

文章编号: 1008-2786-(2015)3-303-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000038

基于生产函数的区域泥石流灾害易损性研究

顾春杰 孙爽 宁娜 马金珠

(兰州大学 西部环境教育部重点实验室 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 近年来人们对于自然灾害易损性的基本构成已经初步达成了共识,包括暴露性、敏感性和恢复适应能力,但对于其相互关系尚未有过深入的分析。易损性评价中多是将暴露性、敏感性和恢复适应能力等指标杂糅一起,或者虽然分开选择评价指标但在最后评价时依旧作为一体,没有对整个人地系统的内在机理深入分析。针对泥石流灾害,尝试综合分析整个人地环境的暴露性、敏感性、恢复适应能力之间关系及其对易损性的影响,借鉴经济学中的 C-D 生产函数建立了易损性的评价函数。在近 50 a 研究区历史灾情的统计分析基础上,确定了暴露性、敏感性的评价指标,并且由累积的各项损失情况确定敏感性评价指标权重,从灾害造成的直接经济损失出发对函数参数进行估计。通过对不同参数计算结果的对比分析,得出人类社会系统的敏感性对于区域的易损性的贡献率约为 0.8,远高于地质灾害暴露性的贡献率 0.2。最后完善了生产函数的评价方法,并将其应用于当前研究区的泥石流易损性评价中,为未来如何减少区域泥石流的易损性提出了参考意见。

关键词: 易损性; 泥石流; C-D 生产函数; 历史灾情

中图分类号: P642.23

文献标志码: A

易损性起源于自然灾害的研究领域^[1],用来评价作为承灾体的人类社会经济系统,是灾害风险分析的组成部分。后来被应用到许多研究领域^[2],在应用中常被称为脆弱性。易损性和脆弱性,两者源于英文“vulnerability”的不同翻译,在地质灾害领域,多译为易损性,强调可能遭受的损失或威胁程度^[3];而在其他研究领域中,常译为脆弱性,着重强调系统承受不利影响的能力^[4]。近年来随着全球环境变化研究的兴起,脆弱性成为全球环境变化及可持续性科学领域一种新的研究视角^[5-7]和重要的分析工具^[8-9]。自 2000 年来,脆弱性的研究越来越关注人地系统层面的问题,开始探讨脆弱性产生的机制和过程^[10-11]。但目前在自然灾害领域,区域性的易损性研究发展相对较为缓慢,易损性的评价大多还局限于灾害风险评价的组成部分,对于其内在

机理研究相对薄弱,在实际应用中的指导意义不强。

不同的研究领域对易损性的定义进行了细化和改进,加深了对于其内涵的认识,但也因此造成了概念界定的不明确^[12]。目前,对于易损性内涵的理解虽然存在较大的分歧,但是对于其重要的构成要素,学术界依然有许多共同的认识,如暴露性、敏感性和恢复适应能力。暴露性反映的是系统遭遇灾害或危险的程度,主要取决于人和区域暴露在危险事件中的机率;敏感性反映的是系统对外部干扰易于感受的性质^[13],主要取决于承灾系统的内部结构;恢复适应能力指的是系统对灾害事件的响应与应对能力,以及从灾害损失中的恢复能力,反映了系统可避免损害的程度^[14]。综合分析暴露性、敏感性和恢复适应能力在灾害发生时的不同作用,可以用示意图 1 表示,暴露性在灾害发生前就已经存在,敏感性在

收稿日期(Received date): 2014-08-12; 修回日期(Accepted): 2014-09-06。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划项目“白龙江流域滑坡泥石流灾害多尺度风险评价与技术研究”(2011BAK12B05)资助。[Supported by National Science and Technology Pillar Program "Risk evaluation and technology research of multi-scale landslide and debris flow disaster in Bai Longjiang Valley"(2011BAK12B05).]

作者简介(Biography): 顾春杰(1986-),女,满族,河北承德人,硕士研究生,主要从事水文过程与地质灾害方面的研究。[Gu Chunjie, female, born in Chende, Hebei, master graduate student, majoring in the research on hydrological process and debris flow risks assessment.] E-mail: guchj13@lzu.edu.cn, Tel: 15294116597

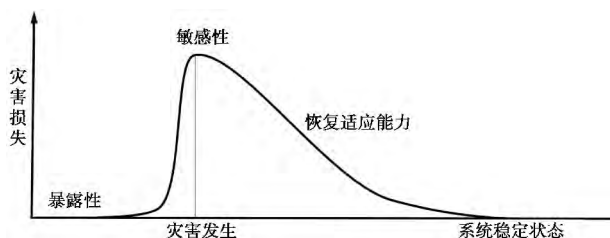


图1 暴露性、敏感性、恢复适应能力在灾害发生时的不同作用

Fig. 1 Exposure, sensitivity and resilience to different action in the disaster

灾害发生时才会体现出来,恢复适应能力从灾害发生后开始起作用,影响整个系统恢复到稳定状态的时间长短。

易损性可以表达成暴露度、敏感性和恢复适应能力的函数。但他们之间的关系是怎样的,评价时应该选择何种函数关系类型,目前尚未有对此有深入的研究。本文以泥石流灾害为例,探讨中小尺度区域的易损性,从其形成机理出发建立适合的评价函数,通过历史灾情的统计分析估计参数,并且将其应用于易损性评价和灾害管理中。

我国是受泥石流灾害影响最为严重的国家之一,特别是在西南山区每年都会造成巨大的人员伤亡和财产损失,对泥石流灾害的研究也越来越受到广泛的关注。武都区位于甘肃省东南部,介于青藏高原、黄土高原和四川盆地三大地貌单元之间,岩层破碎,地质构造活动强烈,是我国泥石流活动最为频繁的地区之一^[15]。武都区的泥石流分布面积广,特别是沿白龙江两岸成片密集分布并且具有暴发频率高、突发性强、破坏力大等特点^[16-18]。对于区域泥石流灾害易损性研究具有较好的代表意义,其泥石流灾害点分布如图2所示。在对区域泥石流历史灾情分析上,国内较少涉及到,主要是因为历史灾情的记录上存在时间不明确,损失模糊,难以量化等问题,但历史灾情很好地表征了灾害影响范围和损失情况,对整个区域易损性评价有较好的指导意义。武都区经常受到泥石流的干扰,存在相对较详细的历史灾情记录,在此搜集了武都区自20世纪60年代以来近50a的泥石流灾情记录,对其进行统计分析,以此为依据进行易损性评价函数的参数估计。

1 易损性评价函数的构建

1.1 构成原理

在易损性构成中,暴露性是自然系统属性的反

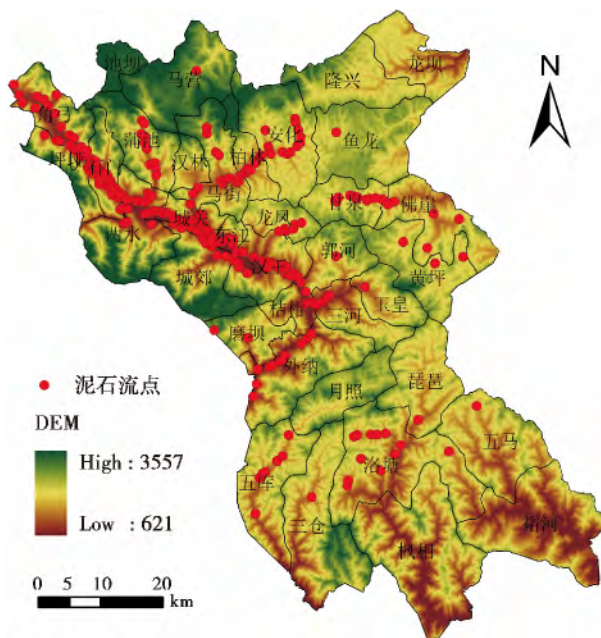


图2 武都区泥石流灾害点分布图

Fig. 2 Debris flow hazard distribution of Wudu county

应,敏感性是人类社会系统的属性,自然灾害的发生就是自然系统的暴露性和人类社会系统的敏感性相互作用的结果。如果只存在自然环境的暴露性或人类社会系统的敏感性,并不会造成灾害,两者之间相互依存,彼此互为条件,表示为积函数的形式。与此同时,由于整个系统存在自我的调节能力,暴露性和敏感性与易损性都不是简单的线性关系,随着暴露性和敏感性的增加,易损性不是呈直线型增长,而是增长率逐渐减缓,呈现指数形式增长。暴露性和敏感性是系统形成灾害的前提条件,而恢复适应能力是系统在灾害发生后表现出来的属性,不同的恢复适应能力,决定灾害发生后的可能次生灾害程度以及灾后恢复时间的长短。

基于对易损性的形成机理的理解,暴露性和敏感性是系统的要素“投入”,最后的灾害形成是系统的“产出”,其形成原理类似经济学中的投入和产出,恢复适应能力类似于系统的综合技术水平,由此借鉴经济学中的经典生产函数——柯布-道格拉斯(C-D)生产函数,来模拟区域易损性形成条件。C-D生产函数来源于经济学中对生产过程中投入和产出的探讨,用来测定资本和劳动投入量对产出的影响^[19],简单易于理解且应用广泛。C-D生产函数的一般形式为

$$Q = A \times L^{\alpha} \times K^{\beta} \quad (1)$$

式中 Q 代表产量 A 为综合技术水平 L 和 K 分别

代表劳动和资本 α 和 β 为参数,且 $0 < \alpha, \beta < 1$ 。当 $\alpha + \beta = 1$ α 和 β 分别表示劳动和资本在生产过程中的相对重要性。

易损性的形成原理与生产函数类似,据此提出易损性指数(VI) 的评价方法

$$VI = A \times E^{\alpha} \times S^{\beta} \quad (\alpha + \beta = 1) \tag{2}$$

式中 VI 为易损性指数; A 代表评价单元的适应恢复能力; E 代表评价单元的暴露性指数; S 代表评价单元的敏感性指数。 α 和 β 为参数且 $\alpha + \beta = 1$,分别表示暴露性指标和易损性指标在灾害形成过程中的相对重要性。

易损性评价中暴露性和敏感性指标的选择以乡镇为评价单元,以密度指标来计算,也就是说把评价单元内承灾体作为均质分布的,而实际上他们的分布都是不均匀的,特别是作为承灾体的人类社会系统,具有明显的集聚性^[20]。为了减小因为集中分散对评价结果带来的影响,引入集中分散指数“ C ”,进而将易损性评价函数优化。

$$VI = A \times C \times E^{\alpha} \times S^{\beta} \quad (\alpha + \beta = 1) \tag{3}$$

式中 C 为乡镇的集中分散指数;其他符号意义同前。

1.2 评价指标体系

暴露性指数(E) ,以泥石流灾害点密度和泥石流流域面积密度两项来衡量,以武都区泥石流详查资料为依据,来表征各乡镇内泥石流灾害的威胁程度。敏感性指数(S) 的指标选择多样,因为整个人类社会系统都会受到灾害的影响,文中敏感性的评

价指标是依据研究区近 50 a 的历史灾情的各项损失情况,将损失分为人员伤亡和财产损失,敏感性指数相应分为人口敏感性指数(S_p) 和物质敏感性指数(S_m) 两类,人口敏感性指数以人口密度来衡量,物质敏感性依据财产类损失内容其中包括房屋、农田、道路、牲畜、河堤、桥梁渠道等,据此建立敏感性的评价指标体系,具体评价指标包括建筑密度、耕地密度、肉类产量、路网密度、公共设施密度(包括供水和供电) ,特别说明的是当地畜牧业、养殖业较多,增加肉类产量作为评价指标之一。恢复适应能力是系统吸收干扰并继续维持其原有功能结构的能力,是区域整体实力的体现,经济条件越好的地区恢复适应能力越强,其对易损性的影响是逆向的。恢复适应能力内涵较抽象不易量化,文中选择地方财政总收入、居民人居纯收入、居民职业结构 3 各指标来表征恢复适应能力指数(A) 。集中分散指数(C) 以自然村密度和住户密度来衡量。各指标的具体内容及算法见表 1。

1.3 数据处理

1.3.1 指标体系数据处理

对于较为复杂的敏感性指标,在历史灾情各项损失统计的基础上,将武都区所有泥石流沟的各项损失情况累计求和,以 2012 年的平均基准价格将各项损失折现,按照损失价值的比例计算各项权重。具体处理方法如下:

首先,以每条泥石流沟分别统计每次泥石流灾

表 1 易损性各组成部分的评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of each part of the vulnerability

名称 Name	指标 Zndex	算法 Algorithm
泥石流暴露性指数(E)	泥石流灾害点密度	泥石流沟个数/乡镇面积
	泥石流流域面积密度	泥石流流域总面积/乡镇面积
	建筑密度	建筑面积/乡镇面积
	耕地密度	年末常用耕地面积/乡镇面积
物质敏感性指数(S_m)	肉类产量	肉类总产量/乡镇面积
	路网密度	本乡镇公路里程/乡镇面积
	公共设施密度	供水管道长度/乡镇面积
		供电线路长度/乡镇面积
人口敏感性指数(S_p)	人口密度	乡镇总人口/乡镇面积
	职业结构	从事第二、三产业人口/总人口
	恢复和适应能力指数(A)	居民人均收入
集中分散指数(C)	地区财政收入	财政总收入/乡镇面积
	自然村密度	自然村个数/乡镇面积
	住户密度	总住户数/乡镇面积

害的各项损失情况,内容包括人员、房屋、农田、牲畜、道路及其他设施。统计时需注意:1. 所有有损失记录的灾害点不论发生几次都统计在内;2. 房屋半损毁的按照 50% 的比率统计到完全损毁中;3. 在人员损伤一项中,受伤的人员按照 50% 的比率统计到死亡人数中,然后将损失各项求和。其次,暂不考虑伤亡人数,只计算物质损失情况,以 2012 年的武都区的平均基准价格,房屋包括室内财产损失每间计价 1.5 万元;农田每 0.07 hm² 的平均收益 1 000 元/a(将其换算为每平方千米的平均收益);牲畜一项当地大牲畜比例较大,每头以 2 000 元/头计算;道路的平均价格考虑到泥石流对于道路的破坏包括完全破坏和掩埋,每米平均计价 2 000 元;其他供水、供电等基础设施一项折现到 2012 年泥石流直接损失金额约 1 500 万元。最后,将各项损失金额合计,求出各项损失所占的百分比。结果如表 2。

从各项损失的统计结果可以看出,在泥石流造成的直接经济损失中,房屋是最重要的部分,损失百分率达 65%,紧随其后的分别是对道路及桥梁的破坏和农田的损失。依据历史灾情损失情况,建立物质敏感性指数的评价指标体系,包括建筑密度、耕地密度、肉类产量、路网密度、公共设施密度(包括供水和供电),并依据各项损失占总损失的百分比,确定各指标的权重值。

暴露性指数、恢复适应能力指数和集中分散指数的指标数量较少,相互之间不存在明显的相对重

要程度问题,在此不考虑权重,处理方法是各项指标归一化,归一化方法如公式(4),计算结果不考虑权重直接相加,得到矢量和再以相同方法的归一化处理,敏感性结果最后也要再归一化。最终结果是使暴露性、敏感性、恢复适应能力指数和集中分散指数数值都在 0~1 之间。

$$X_i^0 = \frac{X_i - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \tag{4}$$

1.3.2 各乡镇直接经济损失情况统计

上面内容对有记录的每条泥石流灾害损失情况作了统计分析,得到泥石流灾害各项平均损失情况,接下来以武都区各乡镇为统计对象对历史灾情的直接经济损失做进一步的统计分析,具体处理方法如下:

首先,按灾害发生的年份统计各乡镇泥石流的损失情况,损失包括人员伤亡和直接经济损失。在统计数据注意:1. 对于已经合并乡镇,按照最新的行政区划,归属到目前所在的乡镇;2. 对于记录中发生过两次以上灾害的泥石流沟,只统计其影响最严重的那一次;3. 在人员损伤一项中,受伤的人员按照 50% 的比率统计到死亡人数中。其次,对于直接经济损失,按照每年 8% 的社会折现率将各年的损失值统一折现到 2012 年。统计计算结果如表 3(武都区目前共有乡镇 36 个,有历史灾情记录的共有 23 个,其余 13 个没有记录)。

1.4 参数估计

表 2 近 50 年来武都区泥石流灾害各项损失情况

Table 2 The loss of debris flow disaster in Wudu area in recent 50 years

分类 Classification	人口 Population	房屋 Buildings	农田 Farmland	牲畜 Livestock	道路 Road	其他设施 Other facilities
损失数量 Number of losses	71/人	8 285/间	13.217/km	910/头	14 290/m	—
损失金额(万元) Amount of loss/(10 000 yuan)	—	12 427.5	1 982.5	182	2 858	1 500
各项损失百分比(权重) Loss percentage(weight)	—	0.656	0.105	0.01	0.151	0.079

表 3 近 50 来武都区各乡镇泥石流灾害直接经济损失折现

Table 3 The discount of direct economic loss of the township debris flow disaster in Wudu in recent 50 years

乡镇名 Township name	城郊乡	汉王镇	城关镇	洛塘镇	汉林乡	东江镇	角弓镇	两水镇	马街镇	蒲池乡	石门乡
财产损失/万元 Property damage/(10 000 yuan)	10 949.3	9 277.7	8 875.6	7 864.5	4 726.6	4 146.2	3 561.8	3 255.5	1 950.9	1 014.6	935.8
乡镇名 Township name	外纳乡	桔柑乡	五马乡	五库乡	佛崖乡	甘泉镇	三仓乡	安化镇	柏林乡	琵琶镇	
财产损失/万元 Property damage/(10 000 yuan)	710.2	665.9	448.4	268.9	186.4	186.4	111	46.6	46.6	9.5	

注:财产损失折现到 2012 年。

在评价函数中有两个参数 α 和 β $\alpha + \beta = 1$, 只有一个参数 α 需要确定。 α 和 β 表示暴露性和敏感性在整个致灾条件中的相对重要性,也就是在灾害的损失中,需要确定暴露性和敏感性那个贡献率更大,基于历史灾情的统计分析可以估计参数大小。在参数估计时,敏感性指数没有加入人口敏感性指数,主要是因为泥石流灾害与暴雨存在很大关系,其发生时间存在较大的偶然性,如果灾害发生在白天,人们可以在泥石流发生前转移到安全地带,如果泥石流灾害发生在夜里,人口往往不能及时转移,会造成较大的人员伤亡,而物质敏感性由于存在较小的可移动性不存在上述问题。依据历史灾情的直接经济损失来表征各乡镇的易损性值,暂时不考虑恢复适应能力指数。易损性指数简化为

$$VI = C \times E^\alpha \times Sm^\beta \quad (\alpha + \beta = 1) \tag{5}$$

由于评价函数所采用的数据是归一化后的相对指标,对于参数的估计不适合建立回归分析,采取了不同参数结果比对的方法,寻找相关性最高的参数值。选择了 11 组 α 和 β 值分别进行计算,将计算结果与存在灾害记录的各乡镇折现后的灾害损失情况进行相关性分析,不同的 α 值和系数的结果如表 4。

从表 4 中可以看出 α 、 β 取值分别为 0.2 和 0.8 时,两者的相关性最高,也就是说在致灾条件中,敏感性的相对重要程度要高于暴露性,这说明在人地系统中决定灾害损失大小的,灾害点暴露性只是占贡献率的小部分,而人类社会系统的敏感性占整个损失贡献率的大部分。将暴露性、敏感性与易损性的关系表示在三维图上,如图 3。

2 评价函数的应用与讨论

2.1 评价函数的应用

参数确定后,武都区泥石流区域易损性的评价函数已经建立完成,但是在区域易损性的评价中还存在两个问题需要说明: 1. 在敏感性指标的选择上,只是依据历史灾情从物质易损性上分析灾害损失情况,这只是灾害损失的一方面,人口的损失没有考虑

其中,但一般认为人口分布与物质财富的分布具有显著的相关性,物质财富越多的地区人口分布也越集中,在此不会对函数中参数的估计造成影响。人口损失和经济损失是灾害敏感性最直接的反应,两者之间是并列关系应表示为相加的和函数形式,同时人口和财产是两个相互独立的部分,对于灾害损失来讲同样重要,在此不考虑相互间的权重。2. 易损性评价包含暴露性、敏感性和恢复适应能力 3 部分,区域的易损性指数还需要添加区域集中分散指数。补充完整后易损性评价函数变为

$$VI = A \times C \times E^{0.2} \times (Sm + Sp)^{0.8} \tag{6}$$

式中 VI 是易损性指数; A 代表评价单元的适应恢复能力; C 为区域集中分散指数; E 为暴露性指数; Sm 为物质敏感性指数; Sp 为人口敏感性指数。

将评价函数应用于 2012 年武都区易损性的评价,在假定暴露性指标不变的前提下,参考历史灾情中各项损失所占比重,运用层次分析法来确定目前物质敏感性指标的各项权重。现今整个承灾系统较之前有所不同,特别是交通和供水供电等公共设施系统,其影响范围和程度远高于从前。调整后的物质敏感性的各指标权重如表 5。

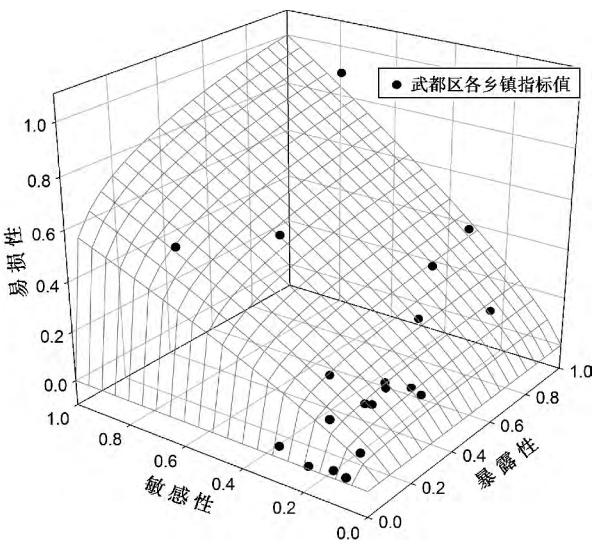


图 3 武都区泥石流暴露性、敏感性与易损性关系图

Fig. 3 The diagram about exposure , sensitivity and vulnerability of debris flow in Wudu

表 4 不同 α 值对应的相关系数对比
Table 4 The correlation coefficient result between different values of α

α 值 Vale	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
相关系数	0.607	0.649	0.69	0.729	0.764	0.795	0.818	0.831	0.837	0.819	0.792

不可避免地会占据到泥石流危害到的地方,如果以乡镇为规划对象,可以合理地控制区域的增长,避免侵占到泥石流危险区,有效地降低泥石流灾害对区域造成的损失。

参考文献(References)

- [1] Janssens M A, Schoon M L, Ke W et al. Scholarly net works oil resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change [J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 240–252
- [2] Li He, Zhang Pingyu, Cheng Yeqing. Concepts and assessment methods of vulnerability [J]. *Progress in Geography*, 2008, 27(2): 18–25 [李鹤, 张平宇, 程叶青. 脆弱性的概念及其评价方法[J]. *地理科学进展*, 2008, 27(2): 18–25]
- [3] Adger W N, Brooks N, Bentham G, et al. New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity[R]. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research(Technical Report No. 7), 2004.
- [4] Adrianto L, Matsuda Y. Developing economic vulnerability indices of environmental disasters in small island regions [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2002, 22(4): 93–414
- [5] Downing T E. Towards a Vulnerability Science [G]//IHDP Newsletter Update3, 2000.
- [6] Cutter S L. A Research Agenda for Vulnerability Science and Environmental Hazards [G]//IHDP Newsletter Update 2 2001.
- [7] Cutter S L. The vulnerability of science and the science of vulnerability [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(1): 1–12
- [8] Kaspersen J X, Kaspersen R E. International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change[R]. SEI Risk and Vulnerability Programme Report 2001–01, Stockholm Environment Institute (SEI), Stockholm, Sweden, 2001.
- [9] Kates R W, Clark W C, Corell R, et al. Environment and development: sustainability science [J]. *Science*, 2001, 292(5517): 641–642
- [10] Eakin H, Luers A L. Assessing the vulnerability of social-environmental systems [J]. *Annual Review of Environment and Resources* 2006, 31: 365–394
- [11] Schroter D, Metzger M J, Cramer W, et al. Vulnerability assessment—analysing the human-environment system in the face of global environmental change [J]. *The ESS Bulletin*, 2004, 2(2): 11–17
- [12] Tian Yaping, Xiang Qingcheng, Wang Peng. Coupled human environment system vulnerability and evaluation index system [J]. *Geographical Research*, 2013, 32(1): 55–63 [田亚平, 向清成, 王鹏. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系[J]. *地理研究*, 2013, 32(1): 55–63]
- [13] Li He, Zhang Pingyu. Vulnerability of urban employment of mining cities in Northeast China [J]. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 751–760 [李鹤, 张平宇. 东北地区矿业城市社会就业脆弱性分析[J]. *地理研究*, 2009, 28(3): 751–760]
- [14] Eakin H, Luers A L. Assessing the vulnerability of social-environmental systems [J]. *Annual Review of Environment and Resources* 2006, 31: 365–394
- [15] Shi Peijun, Wang Jing'ai, Chen Jing, et al. The future of human-environment interaction research in geography: Lessons from the 6th open meeting of IHDP [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(2): 115–126 [史培军, 王静爱, 陈婧, 等. 当代地理学之人地相互作用研究的趋向: 全球变化人类行为计划(IHDP)第六届开放会议透视[J]. *地理学报*, 2006, 61(2): 115–126]
- [16] Yuan Bin, He Faguo, Li Junpen, et al. The relationship of debris flow activity and rainfall characteristics in Gansu Wudu area [J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Science* 2012, 48(6): 15–20 [袁斌, 和法国, 李军鹏, 等. 甘肃武都区泥石流活动与降雨特征关系[J]. *兰州大学学报: 自然科学版* 2012, 48(6): 15–20]
- [17] Ning Na, Tian Liming, Zhang Peng et al. Risk assessment of debris flow in Wudu area of southern Gansu [J]. *Mountain Research*, 2013, 31(5): 601–609 [宁娜, 田黎明, 张鹏, 等. 甘肃南部武都区泥石流危险性评价[J]. *山地学报*, 2013, 31(5): 601–609]
- [18] Gong Jie, Zhao Caixia, Wang Heling, et al. Ecological risk assessment of geological disasters in mountainous area of Longnan——A case study in Wudu District of Longnan city [J]. *Mountain Research*, 2012, 30(5): 570–577 [巩杰, 赵彩霞, 王合领, 等. 基于地质灾害的陇南山区生态风险评价——以陇南市武都区为例[J]. *山地学报* 2012, 30(5): 570–577]
- [19] Wang Ruiyan, Zhao Gengxin, Zhou Wei et al. Assessment and dynamic changes of environmental vulnerability at county level: A case study in Kenli County of the Yellow River Delta [J]. *China. Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3790–3799 [王瑞燕, 赵庚星, 周伟, 等. 县域生态环境脆弱性评价及其动态分析: 以黄河三角洲垦利县为例[J]. *生态学报*, 2009, 29(7): 3790–3799]
- [20] Li Zexin, Wang Rong. Traffic environment characteristics and control measures of mountainous city road [J]. *Mountain Research*, 2014, 32(1): 46–51 [李泽新, 王蓉. 山地城市道路交通环境特点及其控制对策[J]. *山地学报*, 2014, 32(1): 46–51]

Research on Debris Flow Disaster Vulnerability Based on the Production Function

GU Chunjie , SUN Shuang , NING Na , MA Jinzhu

(Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (MOE) Lanzhou University 222 South Tianshui Road , Lanzhou 730000 , China)

Abstract: Recently the basic parts of natural disasters vulnerability have reached a preliminary consensus , which is including exposure , sensitivity and resilience , but there hasn't been any in-depth analysis for its internal relationships. Vulnerability assessment always mingle the exposure , sensitivity and resilience index together , or although the choice of evaluation index are separate , the final evaluation still as a whole , there is no inherent mechanism of the system analysis. This paper attempts a comprehensive analysis of the debris flow disaster , considering the relationship between exposure , sensitivity , resilience of the coupled human and environmental systems and the influence about vulnerability , with reference to the C – D production function in economics and established vulnerability assessment function. On the basis of analysis the loss of debris flow in the research area nearly 50 years history , the evaluation index of exposure and sensitivity are ascertained , and the weight of sensitivity evaluation index are determined by the accumulated loss of different types , then the function parameter are estimated from the direct economic losses of the disaster. By comparing the calculated results with different parameters , the contribution rate about sensitivity of human social and economic system for region vulnerability is about 0.8 , far higher than the geological hazard exposure of the contribution rate of 0.2. Finally , the vulnerability evaluation method of production function is consummated , and then apply it to assess the current vulnerability in the study area , finally some suggestions are put forward on how to reduce the region vulnerability.

Key words: vulnerability; debris flow; C – D production function; loss of history disaster