危险区包括南京大部、泰州南部、镇江和扬州、盐城中部和泰州北部;低危险区包括无锡、苏州和南通南部.低温灾害敏感性较低的区域主要为河流、湖泊及周边地区,这主要是因为水的比热容较大,对寒潮灾害有一定的缓解作用.低温会对农作物作物造成减产或绝产,因此土地利用类型中的耕地敏感性较大,如图 4(b).江苏省人口密度大的城镇地区承灾体易损性指数较高,所以各市的城镇地区均为高易损区;高易损区主要分布在淮安中部、南京中部以及绝大多数城镇地区,如图 4(c).低温灾害高防灾能力主要分布在拥有医科类大学的城市,如南京,无锡,苏州,南通等地,如图 4(d).江苏省遭受低温灾害的风险大致由东南向西北呈递增趋势,如图 4(e).苏北地区的低温灾害风险性最大,其次

为苏中地区,苏南地区风险性最小.此外,亦可明显看出湖泊等水体区域的低温风险等级比周围陆地低.

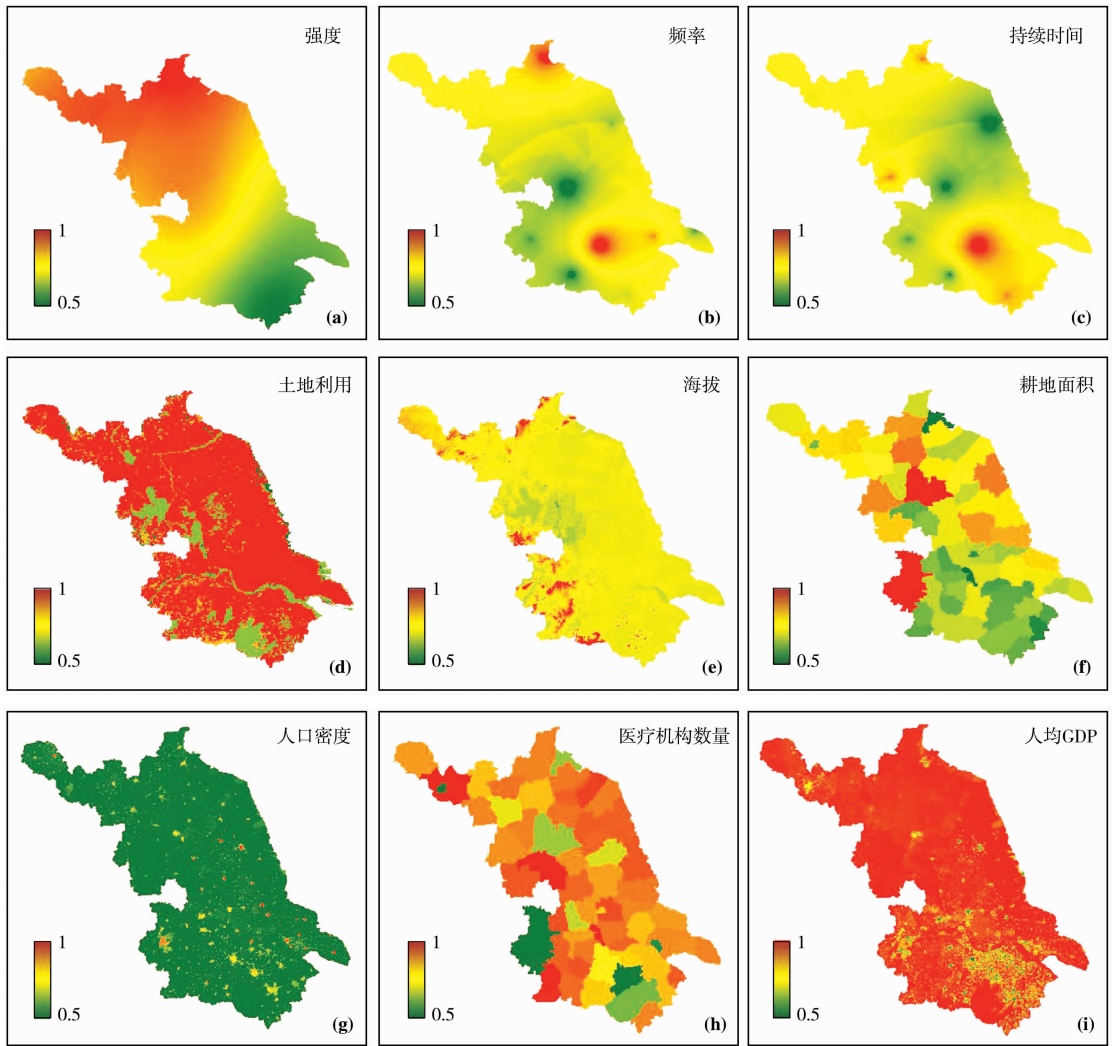


图 3 江苏省低温灾害各影响因子栅格图

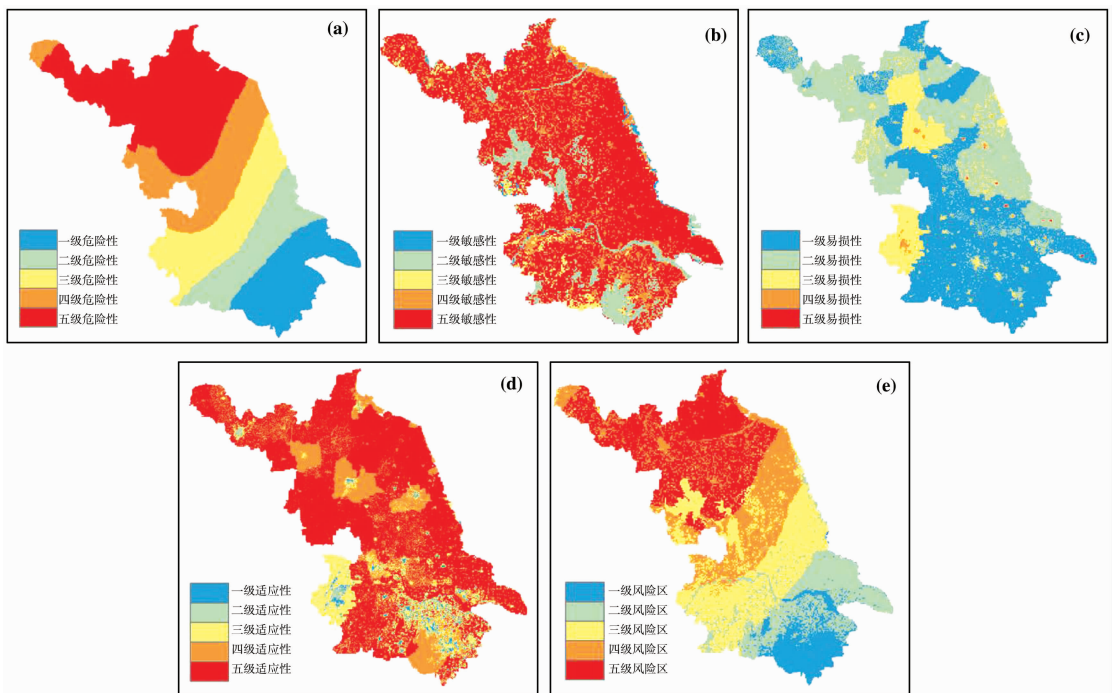


图 4 江苏省低温灾害风险等级区划图(a)致灾危险性,(b)孕灾敏感性;(c)承灾易损性,(d)防灾适应性,(e)气候灾害风险

2.2 高温

江苏省高温灾害评价因子栅格图如图 5 所示. 高温致灾因子危险性指数整体上表现为南高北低变化如图 6(a). 以苏州、无锡等经济发达市为主的苏南地区是高温五级危险性分布地, 四级、三级危险性区域主要分布于苏中地区, 而以连云港为代表的苏北地区致灾因子危险性最小. 京杭大运河、太湖、洪泽湖周边地区孕灾因子敏感性较低, 这主要得益于密集的河网水系; 南京小部分地区孕灾因子敏感性较低, 则是由于相对较高的海拔所致; 而江苏其他区域, 由于海拔高度低、降水虽然丰富但河网密度相对较小, 而导致孕灾因子敏感性较高, 易发生高温灾害如图 6(b). 高温催生低湿, 会对苏北地区的小麦、玉米等植株体的呼吸作用强烈, 减少有机质的合成, 分解消耗大量的有机营养, 高温还能使植株体内酶活性降低, 光合作用下降, 导致产量下降, 所以农田地区孕灾环境较为敏感如图 6(b). 江苏省高温易损性指数较高的地区多为经济发达的南京、苏州、无锡等城市市区如图 6(c), 这主要是由于城市人口密集, 交通车辆拥堵, 排放热量大, 促进高温天气的产生; 并且城市中大量的居民建筑和工矿用地, 易造成城市热岛效应. 因而经济发达城市及其周边区

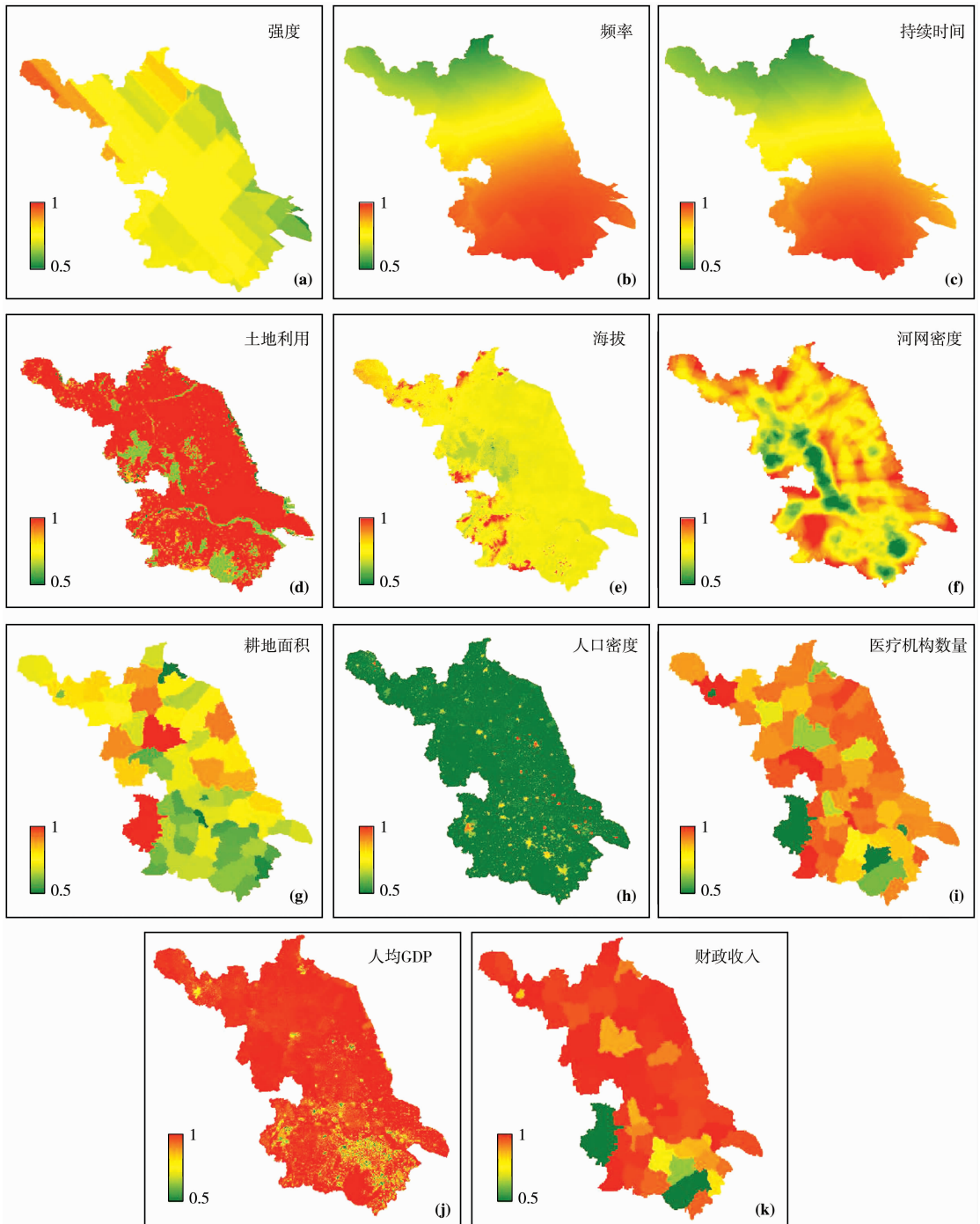


图 5 江苏省高温灾害各影响因子栅格图

域,易损性指数较高.其他区域,由于人口密度相对较小,土地利用类型多为耕地、林地、水域等,导致易损性指数较低.南京、苏州、无锡等经济发达市及其他市市区的高温适应数指数较高如图 6(d),这主要得益于较高的公共财政收入、较高的 GDP 和众多的医疗机构数量.高温灾害风险性最大的地区位于苏州市、南京市和无锡市,苏南地区其他城市的高温灾害风险性紧随其后;苏北相对较低人口密度、广阔的林地及耕地,导致高温灾害风险相对较低如图 6(e).

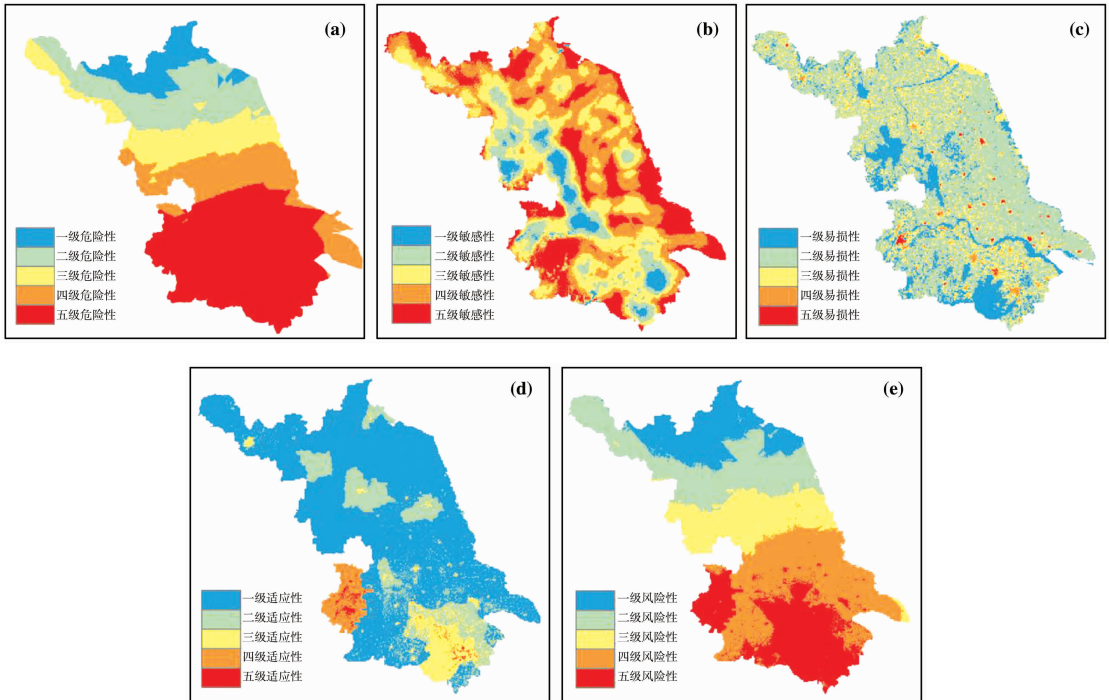


图 6 江苏省高温灾害风险等级区划图(a)致灾危险性,(b)孕灾敏感性,(c)承灾易损性,(d)防灾适应性,(e)气候灾害风险

2.3 洪涝

江苏省洪涝评价因子栅格化图见图 7.连云港、宿迁,淮安、盐城北部、以及苏中部分地区属于洪涝灾害高风险地区如图 8(a),苏南大部分地区危险性较低,苏南苏北差距明显.河网密集地区洪涝孕灾因子敏感性较高,例如京杭大运河以及太湖周边地区见图 8(b).洪涝灾害承灾体易损性与当地人口密度以及经济发达程度密切相关如图 8(c),城市的经济相比农村地区发达,因此,高易损性地区主要集中在城市地区.江苏省洪涝灾害抗灾能力最高的地区集中在苏南,主要分布在南京、无锡、苏州,其次是淮安、镇江、盐城和南通部分地区抗灾能力较强如图 8(d).苏北地区经济欠发达、耕地比重大、抗灾能力较弱,洪涝风险较大的地区主要集中在苏北如图 8(e).由于孕灾敏感性较高,长江沿线洪涝风险也较高.风险性最低的地区分散在徐州西部,苏州、无锡以及南通东南部,而扬州、镇江、泰州以及南通北部属于中度风险地区.

2.4 干旱

江苏省干旱评价因子栅格化图见图 9.干旱致灾因子的危险性大致是从南向北递增,盐城、泰州和南通的部分区域以及徐州西北小部分地区危险性最低,而宿迁和淮安西部地区危险性最高如图 10(a).河网密度及植被指数越高,孕灾因子的敏感性就越低,因此京杭大运河以及太湖周边地区干旱敏感性较低如图 10(b).因干旱造成城市供水不足,将严重影响居民生活质量,还给企业生产造成困难.苏北地区干旱易损性普遍大于苏南地区,经济发达、人口密集的城市旱灾易损较大如图 10(c).医疗机构数量多、财政收入高、农民人均收入高的苏南地区,例如南京、无锡部分区域具有较强的干旱防灾减灾能力,而苏北地区防灾抗灾能力普遍较弱如图 10(d).从干旱灾害风险等级区划图可以看出徐州、宿迁、连云港及淮安的综合风险值最大,苏南大部分地区以及扬州、泰州、盐城的部分地区干旱灾害风险较小如图 10(e).

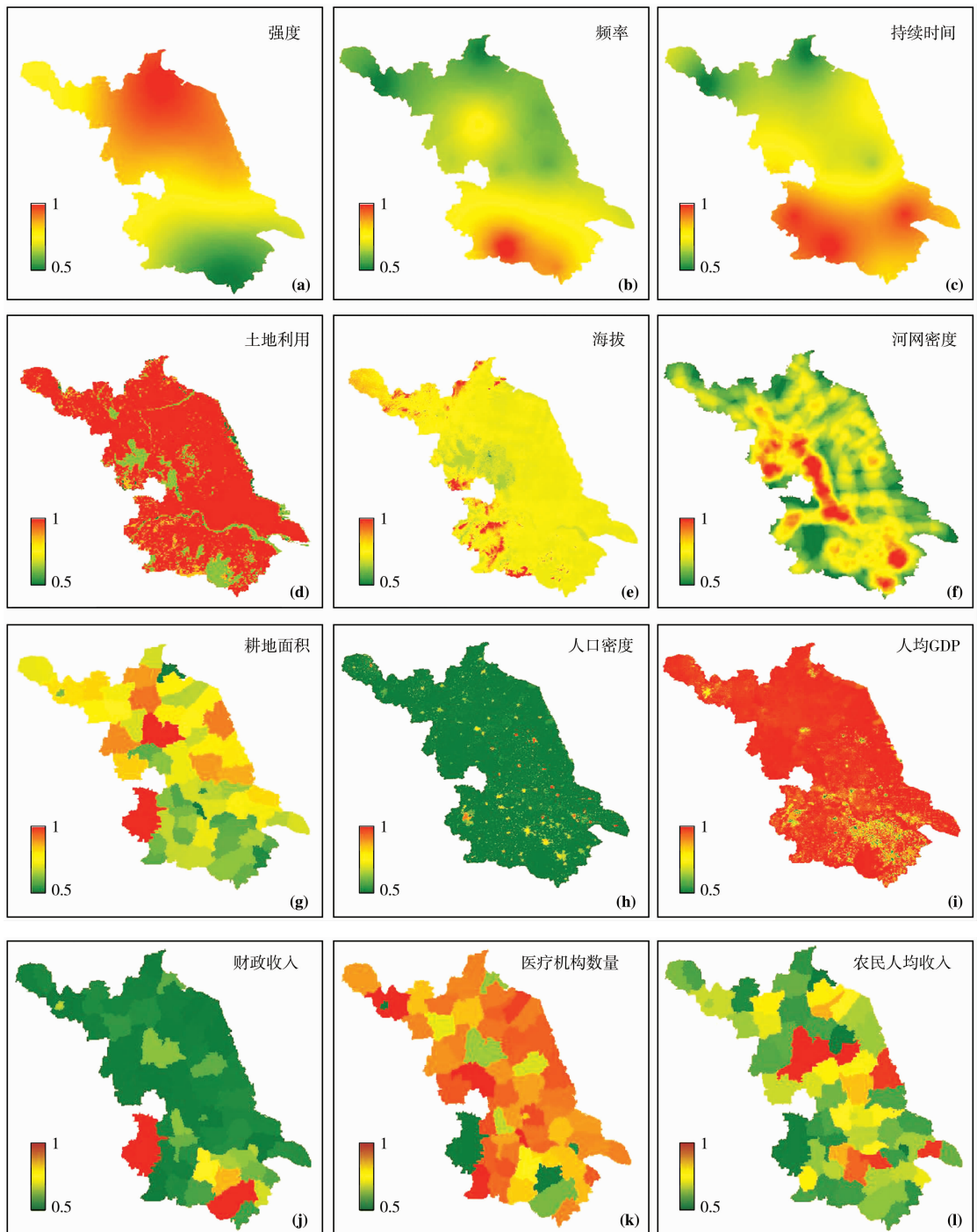
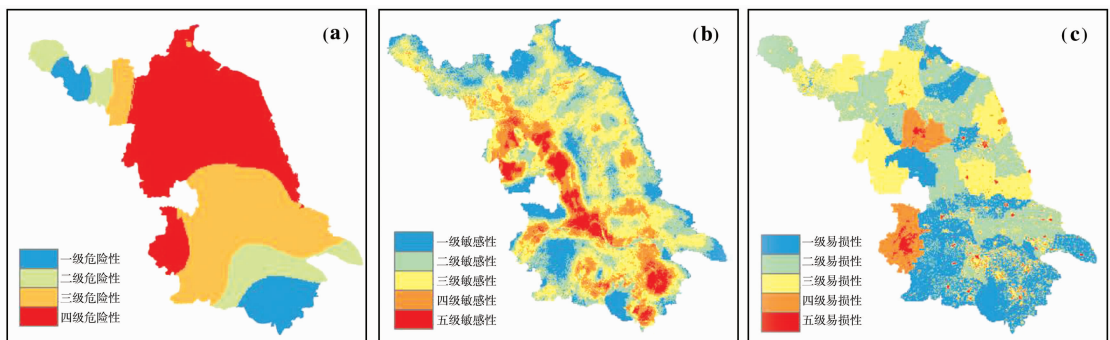


图7 江苏省洪涝灾害影响因子栅格图



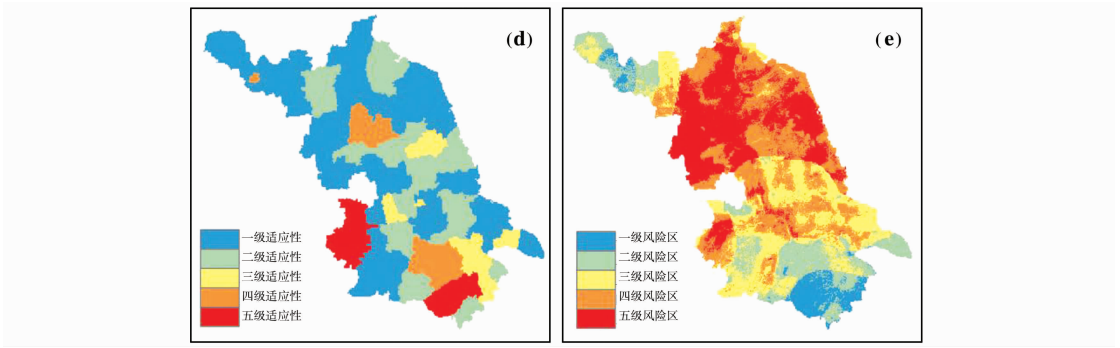


图 8 江苏省洪涝灾害风险等级区划图(a)致灾危险性;(b)孕灾敏感性;
(c)承灾易损性;(d)防灾适应性;(e)气候灾害风险

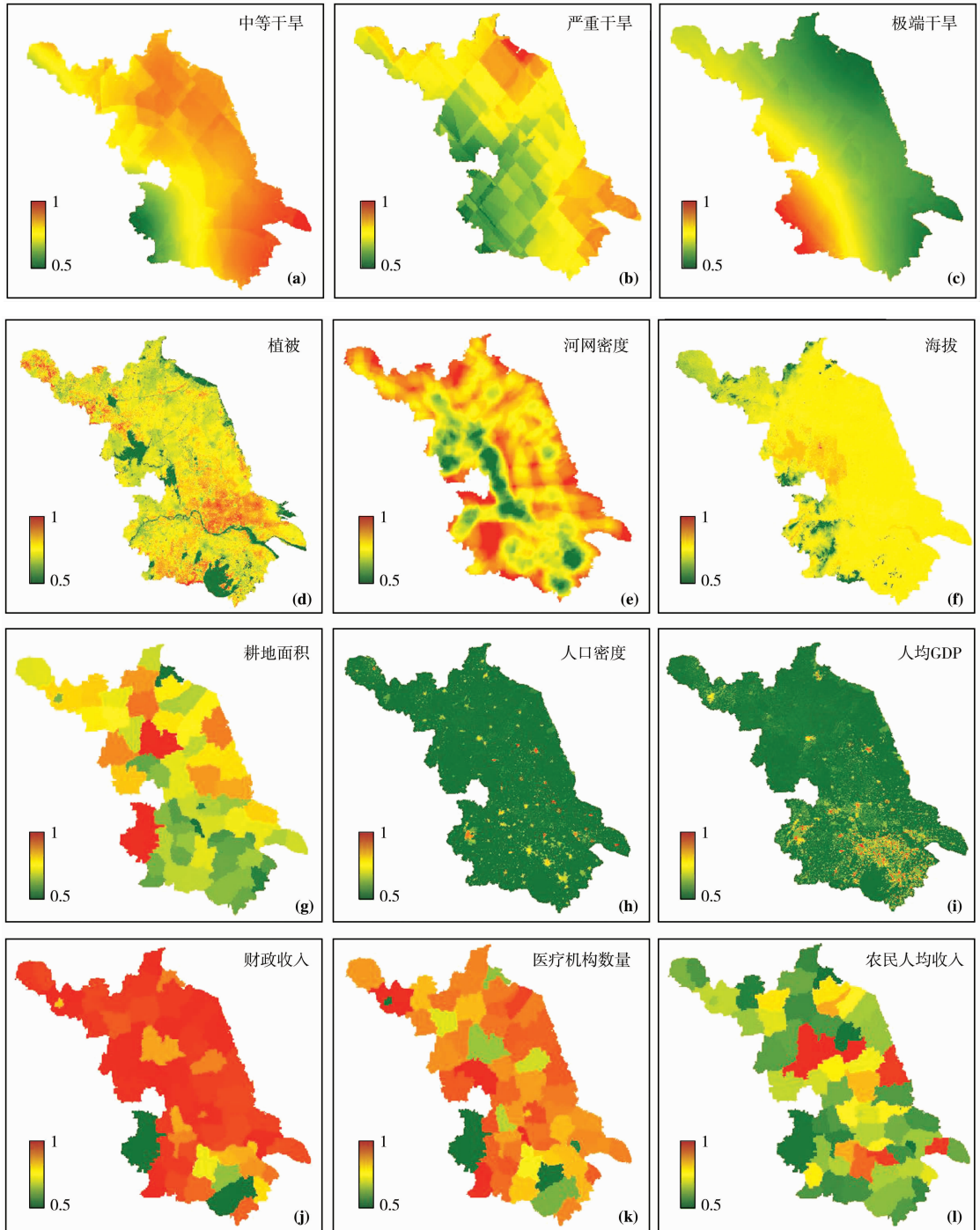


图 9 江苏省干旱灾害各影响因子图及区划

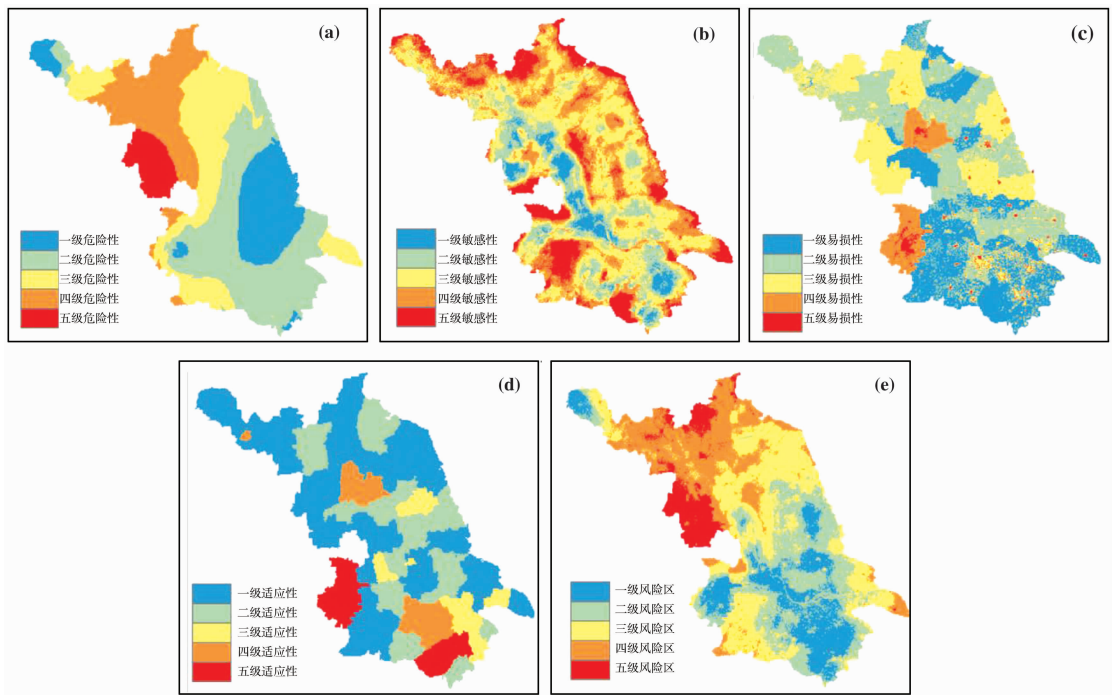


图 10 江苏省干旱灾害风险等级区划图(a):致灾危险性;(b):孕灾敏感性;
(c):承灾易损性;(d):防灾适应性;(e):气候灾害风险

3 结论与讨论

本文从自然灾害理论出发对气象灾害的致灾因子、孕灾环境因子、承灾体因子、防灾减灾能力因子进行分析,采用层次分析法(AHP)分别建立了江苏省高温、低温、干旱、洪涝灾害风险评价模型,并使用 ArcGIS 进行空间分析和加权处理,得到了江苏省气象灾害风险栅格图,进而实现对江苏省气象灾害风险评价和区划.结合 GIS 技术绘制的江苏省气象灾害风险等级区划图,通过与气象灾害资料对比,所绘风险区划图基本符合实际,具有参考价值.江苏省高温风险由南向北递降,苏南地区风险最大,其次为苏中地区,苏北地区风险最小.低温风险与高温风险相反,苏北地区风险最大,苏中地区风险中等,苏南地区风险最小.从洪涝风险区划的结果可以看出,洪涝风险性较大的地区主要集中在苏北,尤其是连云港、宿迁、淮安以及盐城北部,南通北部,扬州、泰州部分地区为中度风险区,风险性最低的地区分散在徐州东部,苏州以及南通东南部.干旱风险大致从南向北增加,风险性较大的区域集中在苏北地区,主要为宿迁、淮安、徐州东部及连云港,风险性较低的区域集中在苏南及苏中地区,主要为苏州、无锡、泰州以及南京、盐城、南通部分区域.风险空间分布图与致灾因子危险性分布图大体一致,这说明在四个影响因子中危险性直接影响气象灾害风险的大小和空间分布,是气象灾害风险评估的主体.从致灾因子危险区出发,应对气象灾害应该进行及时、准确、全面的灾害监测和预警.孕灾环境对致灾因子强度具有放大和缩小作用,孕灾环境敏感性各区县分布不均,大部分市区和农业地区暴露程度较高.增加绿化植被,可以减少区域暴露性,降低脆弱性,是地方政府及民众在应对自然灾害过程中关注的重点.成灾体的易损性主要与本地区的人口密度、经济发达程度及耕地面积有关.在发生气象灾害时,人口密度大、经济发达及农业区易损性相对较高,因此应该合理进行生产生活分配和合理调整农业结构.城市和经济较发达地区防灾减灾能力较高,越能够适应灾害的发生,即在发生气象灾害时,有足够的经济支持来应对灾害造成的损失.例如,针对暴雨洪涝灾害,加大水利设施建设,提高堤坝的防洪标准,制定防洪预案和应急计划,增加雨水管网的分布,加大排水管网的泄水能力,加强广场与道路的透水性,提高城市绿化覆盖面积等,这些都是通过提升防灾减灾能力来减少成灾体易损性的措施.气象灾害风险由不同因子构成,危险性、暴露性以及承载体易损性和适应性因子不同,即使是同一级风险指数,造成风险的原因也是不

同的,因此在制定防灾减灾对策时应具体情况具体分析。

本文所得气象灾害区划图可为江苏省防灾减灾提供决策参考,但本文亦存在以下问题:(1)从致灾因子危险性、承灾体易损性和孕灾环境敏感性以及防灾减灾能力四个方面对气象灾害风险进行评价,其要素和指标的确定和归类都存在各种不确定性。气象灾害评价因子的选取目前还没有一个既定的选取原则,由于数据获取原因,选取的部分因子可能并不是风险评估模型的最合理因子;(2)获取的统计数据基于县、市尺度,栅格化数据过程中会导致空间差异减少,并不能真实反映经济变量的真实空间分布;灾害风险区划涉及的行政区域受到资料限制无法细化到行政村,且灾害方面的数据由于统计标准、口径不一致,利用难度较大;(3)采用专家打分法和 AHP 方法对模型权重进行确定,具有较大的主观性,可能会导致准确性偏差很大;(4)本文仅对气象灾害风险进行了静态评估,并未考虑风险值的年际变化,今后要加强对风险的动态评估。以上四个问题亦是灾害风险评估中的共性问题,今后的研究将主要针对以上问题展开。

参 考 文 献

- [1] Donat M G, Lowry A L, Alexander L V, et al. More extreme precipitation in the worlds dry and wet regions[J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(5):508-513.
- [2] 杨光义,焦旭东. 全球变化对南太平洋岛国图瓦卢的影响分析[J]. *聊城大学学报(自然科学版)*, 2016, 29(1):52-58.
- [3] 陈亚宁,王怀军,王志成,等. 西北干旱区极端气候水文事件特征分析[J]. *干旱区地理*, 2017, 40(1):1-9.
- [4] 刘彤,闫天池. 我国的主要气象灾害及其经济损失[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(2):90-95.
- [5] 薛颖,高超,张勋,等. 淮河上游干流径流量对不同气候要素变化的响应研究[J]. *水文*, 2017, 37(3):22-28.
- [6] Scawthorn C, Flores P, Blais N, et al. HAZUS-MH flood loss estimation methodology II Damage and loss assessment[J]. *Natural Hazards Review*, 2006, 7(2):72-81.
- [7] Boliang L, Zhang C, Wan H. Flooding risk assessment of rice production based on information diffusion in Hunan Province[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 63(S1):458-462.
- [8] Stocker T. IPCC, 2013: Technical summary in: climate change 2013: the physical science basis contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change[J]. *Computational Geometry*, 2013, 18(2):95-123.
- [9] 张继权. 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.
- [10] 史培军. 中国自然灾害风险地图集[M]. 北京:科学出版社, 2011.
- [11] 张茜,郭翔,王锐婷,等. 四川省暴雨洪涝灾害风险区划研究[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(26):165-171.
- [12] 柳媛普,王素萍,王劲松,等. 气候变暖背景下西南地区干旱灾害风险评估[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(02):325-336.
- [13] 姜蓝齐,马艳敏,张丽娟,等. 基于 GIS 的黑龙省洪涝灾害风险评估与区划[J]. *自然灾害学报*, 2013, 22(05):238-246.
- [14] 唐为安,田红,杨元建,等. 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*, 2012, 32(3):356-361.
- [15] 徐玉霞. 基于 GIS 的陕西省洪涝灾害风险评估及区划[J]. *灾害学*, 2017, 32(02):103-108.
- [16] 徐玉霞,许小明,马楠. 县域尺度下的陕西省洪涝灾害风险评估及区划[J]. *干旱区地理*, 2018, 41(02):306-313.
- [17] 信志红,薛凯,王俊喜. 东营市寒潮低温灾害风险区划方法探析[J]. *农业灾害研究*, 2013, 3(7):21-24.
- [18] 王志春,包云辉,史玉严. 基于 GIS 的赤峰市干旱灾害风险区划与分析[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(32):271-275.
- [19] 马进. 基于 GIS 的洛阳市高温灾害风险区划[J]. *气象与环境科学*, 2012, 35(4):62-68.
- [20] 缪启龙,陈鑫,俞布,等. 杭州市暴雨洪涝灾害风险区划[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 10(S2):163-168.
- [21] 叶正伟,许有鹏,徐金涛. 江淮地区里下河地区洪涝灾害演变趋势与成灾机理分析[J]. *地理科学*, 2009, 29(6):880-885.
- [22] 包云轩,覃文娜,高苹,等. 江淮地区近 30 年冰雹灾害的时空变化规律[J]. *自然灾害学报*, 2012, 21(5):197-206.
- [23] 黄耀欢,江东,付晶莹. 中国公里网格 GDP 分布数据集. *地理学报*, 2014, 69(增刊):45-48.
- [24] 徐新良. 中国人口空间分布公里网格数据集[EB/OL]. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统, <http://www.resdc.cn/DOI>, 2017. DOI:10.12078/2017121101.

Risk Assessment and Zonation of Meteorological Disasters Based on Rasterization in Jiangsu Province

WANG Huai-jun^{1,2} PAN Ying-ping³ LI Shuai⁴ CHEN Zhong-sheng⁵

ZHAO Zhuo-yi¹ MI Hui-xuan¹

(1. School of Urban and Environmental Sciences, Huaiyin Normal University, Huaian 223300, China; 2. Research Center for Climate change, Ministry of water resources, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. School of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730000, China; 5. School of Land and Resources, China West Normal University, Nanchong 637002, China)

Abstract Under the context of global changes, meteorological disasters such as floods, droughts, high-temperature heat waves and low-temperature freezing happens frequently, resulting in serious damages to agricultural and ecological environment. Meteorological disaster risk assessment and zoning are important parts of disaster assessment and management. In this study, meteorological and hydrological data, basic geographic information data, socio-economic data and disaster data of Jiangsu Province were collected to analyze meteorological disasters (flood, drought, high temperature heat wave and low temperature freezing). Considering of disaster-causing factors, the sensitivity of disaster environment, the vulnerability of disaster bearing body, and the ability of disaster resistance, the regional differences of disaster risk in Jiangsu province were comprehensively evaluated. The weight of each index was given by Analytic Hierarchy Process (AHP), and the risk division was realized by GIS spatial analysis. Results show that: (1) high temperature disasters caused the greatest and lowest risk in southern and northern Jiangsu, respectively; (2) the risk of low temperature disasters descends from north to south, the area with higher risk is located in northern, and the area with low risk is distributed in southern; (3) The high-risk areas for flood disasters are mainly located in the northern Jiangsu Province, especially in Huai'an, Suqian, Lianyungang and Yancheng. Wuxi, Zhenjiang, Yangzhou and Nantong are the areas with central risk, while low-risk areas are mainly distributed in western Xuzhou, Suzhou and southeast of Nantong; (4) Drought Risk increases from southern to northern in Jiangsu. The areas with the greatest risk of drought are Suqian, western Lianyungang and eastern Xuzhou, and the low-risk areas of drought are located in Suzhou, Wuxi, Zhenjiang, Taizhou and northern Nantong. Results of risk zoning can directly reflect the regional differences of meteorological disasters, it is consistent with the spatial distribution of disaster-causing factors. Therefore, comprehensive and accurate forecast of meteorological disasters is the main part of disaster prevention and mitigation. Meanwhile, measures should be taken to reduce the sensitivity of disaster environment, the vulnerability of disaster bearing body improve our ability to prevent and mitigate natural disaster. This paper not only provide research methods for meteorological disaster risk assessment, but also give reference for disaster prevention and mitigation in Jiangsu Province.

Key words climate disasters; risk assessment and zoning; AHP; Jiangsu province