

文章编号:1004-4574(2013)04-0101-07

## 脆弱性视角下京津冀都市圈自然灾害特性分析

冯领香,冯振环

(天津财经大学 商学院,天津 300222)

**摘要:**自然灾害是致灾因子和承灾体脆弱性相互作用的结果,前者是外因,后者是内因,因此脆弱性是承灾体本身具有的内在属性。在界定了脆弱性内涵和构成的基础上,以统计参数为基础,分析了京津冀都市圈的自然灾害脆弱性指标体系和区域差异,并结合近年来区域自然灾害损失统计数据,讨论了京津冀都市圈的灾害类别、受灾方式及自然灾害特性。研究表明,京津冀都市圈10市的应对-恢复能力和敏感性发展具有同向性,两者的相对发展速度是影响脆弱性的关键因素;区域系统脆弱性对自然灾害影响很大,且在不同灾害条件下,发挥关键作用的脆弱性指标不同;张家口、承德等市自然灾害损失惨重,农业生产规模大、防灾能力差是主要原因。

**关键词:**自然灾害;脆弱性;京津冀都市圈

**中图分类号:**F207; X43

**文献标志码:**A

### Natural disaster character analysis of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan circle from the perspective of vulnerability

FENG Lingxiang, Feng Zhenhuan

(School of Business, Tianjin University of Financial and Economics, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** Natural disasters are the result of interaction between disaster-causing factors and hazard affected body vulnerability. The former is the external cause. The latter is the internal cause. Therefore the vulnerability is the intrinsic attribute of hazard affected body. Based on the clear definition and connotation of vulnerability, natural disaster vulnerability index system and regional difference of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region were analyzed in terms of the statistical parameters, and with the help of the regional natural disaster loss data, the types and characteristics of disasters in Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan circle were discussed. Study shows that, the sensitivity and response-recovery ability development in 10 cities of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan circle is synchronic. So the relative development velocity of the two aspects is the key factor that affects the vulnerability. Regional system vulnerability has great influence on natural disasters. In different conditions, disaster vulnerability indices that play the key role are different. Cities such as Zhangjiakou and Chengde suffered heavier losses in natural disasters, the main reason of which is the large scale of agricultural production and low disaster prevention ability.

**Key words:** natural disaster; vulnerability; Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan circle

自然灾害研究,经历了从致灾因子论、工程防御综合减灾到脆弱性研究的发展历程<sup>[1-2]</sup>。致灾因子论是

收稿日期:2013-06-29; 修回日期:2013-07-20

基金项目:国家社会科学基金项目(11BJL055)

作者简介:冯领香(1979-),女,讲师,博士,主要从事城市防灾、安全管理研究。E-mail:f\_lingxiang@163.com

通讯作者:冯振环,教授,博士。E-mail:fengzhenhuan@tjufe.edu.cn

根据自然力划分灾害等级,但由于不同区域的社会经济状态及灾害设防能力存在巨大差异,仅根据致灾因子一个因素并不能确定区域损失及受影响的方式<sup>[3]</sup>。受人类对自然灾害认识的影响,工程技术和自然科学在灾害学领域的发展早于社会科学。1981年,Pelanda<sup>[4]</sup>提出灾害是社会脆弱性的实现,是一种或多种致灾因子对脆弱性人口、建筑物、经济财产或敏感性环境打击的结果,是这些致灾事件超过了当地社会的应对能力。Blaikie等<sup>[5]</sup>进一步指出脆弱性是灾害的根源。自然灾害脆弱性研究侧重于承灾体角度,强调承灾体的脆弱性是决定灾害损失的关键因素,在相同致灾强度下,灾害的影响会随脆弱性的增强而增大。自然灾害脆弱性研究对于防灾减灾具有全新的意义,并已成为区域自然灾害风险识别的主要方法之一<sup>[6-11]</sup>。自然灾害是致灾因子和承灾体脆弱性相互作用的结果。致灾因子很难掌控,而承灾体脆弱性则具有前瞻性和预测性。

京津冀都市圈是指以北京市和天津市为中心,包括河北省的石家庄、保定、秦皇岛、廊坊、沧州、承德、张家口和唐山8座城市的区域。该区域具有共和国的政治、文化中心和北方经济中心,具有普遍高于全国平均水平的经济总量增长,同时自然灾害风险也较高。该区域自然灾害脆弱性如何?其自然灾害风险具有哪些特性?脆弱性如何对自然灾害特性产生作用?本文考虑自然、社会、经济系统组成的综合承灾体体系,从脆弱性角度,结合近年来京津冀都市圈自然灾害损失统计数据,对该区域自然灾害特性进行了研究。

## 1 脆弱性内涵与构成

### 1.1 脆弱性内涵

“脆弱性”一词源于拉丁文“vulnerare”,原意为“伤害”。在不同背景的科学研究中,脆弱性定义不尽相同。White<sup>[12]</sup>,Cutter<sup>[13]</sup>,Zapata等<sup>[14]</sup>认为脆弱性是暴露于不利影响或遭受损失的可能性。Timmerman<sup>[15]</sup>和Turner等<sup>[16]</sup>认为脆弱性是遭受不利影响损害或威胁的程度。Downing<sup>[17]</sup>,Vogel<sup>[18]</sup>认为脆弱性是承受不利影响的能力。刘燕华等<sup>[19]</sup>和Adger<sup>[20]</sup>认为脆弱性是一个概念的集合,包含了前述学者提出的风险、敏感性、适应性、恢复力等一系列的概念,既考虑了系统内部条件对系统脆弱性的影响,也包含系统与外界环境的相互作用特征。Gallopín<sup>[21]</sup>和石勇等<sup>[22]</sup>认为脆弱性是承灾体的本身属性,不论自然灾害是否发生,这些属性都存在,外力作用时,脆弱性通过承灾体本身来体现。

### 1.2 脆弱性构成

脆弱性构成的讨论,一直存在于脆弱性理论发展过程中,并出现了很多相关概念,例如应对能力、恢复能力、敏感性、适应性、易损性、暴露性、弹性、风险、扰动、威胁等。由于没有对各概念的统一解释,造成了对脆弱性构成的不同理解,各概念之间的关系也存在很大的争议。Turner等<sup>[16]</sup>认为脆弱性包含暴露性、敏感性、适应性/弹性3个组成部分。George<sup>[23]</sup>认为脆弱性是暴露性、应对能力和恢复力的共同作用结果。王静爱等<sup>[24]</sup>认为脆弱性包括敏感性、暴露性、易损性等,而恢复力与脆弱性并列,共同构成适应性。苏桂武等<sup>[25]</sup>把暴露、敏感性、弹性和恢复能力当成是脆弱性的4个描述角度。Mitchel<sup>[26]</sup>,Bohle<sup>[27]</sup>等认为脆弱性因素包含内部和外部两个方面,内部方面是指系统对外部扰动或冲击的应对能力,外部方面是指系统对外部扰动或冲击的暴露。Gallopín<sup>[21]</sup>则认为暴露并不是脆弱性的构成要素,脆弱性由系统面对外界扰动时的敏感性和反应能力构成,是系统的属性。石勇等<sup>[22]</sup>也认为暴露性反应承灾外部环境而非承灾体本身属性,不应该属于脆弱性的组分,脆弱性的结构应包括敏感性、应对能力(包括适应性)和恢复力。可以看出暴露性是否属于脆弱性、适应性与脆弱性的关系、弹性与适应性的关系、应对能力与适应性的关系等问题都存在争议。

本文认为自然灾害是致灾因子与承载体脆弱性共同作用的结果,前者是外因,后者是内因。脆弱性主要指内部因素,是系统的本质属性。扰动、威胁指的是系统之外的负面作用,为外在因素,因此不属于脆弱性的组成部分。暴露性是“隐蔽的事物、缺陷、矛盾、问题等显露出来”,是致灾因子与区域系统脆弱性相互作用的结果;风险是致灾因子危险性、承灾体暴露性和脆弱性的共同作用结果,因此作为结果的暴露性和风险也不是脆弱性的组成部分。

根据词义及在自然灾害脆弱性领域的应用,应对能力是“采取措施、对策以应付出现的情况”,是承灾体系统在自然灾害预防预报、发生发展过程中对自然灾害过程的综合承受和反应能力,主要指灾害设防能力。恢复能力是“使……变成原来样子的能力”,指某种人类社会经济系统遭受打击形成灾害后,在恢复到灾前状态的过程中所体现出来的自我修复和自我调整能力<sup>[25]</sup>。敏感性是指“对外界事物反映很快”,指承灾体在致灾因子作用下的响应程度或敏感程度,强调原始状态是否改变,改变速度的快慢和改变幅度的大小。易

损性是和脆弱性很接近的概念,两者的区别主要在于易损性侧重具体承灾个体(如建筑),脆弱性既面对承灾个体,又面对系统,特别是区域脆弱性的研究;另外易损性侧重于承灾体物理结构方面的特性,脆弱性还考虑恢复力、应对能力等社会经济要素<sup>[22]</sup>。适应性属于系统能够修正或改变自身特征或行为,以更好地应对现实存在或预期会发生的外部打击的能力<sup>[24]</sup>。弹性一般指承灾体所具有的抵御不良影响和对不良影响进行自我适应的能力<sup>[25]</sup>。应对能力、恢复能力、敏感性、适应性、弹性,都属于承灾体的固有属性,他们之间的包含关系为:敏感性 $\subset$ 脆弱性,应对能力 $\subset$ 脆弱性,恢复能力 $\subset$ 脆弱性,易损性 $\subset$ 应对能力 $\subset$ 脆弱性,脆弱性 $\subset$ 适应性/弹性。

摒除敏感性、易损性、应对能力、恢复能力、弹性、适应性的相互包含关系,自然灾害脆弱性包含敏感性、应对能力与恢复能力。脆弱性可表达为敏感性、应对能力与恢复能力的函数。敏感性与脆弱性正相关,应对能力、恢复能力均与脆弱性负相关。

## 2 京津冀都市圈自然灾害脆弱性

敏感性、应对能力、恢复能力等系统内部因素组成自然灾害脆弱性。统计年鉴中不乏有代表意义的自然灾害脆弱性指标,如表1所示。敏感性指标指的是自然灾害发生时,可能导致区域重大损失或引起区域故障或导致区域系统瘫痪的参数,包括人口密度、自然环境、生命线工程或依托能源规模等。应对能力指标主要包括灾害设防能力指标,例如抗震设防烈度、下水道密度等。恢复能力包括区域经济能力、基础设施和医疗卫生水平等。由于应对能力和恢复能力均与脆弱性负相关,且具有较强的相关性,将两者合并为应对-恢复能力。

表1 京津冀都市圈自然灾害脆弱性指标

Table 1 Natural disaster vulnerability indices of Beijing - Tianjin - Hebei metropolitan circle

自然灾害脆弱性构成因素	代表性指标
敏感性	人口密度(全市)/(人 $\cdot$ m <sup>-2</sup> )
	供水总量(市辖区)/万t
	用电总量(市辖区)/(万kW $\cdot$ h)
	煤气供气总量(市辖区)/万m <sup>3</sup>
	客运总量(全市)/万人
	移动电话年末用户数(全市)/万户
	国际互联网用户数(全市)/户
	常用耕地面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>
	乡村人口比例/%
	应对-恢复能力
	下水道密度/(km $\cdot$ km <sup>-2</sup> )
	应急预案编制程度(打分)
	灾害信息发布能力(打分)
	土地面积/km <sup>2</sup>
	常住人口/万人
	人均地区生产总值/元
	地方财政一般预算内收入/万元
	地方财政一般预算内支出/万元
	医院、卫生院床位数/张
	绿地面积(市辖区)/km <sup>2</sup>
	年末实有城市道路面积(市辖区)/万m <sup>2</sup>

为分析京津冀都市圈自然灾害脆弱性状态,获取了该区域10市2005-2010年脆弱性指标数据样本,并利用自组织特征映射神经网络<sup>[28]</sup>对敏感性、应对-恢复能力进行了评价,如图1、图2所示。图中纵坐标中的数字1-10表示从低到高的等级划分。

如图 1、图 2 所示,敏感性与应对—恢复能力综合评价相对排序随年份变化不大,且以两个标准为依据形成的排序基本一致。经济发展水平是决定敏感性强度综合评价结果的关键因素,经济发展使得人口聚集、财富集中、对能源的依赖强度增大。敏感性增强的同时,进行防灾配套设施建设,提高应对—恢复能力,以降低区域脆弱性。京津冀都市圈 10 市的自然灾害应对—恢复能力与敏感性的发展具有同向性,由于两者对脆弱性的作用相反,因此两者发展相对速度的是决定脆弱性的关键因素。京津冀 10 市在两方面的水平均差距悬殊,北京、天津敏感性突出,同时应对—恢复能力遥遥领先;张家口、承德等市敏感性低,但应对—恢复能力明显不足。

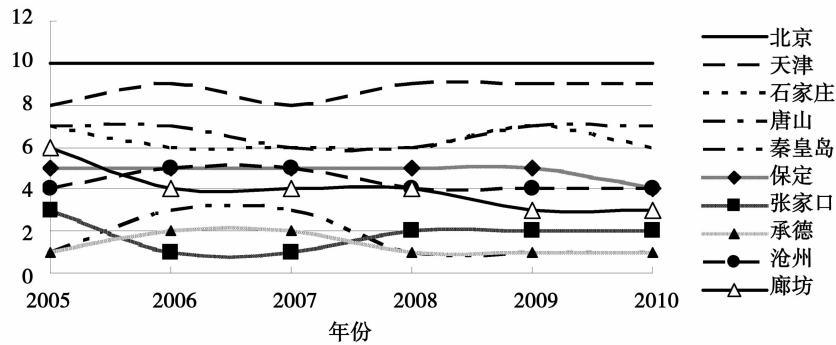


图 1 2005 - 2010 年京津冀都市圈敏感性评价

Fig. 1 Evaluation of sensitivity of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan circle during 2005 - 2010

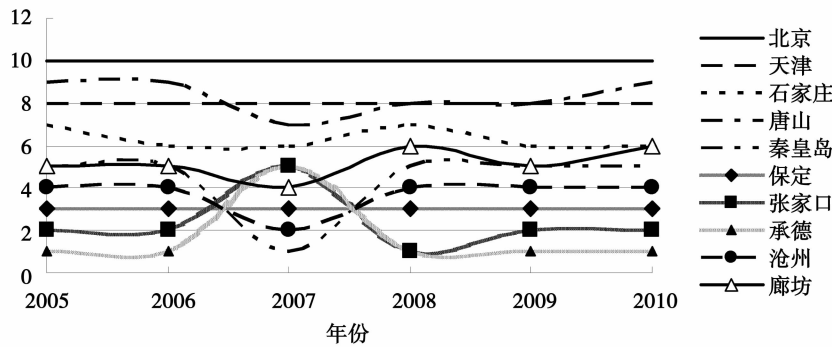


图 2 2005 - 2010 年京津冀都市圈应对—恢复能力评价

Fig. 2 Evaluation of coping - recovery ability of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan circle during 2005 - 2010

### 3 京津冀都市圈自然灾害特性分析

#### 3.1 京津冀都市圈自然灾害损失及灾害类型

京津冀是自然灾害多发区,每年都遭受自然灾害侵袭,表 2 给出了近年来该区域的自然灾害直接经济损失统计数据。而 2012 年北京“7·21”特大暴雨更是造成直接经济损失 116.4 亿元,190 万人受灾,4.3 万人紧急转移安置,79 人遇难。随着社会经济的发展,自然灾害影响与古代、近代相比发生了显著变化,一般不会造成灾民离乡、饥饿、瘟疫等现象发生,但是会以其他方式产生影响。不同的灾害类型,其承灾体和受灾方式具有很大差异。殷杰等<sup>[29]</sup>、王成金等<sup>[30]</sup>对自然灾害损失的构成、承灾体分类和受灾方式进行了广泛的研究。借鉴其研究成果,再结合历史数据资料,整理得出京津冀都市圈的主要自然灾害类型、承灾体及受灾方式,见表 3。

表 2 京津冀自然灾害直接经济损失

Table 2 Direct economic losses caused by natural disasters in Beijing - Tianjin - Hebei

亿元

区域	年份					
	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
北京市	0.6	5.3	6.9	7.4	4.5	2.1
天津市	2.2	4.6	5.4	2.9	1.7	0.5
河北省	30	84.7	80	45.3	137.6	97.5

表3 京津冀都市圈主要自然灾害承灾体及受灾方式

Table 3 Main natural disaster-affected bodies and affected types in Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan circle

灾害类型	承灾体	受灾方式
干旱	人、农、林、牧及经济作物	作物减产、绝产、贫困、人畜缺水
风雹灾	人、农、林、牧及经济作物、电力和电话等高架线缆	毁坏农业设施、减产、绝产、破坏高架线路
水灾	人、房屋建筑、基础设施、生产设备、能源供应系统、垃圾处理、交通运输、文物、档案	死亡、伤残疾病、无家可归、房屋设施毁坏、倒塌、浸泡、掩埋、交通受阻、能源供应中断
霜冻灾、雪灾	人、农业、基础设施、交通运输、电力系统、生产供应	生活生产供应中断、减产、设施毁坏、交通受阻、电力系统受损
病虫害	人、农、林、牧及经济作物	作物减产、绝产、贫困
沙尘暴	人、土壤、环境、生产活动	破坏植被、影响交通、伤害人体、影响精密仪器生产
高温	人、能源供应	导致人体疲劳、烦躁,事故增多,导致心脑血管和呼吸道等疾病的发生,增加水电负荷
雾霾	人、交通运输	危害人体,交通受阻

### 3.2 京津冀都市圈自然灾害特性

京津冀都市圈自然灾害发生频繁,种类多,强度大。通过统计年鉴,可以查阅区域自然灾害损失状况,包括受灾面积、受灾人口、房屋损毁等数据。图3给出了几个典型年份京津冀都市圈10市的受灾面积,由于区域差异悬殊,因此纵坐标采用对数坐标。

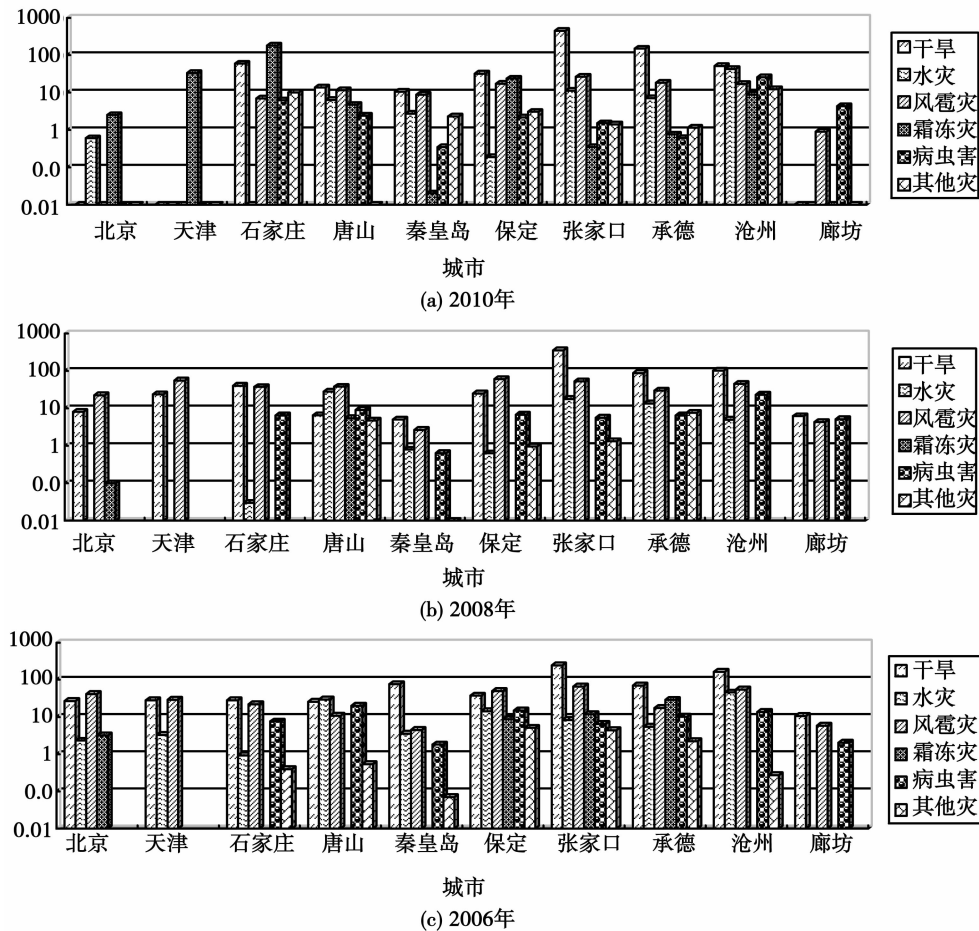


图3 京津冀都市圈10市受灾面积

Fig. 3 Natural disaster-affected area of 10 cities in Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan circle

首先,京津冀都市圈自然灾害在时间分布上既有明显的随机性,又存在必然性,其中干旱是造成经济损失最重的自然灾害类型,其次是风雹灾、水灾、霜冻灾、病虫害灾、其它灾。应以灾害类型与承灾体、受灾方式

的关系为依据,进一步改善防灾措施,提高灾害防御能力。

第二,京津冀都市圈自然灾害分布在空间上具有差异性和选择性。河北省的自然灾害损失,不论总额还是人均数值,均高于北京市和天津市,其主要原因在于应对能力与京津差距巨大。

第三,张家口、承德、沧州等市历年自然灾害损失均处于高位,原因是区域内耕地面积规模大,农业生产防灾能力差,在干旱、风雹、水灾、霜冻等自然灾害多发的条件下,遭受了严重损失。这是区域系统脆弱性对自然灾害损失影响的结果。

第四,张家口、承德、沧州等市自然灾害损失高,但敏感性综合评价显示其敏感性低,两者存在矛盾。原因是在干旱、强对流等气象灾害作用下,耕地面积和乡村人口比例等敏感性指标产生了关键影响,有些指标并未显示出其敏感性。可见,笼统的说敏感性低则灾害风险小是不科学的。在不同灾害类型和强度条件下,发挥关键作用的脆弱性指标不同。脆弱性综合评价有助于区域系统发展的整体把控,但具有一定的局限性。历史上灾害分析多在限定的灾害类型下开展,是有科学道理的。

## 4 结论

论文以京津冀都市圈为研究对象,从脆弱性角度研究了自然灾害特性。主要工作和结论如下:

(1)归纳整理现有脆弱性研究成果,认为自然灾害是致灾因子和承灾体脆弱性相互作用的结果,前者是外因,后者是内因,因此脆弱性是承灾体本身具有的内在属性,由敏感性、应对能力、恢复能力组成。由于应对能力和恢复能力均与脆弱性负相关,且具有较强的相关性,将两者合并为应对-恢复能力。

(2)从统计年鉴中获取了有代表性的自然灾害脆弱性指标,对其敏感性和应对-恢复能力进行了综合评价和区域差异分析,研究表明京津冀都市圈 10 市应对-恢复能力与敏感性的发展具有同向性,由于两者对脆弱性的作用相反,因此两者的相对发展速度的是决定脆弱性的关键因素。

(3)结合近年来区域自然灾害损失统计数据,给出了京津冀都市圈主要灾害类别和受灾方式,并分析了京津冀都市圈的自然灾害特性和脆弱性对自然灾害的作用。研究结果显示,区域系统脆弱性对自然灾害影响很大,且在不同灾害条件下,发挥关键作用的脆弱性指标不同。脆弱性综合评价有助于区域系统发展的整体把控,但具有一定的局限性,笼统的说敏感性低则灾害风险小是不科学的。近年来张家口、承德等市自然灾害损失惨重,农业生产规模大、防灾能力差是主要原因。

## 参考文献:

- [1] 商彦蕊. 自然灾害综合研究的新进展——脆弱性研究[J]. 地域研究与开发, 2000, 19(2): 73-77.  
SHANG Yanrui. Vulnerability study—the new development of synthesized study on natural disasters[J]. Areal Research and Development, 2000, 19(2): 73-77. (in Chinese)
- [2] 商彦蕊. 灾害脆弱性概念模型综述[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 112-116.  
SHANG Yanrui. Review on concept model of disaster vulnerability[J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28(1): 112-116. (in Chinese)
- [3] 孙蕾, 石纯. 沿海城市自然灾害脆弱性评估研究进展[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 102-105.  
SUN Lei, SHI Chun. Progress in vulnerability assessment of natural disasters in coastal cities[J]. Journal of Catastrophology, 2007, 22(1): 102-105. (in Chinese)
- [4] Pelanda C. Disaster and Sociosystemic Vulnerability[M]. Gorizia: Disaster Research Center, 1981.
- [5] Blaikie P, Cannon T, Davis I, et al. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters[M]. London: Routledge, 1994.
- [6] 邵传青, 张芳, 易立新. 沿海城市自然灾害脆弱性评价研究——以天津滨海新区为例[J]. 防灾科技学院学报, 2008, 10(4): 88-92.  
SHAO Chuanqing, ZHANG Fang, YI Lixin. Natural disaster vulnerability assessment study of coastal cities—a case of Tianjin Binhai New Area [J]. J. of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology, 2008, 10(4): 88-92. (in Chinese)
- [7] 石勇, 孙蕾, 石纯, 等. 上海沿海六区县自然灾害脆弱性评价[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(3): 156-162.  
SHI Yong, SUN Lei, SHI Chun, et al. Assessment of vulnerability of six coastal districts in Shanghai to natural disasters[J]. Journal of Natural Disasters, 2010, 19(3): 156-162. (in Chinese)
- [8] 张国培, 庄天慧. 自然灾害对农户贫困脆弱性的影响——基于云南省 2009 年的实证分析[J]. 四川农业大学学报, 2011, 29(3): 136-150.  
Zhang Guopei, ZHUANG Tianhui. Impacts of the natural disasters on poverty vulnerability of farmer households—based on empirical analysis of Yunnan Province in 2009 [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2011, 29(3): 136-150. (in Chinese)
- [9] 刘毅, 黄建毅, 马丽. 基于 DEA 模型的我国自然灾害区域脆弱性评价[J]. 地理研究, 2010, 29(7): 1153-1162.

- LIU Yi, HUANG Jianyi, MA Li. The assessment of regional vulnerability to natural disasters in China based on DEA model[J]. Geographical Research, 2010, 29(7): 1153 - 1162. (in Chinese)
- [10] 陈磊, 徐伟, 周忻, 等. 自然灾害社会脆弱性评估研究——以上海市为例[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 98 - 101.  
CHEN Lei, XU Wei, ZHOU Xin, et al. Assessment of social vulnerability to natural disasters; a case study of Shanghai[J]. Journal of Catastrophology, 2012, 27(1): 98 - 101. (in Chinese)
- [11] 刘斌涛, 陶和平, 刘邵权, 等. 自然灾害胁迫下区域生态脆弱性动态——以四川省清平乡为例[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 193 - 198.  
LIU Bintao, TAO Heping, LIU Shaoquan, et al. Dynamics of regional ecological fragility under natural hazard stress: a case study in Qingping Town of Sichuan Province, Southwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(1): 193 - 198. (in Chinese)
- [12] White G F. Natural Hazards[M]. Oxford: Oxford University Press, 1974.
- [13] Cutter S L. Living with Risk: the Geography of Technological Hazards[M]. London: Edward Arnold, 1993.
- [14] Zapata R, Caballeros R. A systemic synthesis of the relations between vulnerability, hazard, exposure and impact, aimed at policy identification [G]. Handbook for Estimating the Socio - Economic and Environmental Effects of Disasters, E - CLAC, Mexico, D. F., 2000.
- [15] Timmerman P. Vulnerability resilience and the collapse of society [C]// Environmental Monograph. Toronto: Institute for Environmental Studies, 1981.
- [16] Turner II B L, Kasperson R E, Matson P A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences US, 2003, 100(14): 8074 - 8079.
- [17] Downing T E. Climate change and vulnerable places: global food security and country studies in Zimbabwe, Kenya, Senegal and Chile [C]// Environmental Change Unit. Oxford: Oxford University, 1993: 1 - 5.
- [18] Vogel C. Vulnerability and Global Environmental Change [R]. World Commission of Environment and Development, Lucc Newsletter 3, 1998.
- [19] 刘燕华, 李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展[M]. 北京: 商务印书馆, 2001.  
LIU Yanhua, LI Xiubin. Fragile Ecological Environment and Sustainable Development [M]. Beijing: The Commercial Press, 2001. (in Chinese)
- [20] Andger W N. Vulnerability[J]. Global Environmental Change, 2006, 16(6): 268 - 281.
- [21] Gallopín G C. A Systemic Synthesis of the Relations Between Vulnerability, Hazard, Exposure and Impact, Aimed at Policy Identification [M]. Handbook for Estimating the Socio - Economic and Environmental Effects of Disasters, E - CLAC, Mexico, D. F., 2003.
- [22] 石勇, 许世远, 石纯, 等. 自然灾害脆弱性研究进展[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(2): 131 - 137.  
SHI Yong, XU Shiyuan, SHI Chun, et al. Progress in research on vulnerability of natural disasters[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(2): 131 - 137. (in Chinese)
- [23] George Abeyale D E. Race, ethnicity and the spatial dynamic: towards a realistic study of black crime, crime victimization and criminal justice processing of black [J]. Social Justice, 1989, 17(3): 153 - 166.
- [24] 王静爱, 施之海, 刘珍, 等. 中国自然灾害后响应能力评价与地域差异[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 23 - 27.  
WANG Jingai, SHI Zhihai, LIU Zhen, et al. Assessment and regional difference of disaster resilience capability in China [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(6): 23 - 27. (in Chinese)
- [25] 苏桂武, 朱林, 马宗晋, 吴琼. 京津唐地区地震灾害区域宏观脆弱性变化的初步研究——空间变化[J]. 地震地质, 2007, 29(1): 15 - 33.  
SU Guiwu, ZHU Lin, MA Zongjin, WU Qiong. A preliminary study on the changes of the regional scale macroscopic vulnerability to earthquake disasters of Beijing, Tianjin and Tangshan area—spatial changes[J]. Seismology and Geology, 2007, 29(1): 15 - 33. (in Chinese)
- [26] Mitchell J K. Hazards Research [C]// Gaile G L, Wilhott C J editors. Geography in America. OH: Merrill, 1989: 410 - 424.
- [27] Bohle H G. Vulnerability and criticality: perspectives from social geography. IHDP Update2/01, article, 2001. [online]. URL: [http://www.ihdp.uni-bonn.de/html/publications/update/IHDPUupdate01\\_02.h](http://www.ihdp.uni-bonn.de/html/publications/update/IHDPUupdate01_02.h).
- [28] 董长虹. Matlab神经网络与应用[M]. 2版. 北京: 国防工业出版社. 2007: 185 - 196.  
Dong Changhong. Matlab Neural Network and Application [M]. 2nd edition. Beijing: National Defence Industry Press. 2007: 185 - 196. (in Chinese)
- [29] 殷杰, 尹占娥, 许世远. 沿海城市自然灾害损失分类与评估[J]. 自然灾害学报. 2011, 20(1): 124 - 128.  
YIN Jie, YIN Zhane, XU Shiyuan. Classification and assessment of natural disasters loss in coastal cities[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(1): 124 - 128. (in Chinese)
- [30] 王成金, 金凤君, 何丹. 自然灾害承险体的分类技术与方案[J]. 地理研究, 2013, 32(3): 431 - 440.  
WANG Chengjin, JIN Fengjun, HE Dan. Identification and classification program of the bearing body of the natural hazards[J]. Geographical Research. 2013, 32(3): 431 - 440. (in Chinese)