

# 考虑防灾减灾能力的洪涝灾害灾损率曲线构建 ——以里下河地区的李中镇为例

吴先华<sup>1,2\*</sup>, 周 蕾<sup>2</sup>, 高 歌<sup>1,3</sup>, 吉中会<sup>1,2</sup>, 郭 际<sup>1,2</sup>

(1. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044;  
2. 南京信息工程大学经济管理学院, 南京 210044; 3. 国家气候中心, 北京 100081)

**摘 要:**作为恢复力的重要内容之一, 承灾体的防灾减灾能力是评估灾害经济损失的重要参考因素。根据在里下河地区李中镇调研所得数据, 绘制初始灾损率散点图, 构建了初始灾损率曲线; 然后考虑防灾减灾能力因素, 绘制实际的灾损率散点图和拟合曲线。结果显示: ①在0.05的显著性水平下, 住宅区、工业区、商业区、公共设施区和农业区五类承灾体财产的淹没水深与灾损率均存在幂函数关系。②考虑防灾减灾能力因素后, 洪涝灾害对不同承灾体的经济损失有所减少。住宅区财产在淹没水深3 m时经济损失减少了34%, 工业区在2 m时经济损失减少了17%, 商业区在3 m时经济损失减少了24%, 公共设施部门在2 m时经济损失减少了11%。防灾减灾能力因素对住宅区洪涝灾害经济损失的影响更加明显。本文作为有关灾损率曲线研究的有益补充, 结果可为类似地区城镇的防灾减灾决策及灾害风险管理提供参考。

**关键词:**洪涝灾害; 防灾减灾能力; 灾损率曲线; 里下河地区; 中国

## 1 引言

随着全球气候变化, 极端天气事件发生的频率增大。同时, 中国城镇化快速推进, 而城镇管网的规划与建设相对滞后, 雨水不能及时导流、外排, 导致内涝灾害频繁发生, 有的城镇甚至“逢雨必涝”, 带来巨大的经济损失, 引发社会各界的广泛关注。如2012年的北京“7.21暴雨”、2014年的深圳“5.30暴雨”等。如何评估暴雨洪涝造成的经济损失, 提出相应的防灾减灾及风险管理对策, 具有重要的理论价值和现实意义。

灾损率曲线是评估经济损失的有效工具(石勇等, 2009)。而在构建灾损(率)曲线时, 水深是决定洪灾(率)的最主要因素(Kelman, 2003)。国内外已有许多机构和学者开展了类似的研究。如英国的Dutta等(2003)、美国的United States Army Corps of

Engineers(1985)等。有的中国学者采用地方统计年鉴, 结合中国的国情, 修正和引用了其他国家和地区成熟的脆弱性曲线。如石勇(2010)、尹占娥等(2010)、刘耀龙等(2011)、董姝娜等(2012)等, 但国内学者研究的样本数量较少, 不能反映不同类型承灾体的特征, 覆盖面远远不够。总体来看, 目前针对城镇内涝的灾损率曲线研究较少, 这与城镇洪涝灾害事件急剧增加的现实并不相称。原因可能在于城镇内涝的历史灾情数据量少、不够细化和精确, 且城镇承灾体较为分散、种类繁多, 采用实地调查的方法将耗费大量的人力、物力和时间, 加大了调研和统计分析的难度。

值得一提的是, 以上关于灾损率曲线的研究, 基本没有考虑承灾体的防灾减灾能力。Turner等(2003)和石勇等(2011)认为, 防灾减灾能力是恢复力的重要内容, 属于广义脆弱性的重要组成部分。Ti-

收稿日期: 2015-06; 修订日期: 2015-10。

基金项目: 国家自然科学基金项目(71373131, 91546117, 41501555); 国家公益性行业科研专项(GYHY201506051) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.71373131, No.91546117, No.41501555; National Nonprofit Industry Research Project, No.GYHY201506051]。

作者简介: 吴先华(1977-), 男, 湖北荆州人, 教授, 博导, 从事气象灾害管理、产业系统分析研究, E-mail: wxhua\_77@nuist.edu.cn。

引用格式: 吴先华, 周蕾, 高歌, 等. 2016. 考虑防灾减灾能力的洪涝灾害灾损率曲线构建: 以里下河地区的李中镇为例[J]. 地理科学进展, 35(2): 223-231. [Wu X H, Zhou L, Gao G, et al. 2016. Flood depth-damage curves for urban properties considering disaster prevention and mitigation capabilities: Evidence from Lizhong Town, Lixiahe region, China[J]. Progress in Geography, 35(2): 223-231.].

DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.02.009

wari(2015)认为,防灾减灾能力是指承灾体面临灾害的威胁时,调动社区各类资源、抵御灾害、减少直接损失、恢复正常秩序的一种内生性能力(endogenous capability),是恢复力中更直接、更狭义的概念。因此,在构建灾损率曲线时,承灾体的防灾减灾能力是应予以考虑的重要内容。

从目前的视野范围来看,关于承灾体减灾能力的评估可分为两大类:一是定量评估,主要通过构建指标体系和模型,评估减灾能力对灾害经济损失的影响。如Jin等(2015)构建了六个指标评估防灾减灾能力,然后采用模糊层次分析法评估了淮河流域的洪灾风险;黄大鹏等(2011)设置了防洪除涝能力、抢险救灾与恢复重建能力、灾害管理能力四个方面的指标,采用层次分析法评估了淮河流域洪涝灾害的防灾减灾能力;胡俊锋等(2013)构建了区域综合减灾能力的评价指标体系,采用层次分析法和人工神经网络两种方法对江西省各市的综合防灾减灾能力进行了评估等等。二是定性评估。如Mavhura等(2013)通过对120户家庭进行入户访谈,细述了洪水来临时当地居民如何运用本土知识(indigenous knowledge)救助社区居民生命、室内财产、谷物和家禽等,探索构建本土知识体系来应对洪水以增强社区的防灾减灾能力;Naumann等(2010)在构建房屋建筑灾损曲线的基础上考虑增强防灾减灾能力,如增强建筑的结构,将脆弱性物件转移到更高楼层等,以分析防灾减灾能力因素对灾损率曲线

的影响;Ikeda等(2011)采用事件情景分析法,以日本的藤泽市等为案例,分析了本地能力社会灾害风险信息(DRIP)在社区减灾中的作用等。在定量评估中,由于指标、权重和计算方法不确定,结果也出现较大差异。定性方法能够分类刻画社会、组织和个体的防灾减灾能力,更好地洞察防灾减灾能力的本质,具有较好的说服力。因此采用向住户调研的方法,有助于评估防灾减灾能力对评估结果的影响。

综上,本文在考虑防灾减灾能力因素的城镇洪涝灾损率曲线构建中,以江苏里下河地区地势最为低洼的城镇之一——李中镇为研究对象,通过实地调研确定不同承灾体在不同淹没水深下的灾损率,拟合灾损率曲线;然后通过问卷调研评估防灾减灾能力对不同承灾体灾损率曲线的影响,并构建新的灾损率曲线。

## 2 研究区概况

里下河地区位于江苏省中部,是以兴化市为中心的一碟形平原洼地,在行政区划上包括淮安、盐城、泰州、扬州及南通的部分地区(图1)。里下河腹部地区地势四周高、中间低,自西向东、自北向南地势渐低,地形坡度小于1/6000,水网交错,地势低洼,素有“水乡泽国”之称。腹部地区有溱潼、兴化、建湖三大洼地,地面高程仅1.0~1.5 m(废黄河口基

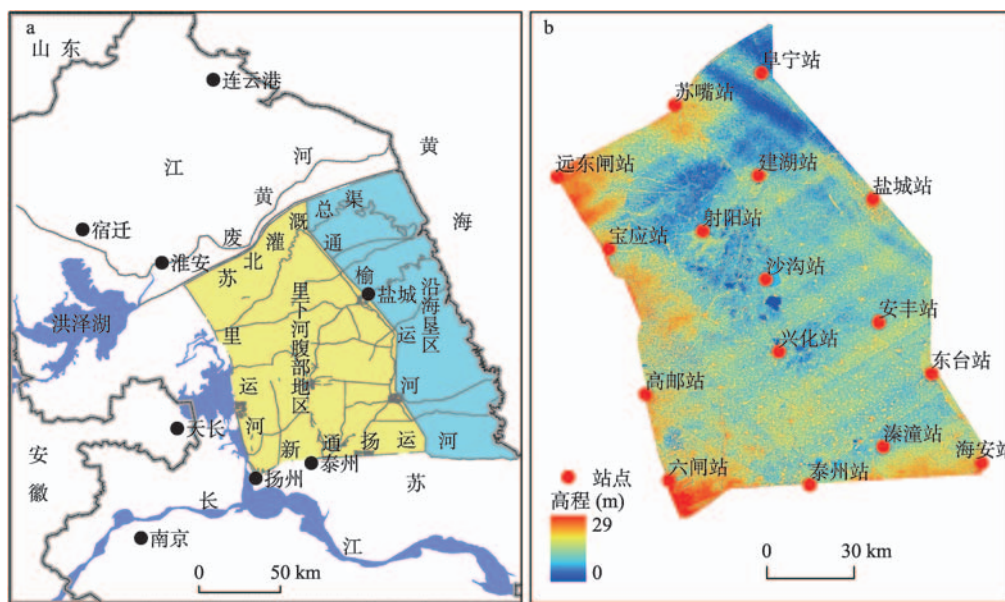


图1 里下河地理位置(a)与里下河腹部地区DEM及站点分布(b)(叶正伟等, 2011)

Fig.1 Location of the Lixiahe region (a) and DEM and station distribution (b) (Ye et al, 2011)

面)。季风气候明显,且受一定程度的海洋性气候影响,多年平均降雨量 1025 mm。里下河腹部地区多受梅雨和台风暴雨影响(田辉等, 1998; 叶正伟等, 2009),汛期 5-9 月降雨量约占全年的 70%,是历史上洪涝灾害多发地区。1954 年、1991 年、2003 年和 2006 年的长历时梅雨和 1962 年、1965 年台风暴雨时都出现了严重洪涝灾害(陈锡林等, 2008; 叶正伟等, 2011)<sup>①</sup>。

兴化市位于江苏省中部,里下河地区腹部。李中镇位于兴化市的西北部(图 2),是兴化市海拔高度最低区域,面积为 80.27 km<sup>2</sup>,辖 15 个行政村,人口密度约 400 人/km<sup>2</sup>,2014 年人均 GDP 约为 2.74 万元。影响该城镇防灾减灾能力的有利因素为:产业结构相对简单,工商业规模不大;建筑物结构以砖混为主,具有一定的防洪性能。不利因素为:经济收入较低,人口密度偏高;青壮年多进城务工,当地老弱留守人员多,防灾减灾能力较差;农业种植品种较多,该地区水系发达,鱼虾养殖业面积大,一旦受洪灾冲击,生产恢复难度大。

### 3 情景、数据与评估方法

#### 3.1 灾害情景

由于缺乏李中镇历史灾情数据库,且近年来未发生典型的洪涝灾害,难以进行灾后的实地调研,所以借鉴 Coto(2002)、Dutta 等(2003)、Kleist(2006)、石勇等(2009)所采用的情景模拟法(Scenario Analy-

sis),以里下河地区 2006 年因梅雨导致的洪涝灾害为参照。

2006 年,里下河区域 6 月 21 日入梅,7 月 12 日出梅,梅雨期长达 22 d。梅雨期间,本区于 6 月 21-24 日、6 月 29 日-7 月 4 日发生两次强降水过程,后一次降水过程造成了涝灾(丁建国等, 2010)。7 月 5 日上午 8 时,李中镇水位猛涨到 2.5 m 左右,大量房屋受淹,楼房一层难以搬动的财物遭受水浸,损失较重。

本次调研以该次洪涝灾害为假设情景。此次灾害因梅雨所导致,可视为缓发性灾害,但由于入梅首日即遭受强降水,且李中镇留守的大多为老弱病残人员,因此兼具突发性灾害的特征。结合对当地住户的访谈,在调研及计算时有以下假设:

(1) 财产转移问题。住宅区的体积大、笨重、不易拆卸的物品如沙发、衣柜、床、空调、电冰箱等归入不可转移物品;工业区的原材料和库存等物品归入不可转移物品;商业区的商品因数量多、较零散,归入不可转移物品;公共设施部门的空调、电冰箱、办公桌椅等物品归入不可转移物品;农作物也归入不可转移物品。

(2) 高程问题。由于李中镇地势低洼、平坦,高程起伏较小,不考虑承灾体的高程差异。另,仅考虑楼房一层(3 m)以下的财物损失。

#### 3.2 数据说明

2014 年 7 月 7 日-11 日,调研小组一行 15 人在地方政府部门的协助下,采用典型抽样的方法搜集数

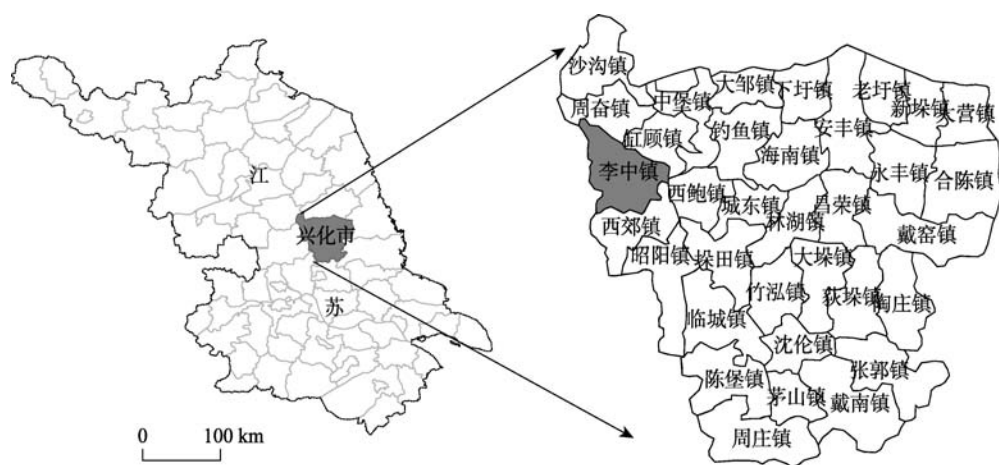


图2 研究区示意图

Fig.2 Location of the study area

<sup>①</sup>缓发性灾害与突发性灾害尚无公认的划分标准。一般而言,长历时梅雨形成的洪涝一般为缓发性灾害,台风暴雨形成的洪涝一般为突发性灾害。但梅雨期间也可能有暴雨过程,如 2006 年发生在里下河流域的梅雨洪涝,在入梅当日(6 月 21 日)即发生强降水过程(丁建国等, 2010)。



据。调研了李中镇的工业区、商铺、学校、政府机关、15个行政村和1个居委会。将承灾体分为住宅区、农林区、工业区、商业区和公共设施区(包括政府、学校、养老院、道路设施等)五大类型,制作了不同的调查问卷,以了解不同类型承灾体在不同淹没水深情景下的财产损失。

对住宅区进行调研时,通过随机抽样调查的方法,面向全镇家庭发放问卷150份,收回有效问卷145份,约占全镇家庭总数的1.5%(全镇按9637户家庭计算)。问卷内容涉及淹没水深、淹没历时、财产类型(主要是生产交通工具、家具、家用电器、日用品及储备用品这五大类财产)、财产价值、各类财产损失、应急处理方法和措施、易转移物品、有无预警。入户调研发现受损的物品主要有彩电、电冰箱、空调、洗衣机等家用电器,衣柜、床、被褥、窗帘,以及小轿车、摩托车、电动车等交通工具。走访了解到,在洪灾过程中,当地建筑物基本没有倒塌,且建筑物多为水泥地面,当地居民基本不需对水淹墙面及地板重新装修,所以没有考虑建筑物的灾损率,主要计算内部财产的灾损率,其他承灾体也是同样情况。

在农林区调研时,通过询问行政村内部的统计人员,获得有效问卷15份。李中镇的农业经济作物主要有水稻、小麦、棉花、玉米、大豆和蔬菜,以及大面积的鱼虾蟹养殖等。问卷内容涉及每个行政村经济作物的占地面积、每亩年投入值、正常情况下每亩年产出值、洪灾年份每亩年产出值的数据。李中镇不同经济作物总面积的数据来自《兴化统计年鉴2012》。

对工商业进行调研时,按不同企业类型分别采集数据,收回有效问卷共34份:工业4份,商业30份。分别占全镇所有工、商业企业的15.38%和50%(全镇有工业26家,商业60家)。受淹的主要有沿街의商店超市、杂货铺、露天搭棚临时售卖点、生产饲料厂、服装厂、木材加工厂。问卷涉及淹没水深、淹没历时、财产类型(主要包括生产经营设备、库存、

交通工具)、财产价值、各类财产损失、应急处理方法和措施、易转移物品、有无预警等。

公共设施包括全镇所有的学校、养老院、医院以及居委会。调研对象为政府和医院的负责人,共收回有效问卷28份。调研内容包括财产类型(主要是一楼的房屋附属物、交通工具、家具、家用电器、设备及办公用品等)、财产价值、各类财产损失、应急处理方法和措施、易转移物品、有无预警等。

调研样本数及其所占比例如表1所示。另外,还调研获取了李中镇近几年的人口数、各产业产值,以及相关的气象资料。

### 3.3 评估方法

可分为以下几步:第一,估算财产的价值总量;第二,估算财产在淹没水深下的损失值,将损失值除以价值总量,得到损失率;第三,以水深为横轴,不同财产的损失率为纵轴,得到不同承灾体的灾损率散点图,利用SPSS统计软件,分别对淹没水深和灾损率两个变量进行相关分析和曲线估计;第四,考虑防灾减灾能力因素后,重新计算不同承灾体的损失率,构建新的灾损率曲线。

除农业外,住宅区、工业区、商业区和公共设施区这4类承灾体依次定义为 $i=1,2,3,4$ ;各承灾体3 m以下的内部物品定义为 $k=1,2,\dots,g^i$ ,其中 $g^i$ 是各承灾体的物品数量。

(1) 第一步:估算所调研的承灾体样本的3 m以下的价值总量

在测算承灾体内部的财产净现值时,一方面参考当时的市场价确定原值,然后采取直线折旧法进行折旧后得到现值。另一方面,通过询问住户得到财产现值的估计值,两相比较,取两者中的最大值。直线折旧法的计算公式如下:

$$N_{sk}^i = N_{sk0}^i \times \left(1 - n_{sk}^i / t_{sk}^i\right) \quad (1)$$

式中:  $N_{sk}^i$  是第 $i$ 个承灾体中第 $s$ 个样本中第 $k$ 个物品(如冰箱)的净值;  $N_{sk0}^i$  是该物品的购买价格;  $n_{sk}^i$  是该物品的折旧年限;  $t_{sk}^i$  是该物品的预期使用年限。各物品的净现值取该物品的净值与该物品现

表1 样本变量的描述

Tab.1 Description of the samples of five types of exposure units

调研类型	统计单元	调研对象	样本数量	总数量	占总体的百分比/%
住宅区	家庭	居民	145	9637	1.50
农业区	行政村	行政村负责人	15	15	100.00
工业区	工厂	工业负责人	4	26	15.38
商业区	零售店铺	商业负责人	30	60	50.00
公共设施区	事业单位	事业单位负责人	28	32	87.50

值估计值的最大值,计算公式如下:

$$P_{sk}^i = \max [N_{sk}^i, M_{sk}^i] \quad (2)$$

式中:  $P_{sk}^i$  是第  $i$  个承灾体中第  $s$  个样本中第  $k$  个物品的现值;  $M_{sk}^i$  是第  $i$  个承灾体中第  $s$  个样本中第  $k$  个物品现值的估计值。

第  $i$  个承灾体中第  $s$  个样本财产价值总量由该样本中各个物品的现值相加得到。

$$T_s^i = \sum_{k=1}^{g_i} P_{sk}^i \quad (3)$$

式中:  $T_s^i$  是第  $i$  类承灾体的第  $s$  个样本的资产值。

(2) 第二步: 计算内部财产在调研水深下损失率

各个承灾体所调研样本的淹没水深记为  $d_s^i$ , 灾损值由该样本中各个物品在该水深下的损失值加总得到。

$$L_s^i = \sum_{k=1}^{g_i} l_{sk}^i \quad (4)$$

式中:  $L_s^i$  是第  $i$  个承灾体中第  $s$  个样本的灾损值;  $l_{sk}^i$  是该样本第  $k$  个物品的灾损值。

承灾体  $i$  在不同水深下的损失率等于其样本在所调研水深下的损失值除以该样本的资产值, 计算公式如下:

$$R_s^i = L_s^i / T_s^i \quad (5)$$

式中:  $R_s^i$  是承灾体  $i$  的样本  $s$  在其调研水深  $d_s^i$  下的损失率。

李中镇是以农业为主的城镇, 洪涝不可避免地给农业生产带来巨大的损失, 通常用受灾面积、成灾面积和成灾率反映农作物受灾情况。由于李中镇除了水稻、小麦等经济作物外, 还存在大面积的鱼虾蟹的养殖, 受灾面积不易统计, 在种植面积以及各经济作物销售价格没有太大变化的情况下, 洪涝影响的主要是各经济作物的产量。本文以年产量来衡量灾损情况。计算公式如下:

$$R_s = \frac{\sum_{c=1}^q P_{sc} y_{sc} A_{sc}}{\sum_{c=1}^q P_{sc} Y_{sc} A_{sc}} \quad (6)$$

式中: 各个经济作物定义为  $c=1, 2, \dots, q$ ,  $q$  是经济作物的数量;  $P_{sc}$  是样本  $s$  中第  $c$  种经济作物单位售价;  $y_{sc}$  是该经济作物的受洪涝影响的单位年产量;  $Y_{sc}$  是正常年份该经济作物的单位年产量;  $A_{sc}$  是该经济作物的种植面积;  $R_s$  是农业样本  $s$  的损失率。

(3) 第三步: 以淹没水深为横轴, 损失率为纵轴, 绘制不同承灾体的灾损率散点图, 利用 SPSS 统计软件, 分别对淹没水深和灾损率两个变量进行相

关分析和曲线估计。

(4) 第四步: 除农业外, 其他承灾体考虑防灾减灾能力因素后, 重新计算不同承灾体的损失率, 构建新的灾损率曲线。

住宅是居民基本生活的保障, 受洪涝灾害的威胁, 居民会自发地积极进行自救和互救, 如转移重要财物(如车辆等交通工具)或易损财物(如家用电器)。通过入户访问了解家庭根据当地实际所采取的洪水防御措施和缓解策略。预防策略主要包括: 垫高房屋地基、增高房屋门槛、修建防洪围堰等。在洪水来临时, 缓解策略包括: 保证人口安全的情况下, 将易遭水浸物品就近或向高处转移。楼房住户通常将物品转移到二楼, 平房住户则将屋内财产转移到高层区域。在问卷中, 设计了这样一道问题: “遇到灾害的时候, 灾民会优先转移哪些财产?” 调研结果发现, 优先转移一些便于移动的财物, 如交通工具、电视机、微波炉、电磁炉、洗衣机、固定电话、床上被褥、粮食、衣物等物品; 有些体积大、笨重、不易拆卸的物品如沙发、衣柜、床、空调、电冰箱等难以转移。在受灾的物品价值中剔除易于转移财物的价值, 重新构建考虑防灾减灾能力因素后的灾损率曲线。

在对工业区进行实际调研时发现, 优先转移的物品包括: 交通运输工具、电脑、电话等。由于每家企业生产类型不一致, 各企业的原材料、库存差异性很大, 在洪水来临时, 有的易于转移, 有的则耗费大量人力、物力和财力, 在洪水来临时难以实施, 且大部分属于后者。将原材料和库存这些物品归入不可转移物品, 再构建考虑防灾减灾能力因素后的灾损率曲线。

商业中库存由于数量多、较零散等特点, 也归入不可转移物品中考虑, 剔除这些不可转移物品的财产后, 重新构建考虑防灾减灾能力因素后的灾损率曲线。

在公共设施部门, 优先转移的产品包括电视、微波炉、电脑、打印机等; 由于空调、电冰箱、办公桌椅等转移工作量大, 在洪灾情况下, 归入不可转移物品。重新构建考虑防灾减灾能力因素后的灾损率曲线。

## 4 结果与分析

### 4.1 相关分析

除去住宅区 22 个淹没水深和灾损率均为 0 的

样本<sup>②</sup>,对123个住宅区样本、4个工业区样本、30个商业区样本、28个公共设施区样本和15个农林区样本的淹没水深和灾损率数据进行相关分析。其中灾损率包括原灾损率及虑防灾减灾能力因素后的灾损率。结果显示,除工业区承灾体的淹没水深与原灾损率之间的相关关系、淹没水深与考虑防灾减灾能力因素后的灾损率之间的相关关系的相伴概率分别为0.214和0.165(均大于0.05)外,其余承灾体的相伴概率均小于0.01,通过双侧检验,即显著性水平为0.01时,淹没水深和承灾体的灾损率存在正相关关系,具体如表2所示。

4.2 回归分析

对样本数据进行回归分析,比较发现,乘幂函数最能反映样本的淹没水深和灾损率之间关系,在0.05的显著性水平上,各函数都通过了统计检验。由于洪涝灾害发生对农作物影响大,发生暴雨时村民难以开展农作物的自救工作,所以在估算农业区承灾体的灾损率时,未考虑防灾减灾能力因素。结果如图3所示。

将各承灾体的初始灾损率减去考虑防灾减灾能力后的灾损率,得到灾损率差值。该值反映承灾体在不同水深时的防灾减灾效果。差值越大,说明承灾体的防灾减灾效果越明显,反之越不明显。随着水深的增加,差值不断变大,因为随着水深增加,且灾民有更多转移财产的时间,防灾减灾效果更明显。

从考虑防灾减灾能力因素的灾损率来看,住宅区、工业区、商业区和公共设施区的灾损率都有所降低,但降低的幅度不一致。其中住宅区降低幅度最大,在不同淹没水深下,差值最大,说明住宅区易涝财产的可转移性较大,防灾减灾效果最为明显;工业区差值最小,说明工业区易涝财产的转移难度较大。这与不同承灾体内部的财产特征有关,住宅区室内财产单位价值小、易转移;工业区的财产如

机器设备较笨重,原材料、库存量大,转移的难度非常大。因此,防灾减灾能力因素对住宅区洪涝灾害经济损失的影响更加明显(表3)。

5 结论与展望

5.1 主要结论

本文针对典型城镇,通过实地调研采集数据,详细计算了不同承灾体资产的灾损率,绘制不同承灾体的灾损率散点图,并拟合了不同类型财产的灾损率曲线,然后着重考虑防灾减灾能力因素,绘制新的灾损率散点图及灾损率曲线。主要结论如下:

(1) 以2006年里下河地区的梅雨灾害为假设情景,调研得到住宅区、工业区、商业区、公共设施区和农业区五类承灾体财产的淹没水深与灾损率数据。对样本进行回归估计,发现在0.05的显著性水平下,五类承灾体财产的淹没水深与灾损率均存在乘幂函数关系。

(2) 根据各承灾体水深和灾损率的拟合函数,考虑防灾减灾能力因素后,洪涝灾害对不同承灾体的经济损失有所减少。住宅区财产在淹没水深3 m时经济损失减少了34%,工业区在2 m时经济损失减少了17%,商业区在3 m时经济损失减少了24%,公共设施区在2 m时经济损失减少了11%。防灾减灾能力因素对住宅区洪涝灾害经济损失的影响更为明显。

5.2 不足与展望

由于时间、数据等限制,以及承灾体和灾害环境的复杂性,本文仅是静态情景下的洪涝灾害经济损失评估的初步研究。下一步的研究拟包括:

(1) 考虑致灾因子的降水强度、水流、淹没时间以及承灾体的地形(如高程)等因素。不同情形下的灾损率会有很大差异。

(2) 进一步细化调研步骤,在多次预调研的基

表2 淹没水深和各承灾体灾损率相关性分析

Tab.2 Correlation analysis of submersion depths and depth-damage rate for different types of exposure units

统计项目	住宅区		工业区		商业区		公共设施区		农业区
	灾损率1	灾损率2	灾损率1	灾损率2	灾损率1	灾损率2	灾损率1	灾损率2	灾损率1
Pearson 相关性	0.784**	0.648**	0.786	0.835	0.789**	0.776**	0.723**	0.662**	0.838**
相伴概率(双侧)	0.000	0.000	0.214	0.165	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
样本数	123	123	4	4	30	30	28	28	15

注:(1)\*\*在0.01水平(双侧)显著相关;(2)灾损率1是初始实际灾情的灾损率,灾损率2是考虑防灾减灾能力因素后的灾损率。

②对于住宅区水深为0,灾损率为0的样本,无法进行回归方程(如幂模型、S曲线模型、指数模型和对数模型等)的拟合。为方便模型的拟合比较,删除这部分样本。



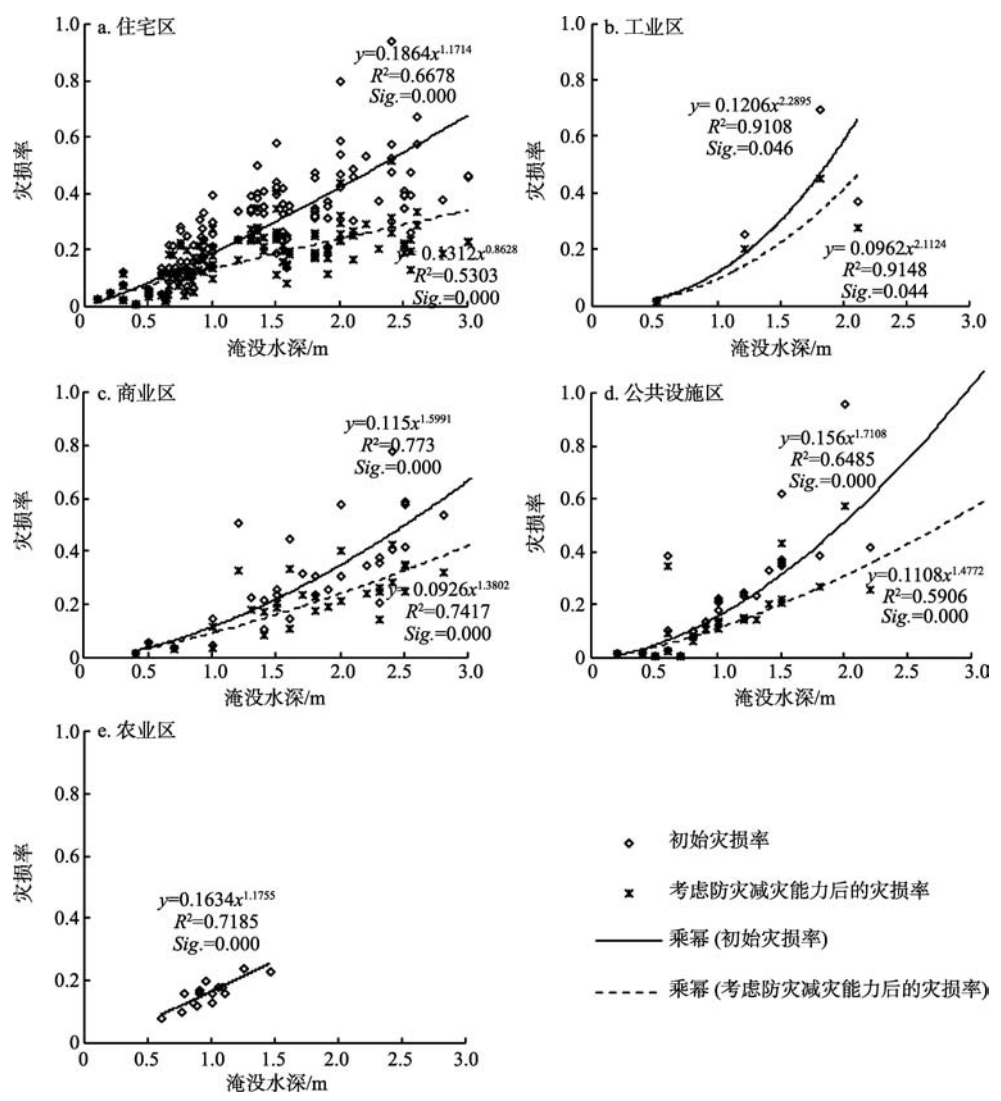


图3 李中镇五种类型财产的初始灾损率曲线及考虑防灾减灾能力因素后的灾损率曲线

Fig.3 Initial depth-damage rate curve and modified depth-damage rate curve considering the disaster prevention and mitigation capabilities for five types of exposure units

表3 不同水深下各承灾体的灾损率

Tab.3 Depth-damage rates under different submersion depths for different exposure units							
水深/m	住宅区			商业区			
	灾损率1	灾损率2	差值	灾损率1	灾损率2	差值	
0.5	0.07	0.07	0.00	0.04	0.04	0.00	
1.0	0.19	0.13	0.06	0.12	0.09	0.02	
1.5	0.33	0.18	0.15	0.22	0.16	0.06	
2.0	0.48	0.24	0.24	0.35	0.24	0.11	
2.5	0.55	0.29	0.26	0.49	0.32	0.17	
3.0	0.68	0.34	0.34	0.66	0.41	0.24	
水深/m	工业区			公共设施区			农业区灾损率
	灾损率1	灾损率2	差值	灾损率1	灾损率2	差值	
0.5	0.02	0.02	0.00	0.04	0.01	0.03	0.07
1.0	0.12	0.10	0.02	0.11	0.05	0.07	0.16
1.5	0.31	0.23	0.08	0.20	0.11	0.09	0.26
2.0	0.59	0.42	0.17	0.31	0.20	0.11	

础上设计问卷,以尽可能减少人为因素带来的误差。

(3) 以各易涝点为基本单元,开展灾损的抽样调查。这样能更有针对性地为防灾减灾和灾害风险管理工作提供参考依据。但如何确定各个易涝点的地理范围是难点之一。

(4) 在考虑防灾减灾能力因素时,对不同承灾体的防灾减灾能力进行分类研究,深入挖掘影响承灾体防灾减灾能力的关键因素,为政府的防灾减灾决策提供更科学的依据。

### 参考文献(References)

- 陈锡林, 闻余华, 黄利亚, 等. 2008. 里下河地区降雨量多时间尺度分析[J]. 水文, 28(3): 83-85. [Chen X L, Wen Y H, Huang L Y, et al. 2008. Multiple-time scale analysis of precipitation in Lixiahe Region[J]. Journal of China Hydrology, 28(3): 83-85.]
- 丁建国, 徐明, 傅国圣, 等. 2010. 2006年扬泰里下河地区梅雨期暴雨洪水分析[J]. 江苏水利, (7): 22-23, 25. [Ding J G, Xu M, Fu G S, et al. 2010. 2006 nian Yangtai Lixiahe meiyuqi bayu hongshui fenxi[J]. Jiangsu Water Resources, (7): 22-23, 25.]
- 董姝娜, 姜彦鹏, 张继权, 等. 2012. 基于“3S”技术的村镇住宅洪灾脆弱性曲线研究[J]. 灾害学, 27(2): 34-38, 42. [Dong S N, Jiang L P, Zhang J Q, et al. 2012. Research on flood vulnerability curves of rural dwellings based on “3S” technology[J]. Journal of Catastrophology, 27(2): 34-38, 42.]
- 胡俊锋, 张宝军, 杨佩国, 等. 2013. 区域综合减灾能力评价模型和方法研究与实证分析[J]. 自然灾害学报, 22(5): 13-22. [Hu J F, Zhang B J, Yang P G, et al. 2013. Research and empirical analysis of evaluation model and method on regional comprehensive disasters reduction ability[J]. Journal of Natural Disaster, 22(5): 13-22.]
- 黄大鹏, 郑伟, 张人禾, 等. 2011. 安徽淮河流域洪涝灾害防灾减灾能力评估[J]. 地理研究, 30(3): 523-530. [Huang D P, Zheng W, Zhang R H, et al. 2011. Assessment of capacity of flood disaster prevention and reduction of Huaihe River Basin in Anhui Province[J]. Geographical Research, 30(3): 523-530.]
- 刘耀龙, 陈振楼, 王军, 等. 2011. 经常性暴雨内涝区域房屋财(资)产脆弱性研究: 以温州市为例[J]. 灾害学, 26(2): 66-71. [Liu Y L, Chen Z L, Wang J, et al. 2011. Study on Property (capital) vulnerability of houses in regular rainstorm water-logging areas: Taking Wenzhou City as example[J]. Journal of Catastrophology, 26(2): 66-71.]
- 石勇. 2010. 灾害情景下城市脆弱性评估研究: 以上海市为例[D]. 上海: 华东师范大学. [Shi Y. 2010. Research on vulnerability assessment of cities on the disaster scenario: A case study of Shanghai City[D]. Shanghai: East China Normal University.]
- 石勇, 许世远, 石纯, 等. 2009. 洪水灾害脆弱性研究进展[J]. 地理科学进展, 28(1): 41-46. [Shi Y, Xu S Y, Shi C, et al. 2009. A review on development of vulnerability assessment of floods[J]. Progress in Geography, 28(1): 41-46.]
- 石勇, 许世远, 石纯, 等. 2011. 自然灾害脆弱性研究进展[J]. 自然灾害学报, 20(2): 131-137. [Shi Y, Xu S Y, Shi C, et al. 2011. Progress in research on vulnerability of natural disasters[J]. Journal of Natural Disasters, 20(2): 131-137.]
- 田辉, 黄万春, 马开玉. 1998. 里下河地区梅雨量的可能异常和变化规律[J]. 气象科学, 18(3): 262-265. [Tian H, Huang W C, Ma K Y. 1998. Possible anomaly and changing rule of precipitation during mei-yu period in Lixiahe region[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 18(3): 262-265.]
- 叶正伟, 许有鹏, 潘光波. 2011. 江淮平原水网区汛期雨量与洪涝水位关系: 以江苏里下河腹部地区为例[J]. 地理研究, 30(6): 1137-1146. [Ye Z W, Xu Y P, Pang G B. 2011. Relationship between flood rainfall and water level in a Jianghuai Plain river network region: A case study in the inner Lixiahe, Jiangsu[J]. Geographical Research, 30(6): 1137-1146.]
- 叶正伟, 许有鹏, 徐金涛. 2009. 江苏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, 29(6): 880-885. [Ye Z W, Xu Y P, Xu J T. 2009. Flood changing trend and flooding mechanism in Lixiahe region, Jiangsu, China[J]. Scientia Geographica Sinica, 29(6): 880-885.]
- 尹占娥, 许世远, 殷杰, 等. 2010. 基于小尺度的城市暴雨内涝灾害情景模拟与风险评估[J]. 地理学报, 65(5): 553-562. [Yin Z E, Xu S Y, Yin J, et al. 2010. Small-scale based scenario modeling and disaster risk assessment of urban rainstorm waterlogging[J]. Acta Geographica Sinica, 65(5): 553-562.]
- Coto E B. 2002. Flood hazard, vulnerability and risk assessment in the city of Turrialba, Costa Rica[M]. Costa Rica: International Institute for Geo-information Science and Earth Observation(ITC): 1-102.
- Dutta D, Tingsanchali T. 2003. Development of loss functions for urban flood risk analysis in Bangkok[C]//Proceedings of the second international symposium on new technologies for urban safety of mega cities in Asia. Tokyo, Japan: International Center for Urban Safety Engineering: 229-238.
- Ikeda S, Nagasaka T. 2011. An emergent framework of disaster risk governance towards innovating coping capability for reducing disaster risks in local communities[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2(2): 1-9.
- Jin J L, Fu J, Wei Y M, et al. 2015. Integrated risk assessment



- method of waterlog disaster in Huaihe River Basin of China[J]. *Natural Hazards*, 75(2): 155-178.
- Kelman I. 2003. Physical flood vulnerability of residential properties in coastal, eastern England[D]. Cambridge, UK: University of Cambridge.
- Kleist L, Thieken A H, Koehler P, et al. 2006. Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for a comparative risk assessment in Germany[J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6(4): 541-552.
- Mavhura E, Manyena S B, Collins A E, et al. 2013. Indigenous knowledge, coping strategies and resilience to floods in Muzarabani, Zimbabwe[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 5: 38-48.
- Naumann T, Nikolowski J, Golz S, et al. 2010. Resilience and resistance of buildings and built structures to flood impacts: Approaches to analysis and evaluation[M]//Müller B. *German annual of spatial research and policy 2010*. Berlin, Germany: Springer: 89-100.
- Tiwari A. 2015. The capacity crisis in disaster risk management environmental hazards: why disaster management capacity remains low in developing countries and what can be done[M]. Berlin, Germany: Springer International Publishing.
- Turner B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14): 8074-8079.
- United States Army Corps of Engineers. 1985. Business depth-damage analysis procedures[R]. US: Institute for Water Resource.

## Flood depth–damage curves for urban properties considering disaster prevention and mitigation capabilities: Evidence from Lizhong Town, Lixiahe region, China

WU Xianhua<sup>1,2\*</sup>, ZHOU Lei<sup>2</sup>, GAO Ge<sup>1,3</sup>, JI Zhonghui<sup>2</sup>, GUO Ji<sup>1,2</sup>

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. School of Economics and Management, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;  
3. National Climate Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** As an important part of resilience, disaster prevention and mitigation capabilities of the exposure units are a key consideration in disaster economic loss assessment. Based on the data collected from Lizhong Town in the Lixiahe region of Jiangsu Province, the initial depth-damage scatter diagrams and fitted curves were drawn for residential property, industrial property, business, infrastructure, and agriculture. Then the modified depth-damage scatter diagrams and fitted curves in line with the actual damage situation were drawn by taking into consideration disaster prevention and mitigation capabilities. The results show that: (1) At the significance level of 0.05, the correlation between submersion depth and depth-damage rate under different scenarios for residential property, industrial property, business, infrastructure, and agriculture is a power function; (2) Taking into consideration disaster prevention and mitigation capabilities, economic losses of different exposure units caused by flood disaster decreased. Residential property flood losses were reduced by 34% at the submersion depth of 3 m; industrial property losses were reduced by 17% at the submersion depth of 2 m; business losses were reduced by 24% at the submersion depth of 3 m; and infrastructure losses were reduced by 11% at the submersion depth of 2 m. The influence of disaster prevention and mitigation capabilities on residential property flood losses was most obvious. This study may serve as a useful supplement for research on flood depth-damage relation and provide references for disaster prevention and mitigation decisions and disaster risk management in similar areas.

**Key words:** flood disaster; disaster prevention and mitigation capabilities; depth-damage curve; Lixiahe region; China