

快速空间扩张下西安市边缘区社会脆弱性多尺度评估

黄晓军^{1,2}, 王 晨¹, 胡凯丽¹

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127)

摘要:社会脆弱性评估是解析社会脆弱性要素关系、量化社会脆弱性程度、识别脆弱空间单元或社会群体的重要途径,是实现社会脆弱性精准治理的重要依据。本文从外部扰动、内在结构、构成维度、尺度层级4个方面阐释了社会脆弱性概念内涵,并建立起社会脆弱性评估框架(SVAF),明确了社会脆弱性评价流程、评价目标、评价要素和数据方法,提出从暴露度、敏感性和适应能力3个维度构建社会脆弱性评价指标体系。在此基础上,以西安城市边缘区为例,视快速空间扩张为城市边缘区社会系统的主要扰动因子,开展多尺度社会脆弱性评价,得出街道、社区和农户3个尺度上的社会脆弱性空间(类型)分异结果。街道尺度上,低社会脆弱性街道占主体(48%),且多邻近市中心;社区尺度上,居住开发型社区社会脆弱性最高,教育功能型最低;农户尺度上,社会脆弱性以中等为主(52.7%),高社会脆弱性农户(17.5%)少于低社会脆弱性农户(29.9%)。随着街道—社区—农户尺度的下降,社会脆弱性指数的低值化集中趋势愈发显著,在农户—社区尺度之间,社会脆弱性指数等级对应关系相对明显,而其他两个尺度间并不显著。本研究可在社会脆弱性评价流程、评价指标体系、数据方法组织以及多尺度评价等方面为社会脆弱性评估理论研究与实践应用提供有益的探索。

关键词:社会脆弱性;评估框架;指标体系;城市边缘区;失地农民;西安市

DOI: 10.11821/dlxb201806002

1 引言

随着全球环境变化和社会经济的快速转型,地方和人群面临的风险和不确定性因素不断增加,社会经济系统的脆弱性日益加剧,并引起国际社会和国内外学者的广泛关注^[1-3]。目前,脆弱性已成为IHDP(国际全球环境变化人文因素计划)、IPCC(政府间气候变化专门委员会)、UNISDR(联合国国际减灾战略)、Future Earth(未来地球计划)等国际性科学计划与机构持续关注的研究主题^[4-7]。与灾害和环境脆弱性相比,社会脆弱性更为关注人和社会在环境变化中的主体关系,既考虑外部环境变化的影响,更注重探讨人和社会容易受到损害的政治、经济、制度和文化因素以及提高社会系统适应力与恢复力的人文机制和对策^[8-9]。

国外对社会脆弱性的研究涵盖了灾害学、地理学、环境学、社会学和经济学等不同学科领域,以Adger等^[10-11]、Cutter等^[12-14]为代表的学者长期从事社会脆弱性相关研究工作,取得了丰富的研究成果。总体来看,自然灾害、环境变化背景下的社会脆弱性仍是

收稿日期: 2017-09-29; 修订日期: 2018-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401138); 中央高校基本科研业务费资助项目(310827171012) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41401138; The Fundamental Research Funds for the Central Universities, No.310827171012]

作者简介: 黄晓军(1983-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 副教授, 博士生导师, 中国地理学会会员(S110006754M), 主要从事人地耦合系统脆弱性研究。E-mail: huangxj@nwnu.edu.cn

1002-1017 页

当前主要研究内容;研究成果主要集中在社会脆弱性概念框架^[15-16]、社会脆弱性评估^[17-19]、社会脆弱性时空演化^[20]、社会脆弱性影响因素和治理政策^[21]等。与之相比,国内社会脆弱性研究起步相对较晚,已有成果多侧重探讨自然灾害^[22]、气候变化^[23]、资源衰退^[24]背景下的社会脆弱性,主要内容包括社会脆弱性概念及构成因子^[25]、社会脆弱性评价及影响因素^[26-27]、社会脆弱性的规避措施^[28]等。综合国内外研究来看,由于社会脆弱性评价可以实现社会系统脆弱性程度的量化、分异结果的可视化表达与比较,以及提供具有指向性的社会脆弱性治理对策,从而成为社会脆弱性研究的重点和热点。尽管社会脆弱性评价的重要性已得到广泛认同,但在具体的研究中,对于社会脆弱性评价要素、指标体系构建、数据筛选组织等仍存在较大分歧^[29],特别是多尺度社会脆弱性评价的要素关系、指标区分与尺度关联等仍有待于进一步探讨。

近年来,中国城市空间扩张迅速,交通、工业、住宅等功能空间不断向城市郊区蔓延,而城市建设用地的增量主要源于城市近郊地区的农地征收,这使得地处城市和乡村交界面的城市边缘区成为城市空间扩张影响最剧烈和最深刻的地区^[30-31]。在此背景下,城市边缘区社会系统受到持续的空间重构和频繁的功能转换的深刻影响,并引发了以失地农民问题为代表的一系列城市社会矛盾。城市边缘区已成为城市中最不稳定和最敏感区域,城市边缘区的失地农民也成为城市中最脆弱的社会群体。因此,聚焦城市边缘区空间—社会变化过程,科学评估快速空间扩张下的城市边缘区社会脆弱性程度,准确识别脆弱的地方社会系统和社会群体,对实现社会脆弱性精准治理、维护社会空间公平和城市健康有序发展具有重要意义。

本文基于社会脆弱性概念与内涵的系统解析,构建了社会脆弱性评估框架。在此基础上,以西安城市边缘区社会脆弱性评价为例,视快速空间扩张为边缘区社会系统的主要扰动因子,分别从街道、社区、农户3个尺度开展社会脆弱性评估。本研究可在社会脆弱性评价流程、评价指标体系、数据方法组织以及多尺度评价等方面为社会脆弱性评估理论研究与实践应用提供参考。

2 社会脆弱性概念内涵与评估框架

2.1 社会脆弱性概念内涵

社会脆弱性多指暴露于外部扰动下的社会系统(家庭、群体或社会组织),由于自身的敏感性特征和缺乏对不利扰动的适应能力而使系统受到的负面影响或损害状态^[32]。社会脆弱性内涵可通过以下几个方面进一步阐释(图1)。

(1) 外部扰动。扰动是指社会系统面临的外部风险、压力和冲击,当外部扰动破坏了社会系统的基本结构和功能时,社会系统脆弱性就会突显,多集中体现在生命财产损失、公共健康危害、生计资本丧失、社会贫困等方面。从扰动源来看,既包括气候变化、自然灾害等自然事件,也包括环境污染、社会经济变革、土地利用变化等人类活动影响。社会系统可能面临单一扰动,也可能受到多重扰动的影响。

(2) 内在结构。外部扰动是社会系统脆弱性发生的外部驱动因素,而系统的内在结构特征决定了施加在系统上的扰动能否突破系统维持其基本结构和功能的阈值。一个具有较强稳定性、多样性、开放性和流动性的社会系统往往更容易吸收、抵抗和应对外部扰动,从而呈现出较低的脆弱性;相反,社会系统结构松散、构成单一、封闭固化将更容易受到外部扰动的影响,脆弱性也将更突出。外部扰动是社会系统脆弱性的条件,系统内在结构特征是决定社会脆弱性的主要原因,并影响着社会脆弱性的结果。

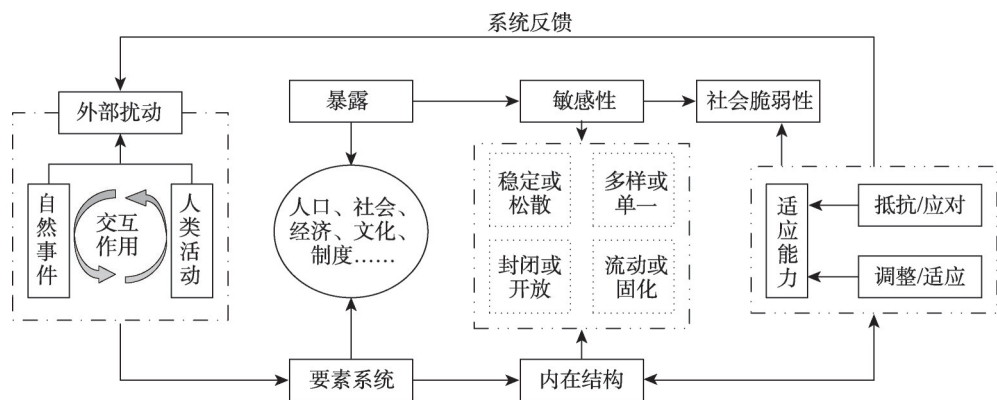


图1 社会脆弱性的概念内涵

Fig. 1 The concept and connotation of social vulnerability

(3) 构成维度。社会脆弱性描述了暴露于外部扰动的社会系统敏感性及其适应能力特征，因此，它是一个关于暴露度、敏感性和适应能力的函数^[33]。暴露度反映社会系统受外界扰动的程度，与扰动的强度、频率、持续时间以及空间上的邻近性相关^[34]；敏感性是社会系统是否容易受到扰动影响的程度，是度量系统被破坏的临界条件的主要维度，取决于系统的内在结构特征；适应能力是社会系统能够应对、调整和适应外部扰动的能力，一般由适应主体的财富状况、技术水平、教育程度、社会资本、信息获取和管理能力等决定^[35]。暴露度、敏感性和适应能力已成为理解社会脆弱性的3个核心维度^[36]。

(4) 尺度层级。不同尺度下社会脆弱性的要素、结构具有明显差异性，在具体研究中需要作出明确的尺度界定。社会脆弱性的研究尺度可划分为空间和社会两种类型，空间尺度包括社区、城市 and 区域等不同层级的空间单元，可理解为“地方社会系统脆弱性”；社会尺度包括家庭、群体和社会组织等不同层级的社会单元，可理解为“特定社会群体脆弱性”。对于地理学视角的社会脆弱性研究而言，最小的空间尺度和社会尺度分别为社区和家庭。在具体的研究也可以将两者结合，即探讨“特定地方的特定人群的脆弱性”。

2.2 社会脆弱性评估框架

脆弱性评估框架是整合评价流程、数据方法与指标体系的重要工具。目前较为常用的主要有 ADV (Agents' Differential Vulnerability) 框架^[37]和 VSD (Vulnerability Scoping Diagram) 框架^[38]。其中，ADV 框架是以行为主体为中心的“交互式脆弱性评估框架”，其优点是将行为主体的认知、行为选择和适应性纳入其中，不足之处是该框架注重的是社会行为主体，缺乏从空间或地方视角的考虑；VSD 框架将脆弱性分解为暴露度、敏感性和适应能力3个维度，提出了脆弱性评价流程的具体步骤，具有较强的规范性和可操作性，得到广泛关注和应用^[39-40]，但该框架侧重于一般脆弱性评估，而非专门的社会脆弱性评估框架。

根据社会脆弱性概念内涵，参考 VSD 框架，本文从地理学视角构建了社会脆弱性评估框架 (Social Vulnerability Assessment Framework, SVAF) (图2)。在 SVAF 中，共有7个评价步骤，分别是明确评价单元类型 (空间或社会)、梳理研究区域或对象群体背景资料、确定社会脆弱性因子构成及其作用关系、构建评价模型、筛选数据并建立评价指标体系、选择适当的评价方法、测度社会脆弱性并对结果分析。SVAF 评价目标是地方社会 (系统) 脆弱性或群体社会脆弱性，通过暴露度、敏感性和适应能力3个维度进行解析和

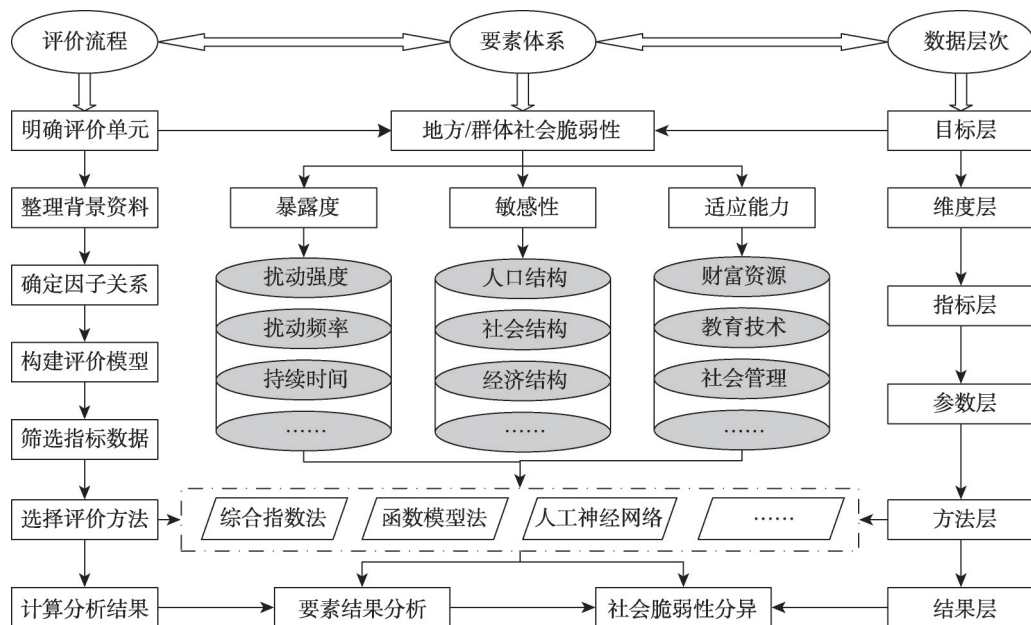


图2 社会脆弱性评估框架

Fig. 2 Social vulnerability assessment framework

构建指标体系，基于目标层—维度层—指标层—参数层—方法层—结果层来组织和表达数据。同时，该框架提供了社会脆弱性评价方法集，目前有多种评价方法可供选择，包括综合指数法、函数模型法、人工神经网络模型法、决策树分析法、图层叠置法、空间多准则评估法等^[32]，不同方法在计算、解释和分析过程中各有利弊，可根据研究需要进行选择。社会脆弱性评价结果可对暴露度、敏感性和适应能力分别分析，同时也可以揭示出社会脆弱性程度及其空间/人群的分异，在数据等研究条件允许情况下，可加上时间维度，进一步开展社会脆弱性演化过程等问题的研究。

2.3 社会脆弱性评估维度

根据社会脆弱性概念内涵和评估框架，暴露度、敏感性和适应能力是理解社会脆弱性并进行评价研究的核心维度，围绕这3个维度选取相应替代性指标并建立起科学的指标体系是社会脆弱性评价的关键。

暴露度反映社会系统受外部扰动的程度，可通过扰动强度（外部扰动的强弱程度）、扰动频率（一定时间内外部扰动的出现次数）、扰动持续的时间（外部扰动事件持续的时长）、空间邻近性（距扰动源的空间距离或受外部扰动影响的概率）等指标来反映，具体参数应根据扰动类型来确定。以城市高温热浪为例，扰动强度可采用月平均气温或最高气温，扰动频率可采用一段时间内（月）气温高于某度的天数，扰动持续时间可采用连续超过某度的天数，空间邻近性可选择距离市中心的距离（考虑城市热岛效应的影响）。

敏感性反映评价对象容易受到扰动的影响程度，取决于评价对象系统结构的内在特征。由于评价对象可能是空间单元，也可能是社会单元，可根据具体对象的系统特征，选择反映其内在结构与功能属性的指标参数。其中，群体社会脆弱性评价多采用人口结构和社会经济属性指标，如年龄结构、性别结构、健康状况、职业类型、经济收入等；地方社会脆弱性多选择反映区域社会系统结构特征的相关指标，如经济结构（产业产值比例、就业比例等）、社会结构（组织结构、阶层结构等）、空间结构（土地利用结构）等。

适应能力反映社会系统应对、调整和适应外部扰动的能力水平，多由适应主体的财富状况、技术水平、教育程度、社会资本、资源禀赋和管理能力等决定。与敏感性类似，适应能力指标参数也因评价对象不同而有所差异。地方社会系统适应能力多与区域社会经济资源、基础设施或社会公共服务设施水平、技术创新与投入、政府部门的行动规划或管理能力等有关；群体适应能力则主要侧重于社会人群的收入水平与财富资源、受教育程度、社会资本与社会网络、信息获取能力等。

3 研究区域、方法与数据

3.1 研究区域

西安市是中国西北地区中心城市，近年来随着城市化发展，城市空间规模实现快速扩张。2001-2015 年，城市建成区面积从 187 km² 增长至 548.6 km²，规模扩张了近 2 倍，年均增速 7.9%，高于同期全国 5.6% 的平均增速，城市建成区的土地增量主要来源于城市边缘区农业用地的不断征收。伴随着快速的城市空间扩张，大量失地农民亦随之产生，据不完全统计，西安市失地农民总量已超过 50 万，约占西安市农业人口的 1/4^[41]。因此，以西安市为案例研究具有较强的典型性和代表性。

为科学界定西安城市边缘区，参考相关学者的研究方法^[42-43]，首先对西安市遥感影像进行解译并划分土地利用类型，并采用 Fragstats 4.2 软件计算获得斑块密度、香农多样性指数、景观破碎度等景观格局指数，以土地利用数据和景观格局指数为主要依据，结合实地调查，采用定性与定量相结合方法，对西安城市边缘区范围进行界定，最终确定了包含 25 个街道办在内的西安城市边缘区范围（图 3）。为进一步探讨城市空间扩张及土地征收对农村社区和农户的影响，经过实地考察与调研，在城市边缘区范围内选取了 42 个典型社区（村）作为样本，开展多尺度社会脆弱性评估，以识别脆弱的地方（街道和社区）社会系统和脆弱的失地农户，揭示不同尺度社会脆弱性程度的分异特征。

3.2 评价指标体系与数据来源

根据社会脆弱性概念内涵、评估框架以及西安城市边缘区现实特征，分别从街道、

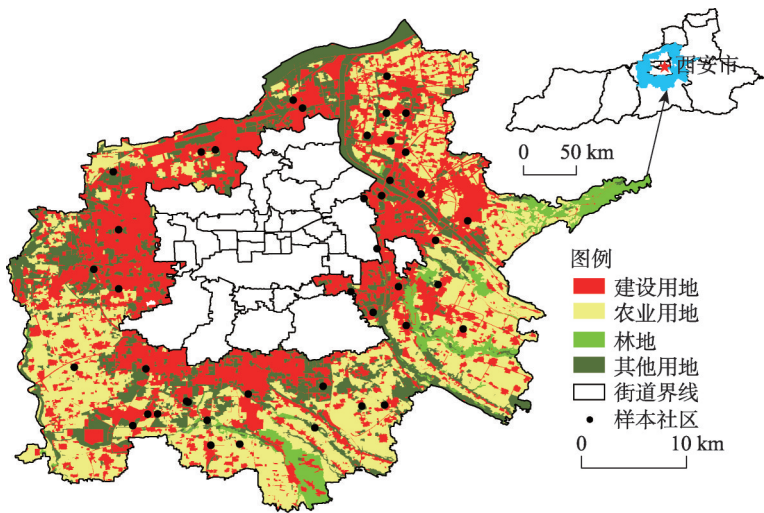


图3 研究区域及调查样本分布示意图

Fig. 3 Sketch map of the study area and investigation samples

社区和农户3个尺度构建社会脆弱性评价指标体系(表1)。街道和社区是西安城市边缘区涵盖的两级空间尺度单元,农户为基本的社会尺度单元。街道尺度的社会脆弱性评价目标主要是分析快速城市空间扩张对不同街道的影响,识别脆弱的街道社会系统,揭示各街道社会脆弱性程度的空间分异特征;社区尺度的评价目标主要是分析城市空间扩张及土地利用功能转换对社区发展的影响,识别脆弱的社区社会系统,揭示各社区社会脆弱性程度的空间分异和类型特征;失地农民是受快速城市空间扩张和土地征收影响最显著的社会群体,基于农户尺度开展社会脆弱性评价可以更有效地反映土地征收对失地农民的影响,进而识别脆弱的失地农户,揭示失地农户社会脆弱性程度的分异特征。

(1) 街道尺度。街道尺度社会脆弱性评价指标体系主要从暴露度、敏感性和适应能力3个维度构建。在相对宏观的街道尺度,城市空间扩张的影响主要体现在城市景观格局的变化与空间重构,因此,暴露度指标选取了距市中心的距离、斑块密度、香农多样性指数、景观破碎度指数和建设用地面积比例5个指标,这些指标反映了各街道受城市

表1 城市边缘区不同尺度社会脆弱性评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of social vulnerability for urban fringe at different scales

尺度	维度层	指标参数及权重	数据来源与指标含义
街道尺度	暴露度	距市中心的距离(0.122)、斑块密度(0.122)、香农多样性指数(0.145)、景观破碎度指数(0.338)、建设用地面积比例(0.273)	数据来源于遥感影像解译。距离为街道质心到钟楼(西安市中心)的直线距离;景观格局指数和建设用地面积通过ArcGIS和Fragstats软件计算获得。
	敏感性	农业人口比例(0.304)、第一产业总产值(0.377)、人均耕地面积(0.319)	数据来源于街道统计年鉴。反映街道人口结构、产业结构、土地空间结构的敏感性状态。
	适应能力	规模以上工业增加值(0.268)、全社会固定资产投资(0.245)、城乡居民收入比(0.062)、人均社会消费品零售额(0.280)、农村劳动力从事非农产业人员比例(0.051)、初中以上学历人口比例(0.055)、文盲人口占15岁以上人口比例(0.039)	数据来源于街道统计年鉴和人口普查数据,反映各街道空间单元的经济发展水平、城市建设水平、居民生活消费水平、居民就业多样性、人口受教育程度等。
社区尺度	暴露度	距市中心距离(0.285)、距最近公交站距离(0.184)、土地征收面积比(0.271)、外来人口比例(0.261)	数据来源于社区统计数据和社区关键人物访谈。距离为社区到钟楼(西安市中心)的直线距离;其它数据通过实地调查和社区关键人物访谈获得。
	敏感性	土地依赖度(0.279)、劳动力失业率(0.163)、社区抚养比(0.138)、女性劳动力比例(0.101)、社区恩格尔系数(0.144)、医疗支出比(0.176)	数据来源于社区统计数据和社区关键人物访谈。土地依赖度为社区原有土地全年总收入;抚养比为老年人口和未成年人口总数与劳动力比值。
	适应能力	社区人均收入(0.147)、人均居住面积(0.052)、拥有汽车家庭比例(0.059)、邮电业务量(0.066)、社会连通度(0.096)、拥有技能人员比例(0.117)、初中以上学历人口比例(0.068)、出租房屋家庭比例(0.176)、个体从业人员比例(0.114)、外出务工人员比例(0.107)	数据来源于社区统计数据和社区关键人物访谈。邮电业务量为社区网络、电话等费用支出;社区社会连通度为社区平均家庭亲戚数及其联系程度(五点量表获取)的乘积;社区技能人员比为社区内具有专业技能人员比例;社区租赁家庭比为社区内有出租住房家庭比例。
农户尺度	暴露—敏感度	失地面积(0.250)、失地前农业收入(0.750)	数据来源于农户问卷调查。反映土地征收对农户的影响及其敏感性程度。
	适应能力	家庭劳动力数量(0.038)、家庭初中以上学历比例(0.054)、人均住房面积(0.101)、是否有经营性住房(0.088)、获得征地补偿款(0.193)、是否有借款(0.076)、亲戚数量(0.032)、社会连接度(0.031)、家庭人均年收入(0.178)、收入多样性指数(0.134)、是否参加就业培训(0.031)、政策知晓度(0.021)、政府关心度(0.021)	数据来源于农户问卷调查。其中,是否有经营性住房、是否有借款、是否参加就业培训采用二值化表示,0=否,1=是;社会连接度、政策知晓度、政府关心度通过五点量表获取;家庭收入多样性指数计算公式为: $R = -\sum_{i=1}^M p_i \ln p_i$, M 为家庭收入来源的种类; p_i 为某一项收入 i 占家庭总收入的比例。

空间扩张扰动的频率、强度和状态特征。由于不同街道发展阶段和结构特征的差异,各街道对城市空间扩张影响会呈现出不同的敏感状态,因此,主要选择农业人口比例、第一产业总产值和人均耕地面积3个指标来表征各街道社会结构、经济结构和空间结构的敏感性状态。对于快速城市化与持续的空间重构,街道社会经济系统也在进行调整以应对和适应环境的变化,考虑到数据的可获得性,主要从街道的经济发展、城市建设、收入消费、就业教育等方面选取规模以上工业增加值、全社会固定资产投资、城乡居民收入比、人均社会消费品零售额、农村劳动力从事非农产业人员比例、初中以上学历人口比例、文盲人口占15岁以上人口比例等7个指标来表征街道社会系统对空间城市化扰动的应对、适应与转型能力。

(2) 社区尺度。社区尺度社会脆弱性评价指标体系主要从暴露度、敏感性和适应能力3个维度构建。在社区尺度上,城市空间扩张的影响主要体现在城市化过程对乡村社区的侵入,因此,暴露度指标选取了距市中心距离、最近公交站距离、土地征收面积比例和外来人口比例4个指标,分别从区位、交通、土地和人口方面反映了社区暴露于空间城市化的扰动程度。敏感性指标选取了土地依赖度、劳动力失业率、抚养比、女性劳动力比例、恩格尔系数、医疗支出比例等,从对土地资本的依赖性、人口与社会经济结构等方面反映社区受城市化扰动影响的敏感性状态。适应能力主要通过社区拥有的财富资源(如人均收入、人均居住面积、拥有汽车家庭比例)、生计策略调整(出租房屋家庭比例、个体从业人员比例、外出务工人员比例)、社会资本(邮政电信业务量、社会连通度)、学习能力(拥有技能人员比例、居民文化程度)来衡量社区在面对城市空间扩张扰动和土地利用功能转换过程中的调整和适应能力。

(3) 农户尺度。城市空间扩张对农户最直接的影响主要体现在土地征收导致的家庭土地资本的丧失。一般而言,农户失地规模越大,表明其受城市空间扩张影响程度越高,这类农户对空间城市化扰动的敏感性也越强;失地前农业收益越好,表明其对土地的依赖性越强,土地资本的丧失对这类农户的影响也越大。因此,选择失地面积(规模)和失地前农业收入(效益)2个指标来表征土地征收对失地农户的影响,由于两个指标兼具暴露度和敏感性特征,难以区分,故将其整合为暴露—敏感度指标。适应能力反映了农户应对失去土地所带来的负面影响(如生计贫困、不稳定或不可持续)的能力。主要从失地农户的生计资本、生计效应和外部援助3个方面来评价。其中,生计资本包括人力资本(家庭劳动力数量、家庭初中以上学历比例)、物质资本(人均住房面积、是否有经营性住房)、金融资本(获得征地补偿款、是否有借款)和社会资本(亲戚数量、社会连接度);生计效应包括家庭人均年收入和收入多样性指数,反映农户收入水平和生计多样性;外部援助包括是否参加政府提供的就业培训、农户政策知晓度与政府关心度,反映农户获得地方政府的帮助程度和信息获取程度。

3.3 数据处理与评价方法

社会脆弱性评价指标体系中的指标参数主要由社会经济统计数据、访谈数据和问卷调查数据构成。其中,统计数据包括2014年研究区域内25个街道和42个样本社区的社会经济统计资料;访谈数据主要来源于2015年9-11月对42个样本社区关键人物(村主任、支书、会计等)的访谈记录;问卷调查数据是与访谈同期开展的社区随机入户调查问卷,共发放问卷380份(其中有效问卷338份,有效率88.9%)。

(1) 数据标准化。为消除指标量纲、数量级和指标性质差异的影响,选用极差标准化方法对原始数据进行标准化处理。正向指标标准化公式为:

$$Y_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (1)$$

负向指标标准化公式为:

$$Y_{ij} = (X_{j\max} - X_{ij}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (2)$$

式中: X_{ij} 、 $X_{j\max}$ 、 $X_{j\min}$ 和 Y_{ij} 分别为第 i 研究对象第 j 指标的原始值、最大值、最小值和标准化值。

(2) 确定指标权重。权重确定方法较多,如专家打分法、层次分析法、模糊综合评价法、熵值法、主成分分析法等^[44]。由于熵值法能较好地反映指标信息效应价值,并减少评价者的主观性,因此,采用熵值法计算并得到各指标权重系数(表1)。

(3) 评价方法与模型。采用函数模型法构建城市边缘区社会脆弱性评价模型,原因在于其能较好地体现社会脆弱性构成维度之间的相互作用关系。其中,街道和社区尺度的社会脆弱性被解释为暴露度、敏感性和适应能力的函数,计算公式如下:

$$SVI_1 = f\{EI, SI, AI\} = (EI - AI) \times SI \quad (3)$$

式中: SVI_1 、 EI 、 SI 、 AI 分别代表街道/社区的社会脆弱性指数、暴露度指数、敏感度指数和适应能力指数。式(3)表示暴露度对社会脆弱性具有正向效应,即暴露度越大,脆弱性程度越高;适应能力对社会脆弱性具有负向效应,即适应能力越强,脆弱性程度越低;敏感性受系统结构特征影响,对社会脆弱性具有乘数效应,可能加剧或缓解脆弱性程度。

农户尺度指标体系包括暴露—敏感度和适应能力两个维度,因此,将农户尺度的社会脆弱性理解为农户对土地征收的暴露与敏感程度,以及应对土地资本丧失不利影响能力的函数,据此构建社会脆弱性评价模型:

$$SVI_2 = \frac{ESI}{AI} \quad (4)$$

式中: SVI_2 表示失地农户的社会脆弱性指数; ESI 、 AI 分别代表农户的暴露—敏感度指数和适应能力指数。社会脆弱性指数与暴露—敏感度呈正比,与适应能力呈反比,暴露—敏感度指数越小,且适应能力越强,则社会脆弱性程度越低,反之则相反。式(3)与式(4)中的各维度指数分别通过加权求和法求取:

$$EI/SI/AI/ESI = \sum_{j=1}^n W_j Y_{ij} \quad (5)$$

式中: W_j 为各维度指标的权重; Y_{ij} 为各维度指标的标准化值; n 为各维度指标数量。

4 结果分析

4.1 街道尺度

运用公式(5)分别计算各街道暴露度指数、敏感性指数和适应能力指数,将结果代入公式(3)计算得出社会脆弱性指数,并采用自然断点法将社会脆弱性指数划分为高、中、低3个等级,进而得出西安城市边缘区街道社会脆弱性空间分异格局(图4)。从暴露度指数空间分布来看,高等级暴露度街道紧邻城市核心区,受城市化影响强烈;中间等级暴露度街道主要分布在城市边缘区东、西两侧;低等级暴露度街道集中分布在城市南部和最北端,这里距市中心相对较远,部分街道仍以农业用地为主,景观破碎化程度较低,城市空间扩张相对缓慢。从敏感性指数空间分布来看,高、低等级敏感性街道分布与低、高等级暴露度街道分布在空间上具有高度吻合特征,受长期持续城市化影响的街道,其社会系统的敏感性程度已较低,而对于边缘区外围“半城市化”甚至乡村性显著的街道,社会系统对外部城市化扰动的反应更为强烈和敏感。从适应能力指数分布来

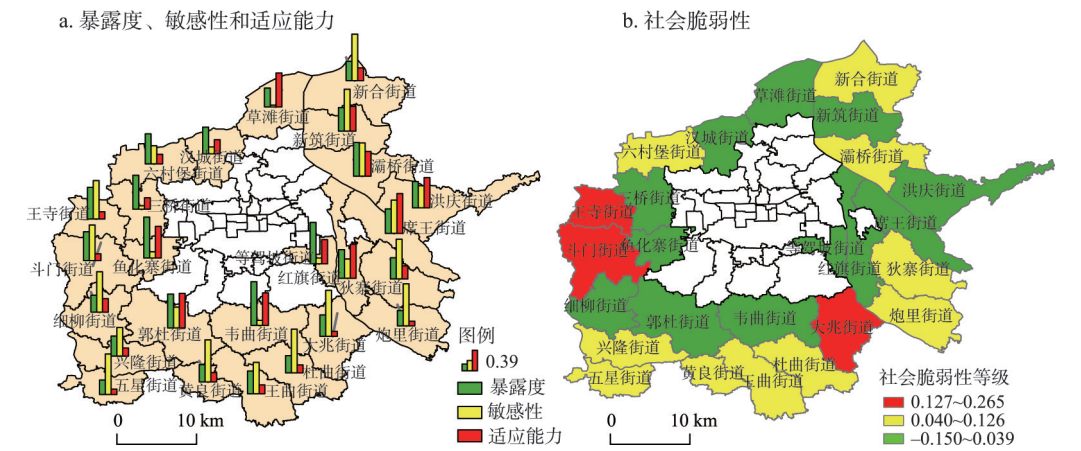


图4 西安市边缘区街道尺度暴露度、敏感性、适应能力及社会脆弱性分异

Fig. 4 Differentiation of exposure, sensitivity, adaptive capacity and social vulnerability at Jiedao level in Xi'an's fringe area

看,空间规律性并不十分显著。进一步研究发现,率先完成从乡村体制向城市体制转换的街道,适应能力相对较强;而对于那些尚处在过渡与转型阶段的街道,社会系统对城市化扰动的适应能力仍较弱。

经统计,高、中、低3个等级社会脆弱性街道数量分别为3个、10个和12个,分别占研究区街道总数的12%、40%和48%。空间上呈现不均衡分布状态,低社会脆弱性街道集中分布在邻近市中心的位置,中、高社会脆弱性街道分散在城市边缘区外围。

4.2 社区尺度

运用公式(5)分别计算各社区暴露度指数、敏感性指数和适应能力指数,将结果代入公式(3)计算得出社会脆弱性指数,并采用自然断点法将其划分为高、较高、中、较低、低5个等级,进而得出社区尺度社会脆弱性分异结果(图5)。根据样本社区的区位特征和征地用途,结合西安城市空间增长与功能分区特征,将42个社区划分为交通设施型、产业发展型、居住开发型和教育功能型4种类型(表2)。

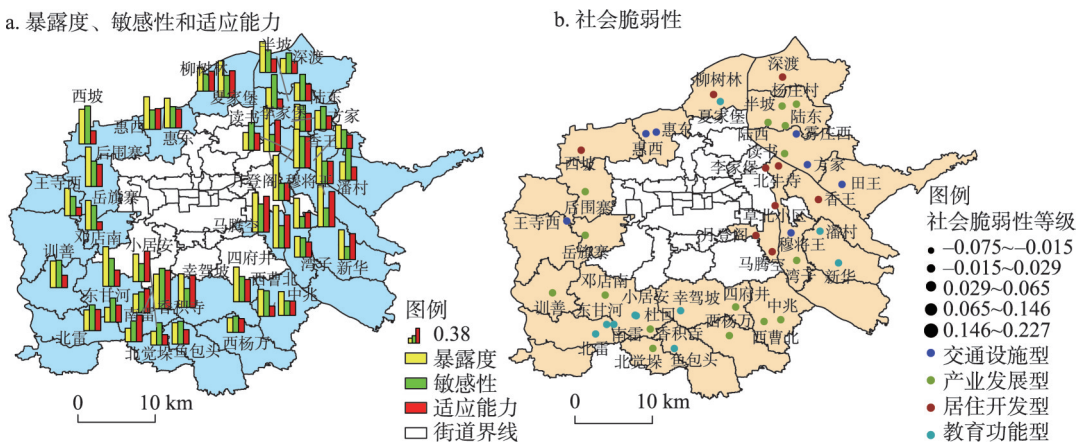


图5 西安市边缘区社区尺度暴露度、敏感性、适应能力及社会脆弱性分异

Fig. 5 Differentiation of exposure, sensitivity, adaptive capacity and social vulnerability at community level in Xi'an's fringe area

表2 社区尺度社会脆弱性类型

Tab. 2 Types of social vulnerability at community level

类型	暴露度指数		敏感性指数		适应能力指数		社会脆弱性指数		样本量	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	数量(个)	比例(%)
交通设施型	0.448	0.079	0.353	0.108	0.257	0.070	0.063	0.019	7	16.7
产业发展型	0.420	0.136	0.395	0.082	0.256	0.095	0.069	0.060	16	38.1
居住开发型	0.595	0.168	0.397	0.122	0.401	0.150	0.078	0.067	9	21.4
教育功能型	0.441	0.165	0.377	0.119	0.435	0.126	-0.001	0.041	10	23.8
总体	0.467	0.155	0.384	0.102	0.330	0.137	0.053	0.060	42	100

① 交通设施型社区农业用地多被用于建设城市环线、绕城高速和地铁线及车站等，该类型社区暴露度指数、敏感性指数、适应能力指数和社会脆弱性指数平均值分别为0.448、0.353、0.257和0.063，社会脆弱性指数在各类型中处于相对较高水平。② 产业发展型社区农业用地多被邻近的产业开发区所征用，该类型社区集中分布在城市东北部的国际港务区、西部的高新区和东南部的民用航天产业基地，这几个产业开发区是近年来西安城市空间扩张的主要动力之一。该类型社区暴露度指数、敏感性指数、适应能力指数和社会脆弱性指数平均值分别为0.420、0.395、0.256和0.069，与其他类型相比，社会脆弱性指数也相对较高。③ 居住开发型社区农业用地主要被用作房地产开发，这也是近年来西安城市空间扩张的主要动力。该类型社区暴露度指数、敏感性指数、适应能力指数和社会脆弱性指数平均值分别为0.595、0.397、0.401和0.078，社会脆弱性指数在各类型中处于最高水平。④ 教育功能型社区农业用地主要被西安市各大高校新建校区所占，该类型社区分布也较为集中，主要在城市南部的长安大学城、东部白鹿原大学城和北部的未央区大学城。该类型社区暴露度指数、敏感性指数、适应能力指数和社会脆弱性指数平均值分别为0.441、0.377、0.435和-0.001，社会脆弱性指数在各类型中处于最低水平。

4.3 农户尺度

运用公式（5）分别计算农户暴露—敏感度指数和适应能力指数，将结果代入公式（4）计算得出农户社会脆弱性指数。结果显示，农户暴露—敏感度指数平均值为0.173，适应能力指数平均值为0.257，社会脆弱性指数平均值为0.731。为进一步分析不同农户社会脆弱性差异，分别对各农户暴露—敏感度指数和适应能力指数进行Z标准化处理，以缩小两者之间数量级上的差异。将处理后的结果反映在气泡图上，气泡大小代表不同农户社会脆弱性指数大小（图6），并根据差异特征，将所有样本划分为4种类型（表3）。① 类型Ⅰ：高暴露—敏感度、高适应能力型。该类型农户暴露—敏感度指数平均值为0.317，适应能力指数平均值为0.342，两者均较高，社会脆弱性指数平均值为0.976，处于中高水平。② 类型Ⅱ：低暴露—敏感度、高适应能力型。该类型农户暴露—敏感度指数平均值为0.110，适应能力指数平均值为0.325，暴露—敏感度指数处于较低水平，而适应能力指数却较高，使其社会脆弱性指数较低，平均值为0.344。③ 类型Ⅲ：低暴露—敏感度、低适应能力型。该类型农户暴露—敏感度指数平均值为0.099，适应能力指数平均值为0.190，两者均较低，社会脆弱性指数平均值为0.555，处于中低水平。④ 类型Ⅳ：高暴露—敏感度、低适应能力型。该类型农户暴露—敏感度指数平均值为0.286，适应能力指数平均值为0.195，暴露—敏感度指数较高，而适应能力指数却较低，导致社会脆弱性指数较高，平均值高达1.507。

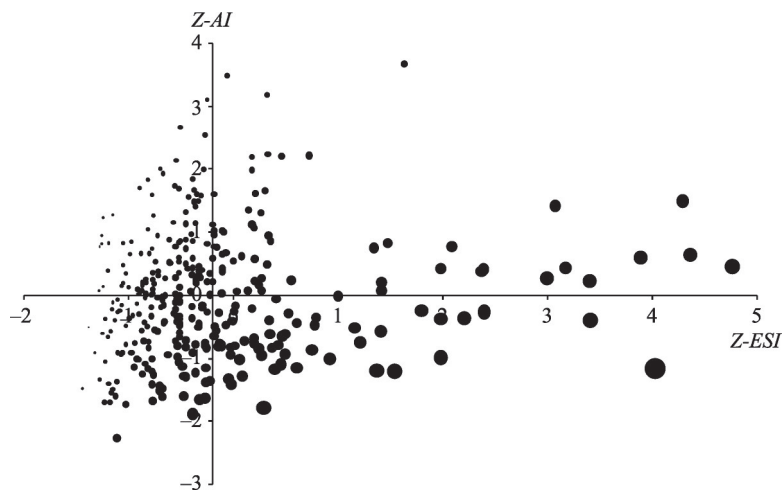


图6 农户尺度社会脆弱性分异

Fig. 6 Differentiation of social vulnerability at land-lost household level

表3 农户尺度社会脆弱性类型

Tab. 3 Types of social vulnerability at land-lost peasant household level

类型	暴露—敏感度指数		适应能力指数		社会脆弱性指数		样本量	
	特征	平均值	特征	平均值	特征	平均值	数量(个)	比例(%)
I	高	0.317	高	0.342	中高	0.976	58	17.2
II	低	0.110	高	0.325	低	0.344	101	29.9
III	低	0.099	低	0.190	中低	0.555	120	35.5
IV	高	0.286	低	0.195	高	1.507	59	17.4
总体	—	0.173	—	0.257	—	0.731	338	100

经统计，高、中、低社会脆弱性指数农户样本比例分别为17.5%、52.7%和29.9%。从数量上来看，西安城市边缘区50%以上的失地农户社会脆弱性以中等为主，且高社会脆弱性指数农户比例少于低社会脆弱性指数农户。

4.4 尺度关联特征

为考察社会脆弱性评价结果在尺度层级上的关联特征，对街道、社区和农户社会脆弱性指数进行相应统计分析。从变异系数来看，街道、社区和农户的社会脆弱性指数变异系数分别为1.353、1.124和0.816，呈现出街道—社区—农户逐级降低的趋势，表明随着尺度自上而下的变化，社会脆弱性指数的数值分布从分散向集中转变。尺度越大，社会脆弱性指数的数值分布相对越分散；尺度越小，社会脆弱性指数的数值分布越集中。从偏度系数来看，3个尺度社会脆弱性指数的偏度系数分别为0.179、0.603和2.286，呈现出街道—社区—农户逐级增大的趋势，表明随着尺度自上而下的变化，社会脆弱性指数偏态分布的右偏特征逐级强化，意味着社会脆弱性指数的低值化集中趋势愈发显著。从上述评估结果也可以看出，街道、社区、农户3个尺度的高社会脆弱性样本比例均较低，分别为12%、4.8%和17.5%。

为进一步探究不同尺度社会脆弱性等级之间的关系，将街道、社区和农户社会脆弱性评价结果统一划分为3级，通过不同尺度之间高、中、低社会脆弱性的对应关系来发现其尺度关联特征（图7）。农户—社区尺度上，高、中、低3个等级中，分别有42.4%、

46.6%和35.6%的农户样本与社区3个等级相对应;农户—街道尺度上,分别有10.2%、36.5%和69.3%的农户样本与街道3个等级对应;社区—街道尺度上,则分别有16.7%、26.7%和46.7%的社区样本与街道3个等级对应。总体来看,农户—社区之间较好地反映了社会脆弱性等级差异的对应关系,而其他两个尺度间的对应关系并不十分显著。

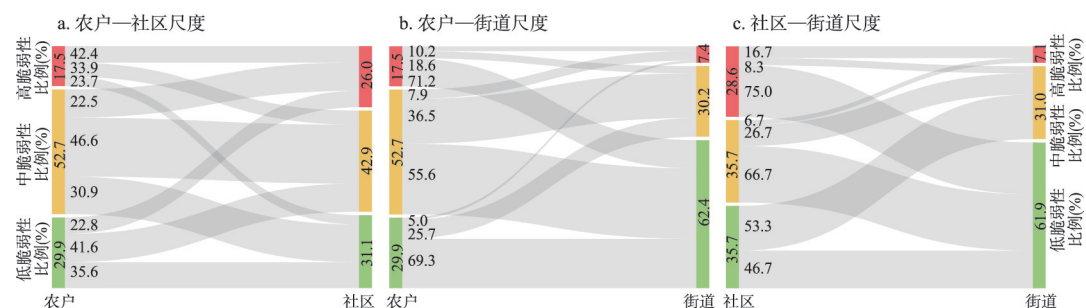


图7 不同尺度社会脆弱性等级对应关系

Fig. 7 Correspondence of social vulnerability hierarchy at different scales

5 结论与讨论

5.1 结论

(1) 社会脆弱性是暴露于外部扰动下的社会系统,由于自身的敏感性特征和缺乏对不利扰动的适应能力而使系统受到的负面影响或损害状态。外部扰动是社会系统脆弱性的条件,系统内在结构特征是决定社会脆弱性的主要原因。社会脆弱性分析尺度包括空间尺度(社区、城市、区域)和社会尺度(家庭、群体和社会组织)。

(2) 整合评价流程、要素体系与数据层次,构建了社会脆弱性评估框架(SVAF),包括明确评价单元、整理背景资料、确定因子关系、构建评价模型、筛选指标数据、选择评价方法、计算结果分析等7个步骤。暴露度、敏感性和适应能力是理解和评估社会脆弱性的核心维度,可通过对3个维度替代性指标的选取构建社会脆弱性评价指标体系。

(3) 对快速空间扩张扰动下的西安城市边缘区街道、社区和农户开展社会脆弱性评价,得出不同尺度的社会脆弱性空间(类型)分异结果。街道尺度上,低社会脆弱性街道占主体,且多邻近市中心,中、高社会脆弱性街道分散在城市边缘区外围;社区尺度上,受区位、征地用途和区域功能影响显著,居住开发型社区社会脆弱性最高,教育功能型最低;农户尺度上,社会脆弱性以中等为主,高社会脆弱性指数农户比例少于低社会脆弱性指数农户。

(4) 对比街道、社区和农户3个尺度社会脆弱性评价结果并进行统计分析,得出尺度之间的关联特征。随着街道—社区—农户尺度自上而下的变化,社会脆弱性指数的数值分布从分散逐渐转向集中,并且以低值化集中为主,随着尺度的下降,低值化集中趋势愈发显著。在农户—社区尺度之间,社会脆弱性指数的高、中、低3个等级的主体对应关系得到较好地体现,而其他两个尺度间的对应关系并不十分显著。

5.2 讨论

(1) 构建科学合理的指标体系是开展社会脆弱性评价研究的关键。不同尺度类型和不同尺度层级对3个维度的解析以及替代性指标参数的选择具有明显差异。以暴露度为例,社区、城市或区域等空间单元上的替代性指标参数较容易获取,且尺度越大,暴露

度差异化特征越显著。例如,研究干旱扰动的社会脆弱性,区域之间的干旱差异显然比区域内部差异更容易表达。社会单元的暴露度则较难区分,例如,某一社区遭受飓风影响,很难分辨不同家庭暴露于飓风影响程度的差异,只能从灾害后果和灾后应对能力评估其脆弱性程度。本文中失地农户暴露度指标参数的选取也反映出这一特点。敏感性指标用来衡量社会系统是否容易受到扰动影响的程度,多取决于系统内在结构特征,因此,敏感性指标多选择反映其内在结构与功能属性的参数。根据社会脆弱性概念内涵,系统的内在结构特征决定了施加在系统上的扰动能否突破系统维持其基本结构和功能的阈值,但如何通过敏感性指标来准确识别或度量系统被破坏的临界阈值仍是当前脆弱性研究的难点。

(2) 辨明社会脆弱性评估中的尺度效应,并在多尺度脆弱性评估中建立起尺度关联也是社会脆弱性研究的难点。本文通过对多尺度评估结果的分析,试图寻求尺度之间的关联特征。从结果来看,街道、社区和农户3个尺度的社会脆弱性指数均呈现出低值化集中趋势,这在一定程度上对3个尺度高社会脆弱性样本比例均较低的评估结果实现了验证。在3个尺度之间高、中、低社会脆弱性等级对应关系上,只有农户—社区之间的对应关系较为明显,农户—街道、社区—街道之间均不显著。主要原因可能在于,街道尺度范围大,空间异质性强,所选样本社区在评估维度上的差异可能较大,尤其是暴露度,同一个街道范围内不同地域的空间城市化水平差异较大,从而导致两个尺度之间的对应关系不显著。农户—社区之所以具有较好的对应关系,原因在于社区尺度范围小,在快速城市空间扩张影响下,整个社区均暴露在外部扰动下,社区内部均质性相对较强,相较于跨尺度关联的农户—街道、大尺度关联的社区—街道而言,农户和社区之间的联系也更为紧密,尺度之间社会脆弱性等级差异的一致性与对应性均较明显。未来社会脆弱性研究中,可专门探讨尺度差异、尺度关联、尺度依赖和尺度传递等问题,以进一步揭示社会脆弱性的尺度效应。

(3) 社会脆弱性是社会系统的一种属性特征,社会脆弱性评估可以较好地实现不同空间单元之间或不同社会单元之间社会脆弱性程度差异的比较,对有针对性的开展脆弱性治理具有重要意义。除社会脆弱性评估之外,还需要进一步开展社会脆弱性的演变过程、影响因素、发生机理及其模拟预测等内容研究,并结合大量实证分析,才能真正构建起社会脆弱性理论与方法体系。整合街道、社区和农户3个尺度的评价结果,分析不同尺度社会脆弱性结果分异的影响因素以及跨尺度的相互作用,揭示快速空间扩张扰动下城市边缘区社会脆弱性机理是本文需要进一步开展的研究内容。

参考文献(References)

- [1] Cutter S L. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 1996, 20(4): 529-539.
- [2] Adger W N. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 2006(16): 268-281.
- [3] Carrao H, Naumann G, Barbosa P. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 2016, 39: 108-124.
- [4] Shi Peijun, Wang Jingai, Chen Jing, et al. The future of human-environment interaction research in geography: Lessons from the 6th Open Meeting of IHDP. *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. *地理学报*, 2006, 61(2): 115-126.]
- [5] IPCC. *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- [6] UNISDR. *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. Geneva: UN Publications, 2004.
- [7] Xin Yuan, Wang Shourong. Future earth research programme and sustainable development. *China Soft Science*

- Magazine, 2015(1): 20-27. [辛源, 王守荣. “未来地球”科学计划与可持续发展. 中国软科学, 2015(1): 20-27.]
- [8] Galea S, Ahern J, Karpatis A. A model of underlying socioeconomic vulnerability in human populations: Evidence from variability in population health and implications for public health. *Social Science & Medicine*, 2005, 60(11): 2417-2430.
- [9] Zhang Pingyu, Li He, Tong Lianjun, et al. Vulnerability of Human-environmental System for Mining Cities: Theory, Method and Empirical Study. Beijing: Science Press, 2011. [张平宇, 李鹤, 佟连军, 等. 矿业城市人地系统脆弱性: 理论、方法和实证. 北京: 科学出版社, 2011.]
- [10] Adger W N. Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. *World Development*, 1999, 27(2): 249-269.
- [11] Adger W N, Eakin H, Winkels A. Nested and teleconnected vulnerabilities to environmental change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7: 150-157.
- [12] Cutter S L, Boruff B J, Shirley W L. Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 2003, 81(1): 242-261.
- [13] Emrich C T, Cutter S L. Social vulnerability to climate-sensitive hazards in the southern United States. *Weather Climate and Society*, 2011, 3(3): 193-208.
- [14] Cutter S L. The perilous nature of food supplies: Natural hazards, social vulnerability, and disaster resilience. *Environment*, 2017, 59(1): 4-15.
- [15] Blaikie P M, Cannon D, Davis I, et al. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*. London: Routledge, 1994.
- [16] Birkmann J, Cardona O D, Carreno M L. Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE Framework. *Natural Hazards*, 2013, 67: 193-211.
- [17] Ivar S Holand, Päivi Lujala, Jan Ketil Rod. Social vulnerability assessment for Norway: A quantitative approach. *Norwegian Journal of Geography*, 2011, 65(1): 1-17.
- [18] Depietri Y, Welle T, Renaud F G. Social vulnerability assessment of the Cologne urban area (Germany) to heat waves: Links to ecosystem services. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2013, 6: 98-117.
- [19] Chen W F, Cutter S L, Emrich C T, et al. Measuring social vulnerability to natural hazards in the Yangtze River Delta Region, China. *International journal of Disaster Risk Science*, 2013, 4(4): 169-181.
- [20] Cutter S L, Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(7): 2301-2306.
- [21] Siagian T H, Purhadi P, Suhartono S, et al. Social vulnerability to natural hazards in Indonesia: Driving factors and policy implications. *Natural Hazards*, 2013, 70(2): 1-15.
- [22] Ge Yi, Shi Peijun, Liu Jing, et al. Improvement and application of vulnerability assessment methodology for flood hazards in China: Using Changsha Prefecture as a case study. *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(6): 54-58. [葛怡, 史培军, 刘婧, 等. 中国水灾社会脆弱性评估方法的改进与应用: 以长沙地区为例. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 54-58.]
- [23] Zhang Qian. Herders' social vulnerability to climate change: A case of desert grassland in Inner Mongolia. *Sociological Studies*, 2011(6): 171-195. [张倩. 牧民应对气候变化的社会脆弱性: 以内蒙古荒漠草原的一个嘎查为例. 社会学研究, 2011(6): 171-195.]
- [24] Li He, Zhang Pingyu. Vulnerability of urban employment of mining cities in Northeast China. *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. 地理研究, 2009, 28(3): 751-760.]
- [25] Zhou Limin. Social vulnerability: A new perspective for the study of sociology of hazards. *Journal of Nanjing Normal University (Social Science)*, 2012(4): 20-28. [周利敏. 社会脆弱性: 灾害社会学研究的新范式. 南京师大学报(社会科学版), 2012(4): 20-28.]
- [26] Xie Pan, Wang Yanglin, Liu Yanxu, et al. Incorporating social vulnerability to assess population health risk due to heat stress in China. *Acta Geographical Sinica*, 2015, 70(7): 1041-1051. [谢盼, 王仰麟, 刘焱序, 等. 基于社会脆弱性的中国高温灾害人群健康风险评价. 地理学报, 2015, 70(7): 1041-1051.]
- [27] He Yanbing, Huang Xiaojun, Zhai Lingxin, et al. Assessment and influencing factors of social vulnerability to rapid urbanization in urban fringe: A case study of Xi'an. *Acta Geographical Sinica*, 2016, 71(8): 1315-1328. [何艳冰, 黄晓军, 翟令鑫, 等. 西安快速城市化边缘区社会脆弱性评价与影响因素. 地理学报, 2016, 71(8): 1315-1328.]
- [28] Liu Jisheng, Na Wei, Fang Yangang. Research on vulnerability and countermeasure of social system of Liaoyuan city. *Economic Geography*, 2010, 30(6): 944-948. [刘继生, 那伟, 房艳刚. 辽源市社会系统的脆弱性及其规避措施. 经济地理, 2010, 30(6): 944-948.]

- [29] Tate E. Uncertainty analysis for a social vulnerability index. *Annals of the Association of American Geographers*, 2013, 103(3): 526-543.
- [30] Gu Chaolin, Chen Tian, Ding Jinhong, et al. The study of the urban fringes in Chinese megalopolises. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(4): 317-328. [顾朝林, 陈田, 丁金宏, 等. 中国大城市边缘区特性研究. *地理学报*, 1993, 48(4): 317-328.]
- [31] Peng Jian, Ma Jing, Yuan Yuan. Research progress and prospect on the identification of urban fringe. *Progress in Geography*, 2014, 33(8): 1068-1077. [彭建, 马晶, 袁媛. 城市边缘带识别研究进展与展望. *地理科学进展*, 2014, 33(8): 1068-1077.]
- [32] Huang Xiaojun, Huang Xin, Cui Cailan, et al. The concept, analytical framework and assessment method of social vulnerability. *Progress in Geography*, 2014, 33(11): 1512-1525. [黄晓军, 黄馨, 崔彩兰, 等. 社会脆弱性概念、分析框架与评价方法. *地理科学进展*, 2014, 33(11): 1512-1525.]
- [33] Turner II B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100: 8074-8079.
- [34] Gallopin G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 2006, 16: 293-303.
- [35] Engle N L. Adaptive capacity and its assessment. *Global Environmental Change*, 2011, 21: 647-656.
- [36] Eakin H, Luers A L. Assessing the vulnerability of social-environmental systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2006, 31: 365-394.
- [37] Acosta-Michlik L, Espaldon V. Assessing vulnerability of selected farming communities in the Philippines based on a behavioural model of agent's adaptation to global environmental change. *Global Environmental Change*, 2008, 18(4): 554-563.
- [38] Polsky C, Neff R, Yarnal B. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. *Global Environmental Change*, 2007, 17: 472-485.
- [39] Li Pingxing, Fan Jie. Regional ecological vulnerability assessment based on VSD model: A case study of Xijiang River Economic Belt in Guangxi. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(5): 163-170. [李平星, 樊杰. 基于VSD模型的区域生态系统脆弱性评价: 以广东西江经济带为例. *自然资源学报*, 2014, 29(5): 163-170.]
- [40] Chen Jia, Yang Xinjun, Yin Sha, et al. The vulnerability evolution and simulation of the social-ecological systems in the semi-arid area based on the VSD framework. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(7): 1172-1188. [陈佳, 杨新军, 尹莎, 等. 基于VSD框架的半干旱地区社会—生态系统脆弱性演化与模拟. *地理学报*, 2016, 71(7): 1172-1188.]
- [41] Cui Yuxi. Research on sustainable livelihoods of land-lost farmers in the process of urbanization: Based on the survey of Chang'an District in Xi'an [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2013. [崔玉玺. 城市化进程中失地农民可持续生计研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.]
- [42] Song Jinping, Zhao Xijun, Yu Wei. The Space Evolvement and Recombination in the Urban Fringe of Beijing. Beijing: Science Press, 2012. [宋金平, 赵西君, 于伟. 北京城市边缘区空间结构演化与重组. 北京: 科学出版社, 2012.]
- [43] Peng J, Zhao S Q, Liu Y X, et al. Identifying the urban-rural fringe using wavelet transform and kernel density estimation: A case study in Beijing City, China. *Environmental Modelling & Software*, 2016, 83: 286-302.
- [44] Wang Yan, Fang Chuanglin, Zhang Qiang. Progress and prospect of urban vulnerability. *Progress in Geography*, 2013, 32(5): 755-768. [王岩, 方创琳, 张蔷. 城市脆弱性研究评述与展望. *地理科学进展*, 2013, 32(5): 755-768.]

Multi-scale assessment of social vulnerability to rapid urban expansion in urban fringe: A case study of Xi'an

HUANG Xiaojun^{1,2}, WANG Chen¹, HU Kaili¹

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Xi'an 710127, China)

Abstract: Social vulnerability assessment is an important approach to analyzing the elements of vulnerability, quantifying degree of social vulnerability, and identifying vulnerable spatial units or social groups. Meanwhile, related policies addressing targeted management of social vulnerability are necessary. Therefore, we analyzed the concept and connotations of social vulnerability in four aspects, i.e., disturbance, structure, dimension and scale. We established a framework for social vulnerability assessment that defines the evaluation process, objective, elements, data and method. Based on this framework, we developed a common evaluation index system of social vulnerability according to the three dimensions of exposure, sensitivity and adaptive capacity. Finally, the social vulnerability assessment framework was applied to the case of the urban fringe of Xi'an, which has undergone rapid urban expansion. Using a mix of qualitative and quantitative analyses, we combined data from a statistical yearbook, in-person interviews and household surveys and evaluated multi-scale social vulnerability. The spatial differentiation and types of social vulnerability were displayed according to three scales, i.e., Jiedao, communities and land-lost peasant households. The proportion of Jiedao with a low social vulnerability index was 48%. The social vulnerability index of communities requisitioned by housing estate was the highest, and the social vulnerability index was the lowest in the area of educational function. More than half of the land-lost households lay in the middle range of the social vulnerability index, with fewer households having a high index than those having a low index. With the decline of the scale from Jiedao to household, the low value distribution of the social vulnerability index changed from decentralization to centralization. Meanwhile, we found a significant correspondence at the level of the social vulnerability index between household and community, but not for other levels. Our research highlights the social vulnerability assessment framework involved in the evaluation process, index system, data organization, method and multi-scale assessment. These conclusions could be further explored for theoretical research and practical application of social vulnerability assessment.

Keywords: social vulnerability; assessment framework; index system; urban fringe area; land-lost farmers; Xi'an