

# 重庆市乡村生产空间系统脆弱性 时空分异与差异化调控

王成<sup>1</sup>, 何焱洲<sup>2</sup>

(1. 西南大学西南山地生态循环农业国家级培育基地/乡村人居环境实验室 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 中国城市规划设计研究院西部分院, 重庆 401121)

**摘要:** 脆弱性作为乡村生产空间系统的重要属性,是探讨系统易受负面影响或损害程度的有效度量、解析系统可持续发展趋势的有效途径。以重庆市为研究区,以2007—2017年为研究时段,建立乡村生产空间系统脆弱性评价指标体系和评价模型,以定量测度乡村生产空间系统脆弱性,揭示其时空分异特征,进而划分脆弱性类型并提出差异化调控策略。结果表明:①乡村生产空间系统脆弱性是系统运行状态的综合度量,包含暴露度、敏感性和适应能力3个要素,其体现了以“人”为核心的乡村多元主体与以“地”为核心的乡村生产空间之间相互影响、相互作用的互动制衡关系。②乡村生产空间系统暴露度总体呈上升趋势及“局部突出、北高南低”的空间格局特征;敏感性总体呈波动下降趋势及“东高西低”的空间格局特征;适应能力总体呈快速上升趋势及“西高东低”的空间格局特征;脆弱性总体呈下降趋势及“东高西低”的空间格局特征。③将重庆市乡村生产空间系统脆弱性划分为适应能力脆弱型、暴露—敏感脆弱型、敏感—适应脆弱型和强综合脆弱型4种类型,并按照“生态优先—分类调控—重点突出—因地制宜”原则针对不同类型提出差异化“降脆”策略,以引导乡村生产空间系统可持续发展。

**关键词:** 乡村生产空间系统;脆弱性;时空分异;差异化调控;重庆市

DOI: 10.11821/dlxb202008009

## 1 引言

中国乡村目前正处于转型关键期,乡村内部及其与城市间的物质运输、信息传递、能量交换更为频繁与深刻。乡村生产空间系统作为人地关系地域系统的重要分支,既面临着人口非农化与兼业化、土地非农化与非粮化<sup>[1]</sup>,乡村产业逐渐向农产品加工业、休闲旅游业等新业态转变,也面临着乡村劳动力流失、资金短缺,乡村发展严重“失血”与“贫血”。这一特殊环境改变了传统的人地相互作用过程,乡村生产空间系统呈现出主体多元、空间压缩、环境退化等新时代特征,如何确保其可持续发展以践行乡村振兴战略,是当前中国乡村发展面临的关键问题。脆弱性作为系统向不可可持续发展方向演变状态的重要表征,其理论既可为剖析人地相互作用程度、机理与过程以及可持续发展提供重要基础性科学知识体系,也可用于解析全球环境变化和可持续发展趋势<sup>[2-3]</sup>。因此,本文试图通过脆弱性这一视角探究乡村生产空间系统向不可可持续发展方向演变的状态,准确识别乡村生产空间系统致脆因子并对其进行合理调控,以指导乡村生产空间系统精准

收稿日期: 2019-05-14; 修订日期: 2020-04-10

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD110080403) [Foundation: National Key R&D Program of China, No.2018YFD110080403]

作者简介: 王成(1975-), 男, 重庆荣昌人, 教授, 博士生导师, 主要从事土地利用与乡村发展、乡村人居环境研究。

E-mail: wchorange@126.com

通讯作者: 何焱洲(1992-), 女, 重庆忠县人, 硕士, 主要从事土地利用与国土规划研究。E-mail: heyanzhouer@126.com

化“降脆”、增强自身抵抗力,引导系统可持续发展。当前,国内外学者主要围绕乡村生产空间系统的概念认知<sup>[4]</sup>、运行状态<sup>[5-7]</sup>、演化规律<sup>[8]</sup>、功能评价<sup>[9]</sup>等方面开展了研究,但就如何探究和量化系统内以“人”为核心的乡村多元主体和以“地”为核心的乡村生产空间之间相互影响、相互作用的互动制衡关系的研究仍较为薄弱。此外,脆弱性研究亦逐步从注重因自然环境、气候变化的脆弱性评价发展到注重人类活动对脆弱性的影响研究<sup>[10]</sup>;从单一的脆弱性时序评价或空间分异转变为脆弱性时空演变研究<sup>[11]</sup>;从单纯评价、被动面对脆弱性给社会经济带来负面影响转变为积极主动探究脆弱性产生的驱动机制并高效制定应对脆弱性的对策<sup>[12]</sup>;从传统的单一子系统脆弱性评估转向社会—生态系统、自然—社会系统、人地系统、人海系统、城市系统等<sup>[13-17]</sup>复合系统脆弱性评估;脆弱性评价方法不断丰富和完善,研究方法由定性研究逐渐转向钻石模型、交互式脆弱性评估框架(ADV)、VSD评估框架等<sup>[18-20]</sup>定性与定量分析相结合的综合研究。纵观脆弱性相关研究成果,脆弱性作为系统内在属性之一,其研究领域主要集中于城市地区,甚少涉及乡村地区。然而乡村生产空间系统作为践行乡村振兴战略产业兴旺的主战场,其脆弱性状态直接关乎乡村振兴战略的践行程度。因此,研究结合乡村生产空间系统特征和脆弱性相关研究成果,以探究乡村生产空间系统脆弱性时空特征及其调控措施,为践行乡村振兴战略产业兴旺提供理论支撑和实践示范。

重庆市作为中国西部生态脆弱区唯一的直辖市、国家城乡融合发展实验区的最大片区,习近平总书记在视察重庆市时对其提出“两点”定位、“两地”“两高”目标。让重庆市成为山清水秀之地、在全局中谋划一域,已成为重庆市未来城乡经济建设与社会发展的重要指挥棒。如何降低乡村生产空间系统脆弱性,协调乡村经济发展与生态环境保护之间的和谐共生关系,实现重庆市乡村生产空间系统可持续发展,是当前地理学界和实际工作部门亟待解决的关键问题。据此,本文以乡村生产空间系统脆弱性为研究对象,基于乡村生产空间系统脆弱性的内涵解构,以重庆市为研究区,以2007—2017年为研究时段,建立乡村生产空间系统脆弱性评价指标体系和评价模型,定量测度乡村生产空间系统脆弱性,以探究其时空分异特征,进而划分脆弱性类型并提出差异化调控策略,为增强乡村生产空间系统自身抵抗力、引导系统可持续发展提供实践示范。

## 2 乡村生产空间系统脆弱性内涵解构

脆弱性源于自然灾害研究<sup>[21]</sup>。20世纪40年代,White在研究洪水灾害时提出“适应与调整”概念,是脆弱性研究的雏形<sup>[22]</sup>。20世纪80年代,Timmerman将脆弱性研究拓展至地理学<sup>[23]</sup>。21世纪初,脆弱性研究成为全球环境变化及可持续性科学领域关注的热点问题 and 重要分析工具<sup>[24]</sup>; *Science*杂志发表的“可持续性科学”(Sustainability Science)一文中把“特殊地区的自然—社会系统脆弱性或恢复力”研究列为可持续性科学的七大核心问题之一<sup>[25]</sup>,脆弱性研究成为一门新兴学科<sup>[26]</sup>,脆弱性在不同学科和研究领域得以广泛应用与拓展。因视角差异,学界对脆弱性概念的认知尚未达成共识。目前,脆弱性比较具有代表性的定义主要为:Adger<sup>[27]</sup>认为脆弱性是系统暴露于环境或社会变化中,因缺乏适应能力而对变化造成损害敏感的一种状态;Turner II等<sup>[28]</sup>认为脆弱性是系统、子系统或系统组分因暴露在灾害下可能经历的损害程度;联合国国际减灾战略(UNISDR)认为脆弱性是由自然、社会、经济和环境因素及过程共同决定的系统对各种胁迫的易损性,为系统的内在属性<sup>[29]</sup>;政府间气候变化专门委员会(IPCC)认为脆弱性是系统容易受到气候变化造成的不良后果影响或无法应对其不良影响的程度,是系统外在气候变化

的特征、强度和速率、敏感性与适应性的函数<sup>[30]</sup>；李鹤等<sup>[31]</sup>认为脆弱性是指由于系统对系统内外扰动的敏感性以及缺乏应对能力从而使系统的结构和功能容易发生改变的一种属性。综上所述，脆弱性可以理解为暴露在扰动下的系统由于内部结构的敏感性以及缺乏应对扰动的适应能力，从而使系统向不可持续发展方向演变的一种状态或导致系统产生风险的可能。

目前地理学界普遍认为脆弱性是人地关系地域系统的重要属性<sup>[32-33]</sup>。乡村生产空间系统作为人地关系地域系统的多种存在形式之一，是乡村多元主体（人）、生产客体（地）与地域环境等系统内部要素之间及其与外在环境之间物质、能量和信息的交换下所形成的复杂人地关系的集合体<sup>[4]</sup>，亦具有脆弱性这一系统属性。当前中国乡村发展处于转型的关键期，乡村内部人口、土地和产业及其与城市间的物质运输、信息传递、能量交换等人为扰动更为深入和频繁，乡村生产空间系统要素之间的作用关系愈加复杂敏感，加之系统缺乏应对不利扰动的适应能力，乡村生产空间系统内结构、功能由此发生扭曲，促使系统容易受到负面影响或损害，甚至导致系统紊乱和衰败，以此表现为乡村生产空间系统脆弱性。据此，乡村生产空间系统脆弱性可以理解为在特定的乡村地域时空范围内，系统在面对土地资源、资金、劳动力等内部各生产要素变化和系统所处自然、市场和政策等外部发展环境变化扰动下，系统自身所具有的敏感性与适应能力相互作用而表现出系统结构或功能的易损程度，体现了以“人”为核心的乡村多元主体与以“地”为核心的乡村生产空间之间相互影响、相互作用的互动制衡关系。系统的内部特征是脆弱性产生的直接原因，由敏感性（Sensitivity）体现；而外部环境与人为要素通过产生扰动或应对不利扰动使脆弱性放大或缩小，是脆弱性发生变化的间接原因，其作用的发挥是通过影响乡村生产空间系统内部特征，进而使脆弱性发生改变，由暴露度（Exposure）和适应能力（Adaptive Capacity）体现。据此乡村生产空间系统脆弱性同其他系统脆弱性一致，亦包含暴露度、敏感性和适应能力3个要素<sup>[2]</sup>，敏感性是基础要素，暴露度和适应能力是驱动要素，脆弱性强弱是暴露度、敏感性和适应能力相互作用的综合体现（图1）。乡村生产空间系统暴露度是指乡村生产空间系统遭受乡村生产活动、自然灾害（旱涝、泥石流和滑坡等）以及外部环境（城镇化、工业化）等扰动的程度；敏感性是指乡村生产空间系统基于自身耕地利用状态、土壤侵蚀程度、生态涵养能力等自然本底条件和内部结构的优良状况，遭受扰动影响而转变为灾害事件的概率大小或发生改变的容易程度；适应能力是指乡村生产空间系统通过生产力水平提升、科学技术创新、政策调控等方式调整、应对不利扰动并从不利扰动中恢复的能力。一般而言，暴露度、敏感性与脆弱性呈正向相关，暴露度、敏感性越大，脆弱性越大；适应能力与脆弱性呈负向相关，适应能力越大，脆弱性越小<sup>[34]</sup>。

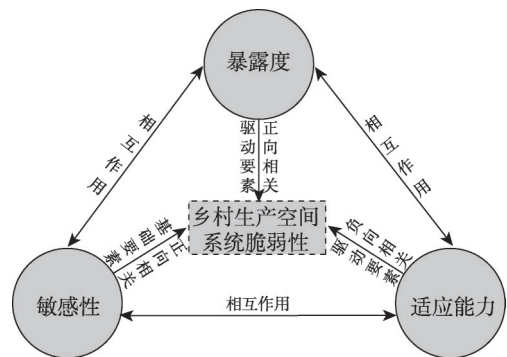


图1 乡村生产空间系统脆弱性的内涵框架

Fig. 1 Implications of the vulnerability of rural production space system

### 3 材料与方法

#### 3.1 研究区概况

重庆市（28°10'N~32°13'N, 105°11'E~110°11'E）地处中国内陆西南部、青藏高原与长江中下游平原的过渡地带，共辖38个区县，总面积8.24万 km<sup>2</sup>，属于川东平行岭谷地



区,海拔差达2723.7 m,地势总体由南北向长江河谷逐级降低,地貌以丘陵、山地为主,其中山地占76%,丘陵占22%,河谷平坝区占2%。自2007年成为统筹城乡综合配套改革试验区以来,重庆市出台并实施配套的支农惠农政策,乡村建设取得了重要进展:① 农业稳步推进。建设以柑橘、榨菜、生态渔业等为重点的特色产业链,大力调整农业结构,发展特色产业832000 hm<sup>2</sup>,实现重点特色产业链综合产值1200亿元;全年粮食总产量、粮食综合单产分别达1167.15万t、231686.67 kg/hm<sup>2</sup>,比上年增长0.1%、0.6%。② 农产品加工业高速增长。农产品加工企业达2.4万家,带动就业70余万人,实现年产值3990亿元,农产品加工业产值与农业总产值之比达1.99:1;建成市级农产品加工基地25个、培育加工示范企业285户。③ 休闲农业与乡村旅游蓬勃发展。积极开展“六个一批”建设,全年乡村休闲旅游接待游客1.7亿人次,实现综合收入510亿元,带动就业100万人;创建全国休闲农业和乡村旅游示范县12个、示范点23个,市级示范区县8个、示范乡镇17个、示范村(点)92个<sup>①</sup>。

### 3.2 数据来源

对于尺度较大的脆弱性评价而言,统一以行政区域为空间研究单元,具有将研究成果与管理体制相结合的优势<sup>[2]</sup>。而县域是中国各类统计数据、资料较全的最小行政单元,以县域为研究单元有利于收集比较翔实的数据。因此,本文以重庆市为研究区、37个区县(因渝中区已实现100%城镇化,故不纳入本研究的范围)为研究单元,以2007年(重庆市成为统筹城乡综合配套改革试验区)、2012年(中共十八大明确乡村生产由增产导向转为提质导向)、2017年(中共十九大提出实施乡村振兴战略)为研究时点。研究数据包括空间数据和属性数据两部分。空间数据包括通过走访重庆市规划和自然资源局获取的2007年、2012年、2017年重庆市土地变更调查数据、农用地分等定级成果、DEM数据等。属性数据包括社会经济数据和生态环境数据两类,主要通过网站查询、走访重庆市统计局和区县统计局、间接换算等方式获取。其中,社会经济数据来源于中国统计出版社2008年、2013年、2018年出版的《重庆统计年鉴》《重庆调查年鉴》《中国县域统计年鉴》以及37个区县统计年鉴;生态环境数据来源于重庆市水利局发布的《重庆市水资源公报》和《重庆市水土保持公报》、重庆市林业局发布的《重庆市森林资源公报》、重庆市环境保护局发布的《重庆市环境状况公报》。

### 3.3 研究方法

#### 3.3.1 乡村生产空间系统脆弱性评价

##### (1) 评价指标体系构建

本文基于Polisky等<sup>[20]</sup>提出的VSD评估框架和乡村生产空间系统脆弱性内涵框架,结合重庆市乡村生产空间系统人地关系复杂多样以及所面临关键问题不尽相同的地域特征,遵循系统性、针对性和可操作性等原则,从暴露度、敏感性和适应能力3个脆弱性要素入手构建乡村生产空间系统脆弱性评价指标体系,共包括18项指标(表1)。

暴露度是乡村生产空间系统遭受乡村生产活动、自然灾害、外部环境等扰动程度的重要表征,取决于研究单元乡村生产空间系统的生产活动强度、灾害发生频率和城镇化侵入程度等。选取农药使用强度、化肥施用强度和复种指数表征生产活动强度;研究区地处西南丘陵山区,是典型的山地地形,土地资源少,生态环境脆弱,滑坡、泥石流、水土流失等灾害频发,因而选取地质灾害发生强度、水土流失率表征灾害发生频率;选取城镇用地占比表征城镇化侵入程度。

① 重庆市农业委员会. 重庆市农业委员会关于市政协五届一次会议第0895号提案的复函[EB/OL]. <http://www.cqagri.gov.cn/nsjy/Details.aspx?topicId=724584&ci=4091&psi=6>, 2018-07-23.

表1 乡村生产空间系统脆弱性评价指标体系

Tab. 1 The evaluation index system of the vulnerability of rural production space system

要素层	指标层	内涵	单位	性质	权重			
					2007年	2012年	2017年	平均值
暴露度 (E)	农药使用强度	农药使用量/耕地面积	t/hm <sup>2</sup>	+	0.078	0.107	0.131	0.105
	化肥施用强度	化肥施用量/耕地面积	t/hm <sup>2</sup>	+	0.130	0.164	0.078	0.124
	复种指数	农作物播种面积/耕地面积	-	+	0.045	0.030	0.032	0.036
	地质灾害发生强度	地质灾害点体积/研究单元面积	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	+	0.291	0.282	0.309	0.294
	水土流失率	水土流失面积/研究单元面积	%	+	0.079	0.079	0.091	0.083
	城镇用地占比	城镇用地面积/研究单元面积	%	+	0.377	0.338	0.359	0.358
敏感性 (S)	平均耕地质量等别	反映耕地的耕作质量情况 <sup>①</sup>	等	+	0.103	0.097	0.099	0.100
	≥ 25°耕地占比	≥ 25°耕地面积/耕地面积	%	+	0.346	0.327	0.330	0.334
	地形起伏度	最大高程值-最小高程值	m	+	0.231	0.217	0.220	0.223
	人均水资源量	水资源总量/乡村总人口	亿m <sup>3</sup> /万人	-	0.040	0.040	0.050	0.043
	森林覆盖率	林地面积/研究单元面积	%	-	0.176	0.118	0.122	0.139
	地均生态服务价值	区域生态服务价值总和 <sup>②</sup> /研究单元面积	元/hm <sup>2</sup>	-	0.104	0.201	0.179	0.161
适应能 力(A)	人均农林牧渔业总产值	农林牧渔业总产值/乡村总人口	元/人	+	0.040	0.099	0.049	0.063
	单位面积粮食产量	粮食总产量/耕地面积	t/hm <sup>2</sup>	+	0.035	0.032	0.045	0.038
	单位面积蔬菜产量	蔬菜总产量/耕地面积	t/hm <sup>2</sup>	+	0.274	0.213	0.192	0.226
	农林水事务财政支持强度	农林水事务支出/耕地面积	万元/hm <sup>2</sup>	+	0.278	0.318	0.272	0.289
	农业机械化水平	农业机械总动力/耕地面积	kW/hm <sup>2</sup>	+	0.199	0.142	0.182	0.174
	灌排设施覆盖率	农田水利用地面积/耕地面积	%	+	0.174	0.196	0.260	0.210

注：①原中华人民共和国国土资源部，《2016年全国耕地质量等别更新评价主要数据成果》，2017-12-21。耕地评定为15个等别，1等耕地质量最好，15等最差。②区域生态服务价值总和依据Costanza等<sup>[35]</sup>、谢高等<sup>[36]</sup>方法计算。

敏感性是乡村生产空间系统由于自然本底条件和内部结构状况影响，遭受扰动而发生容易程度的重要表征，取决于研究单元乡村生产空间系统的耕地利用、土壤侵蚀、水资源供给、生态涵养等状况。选取平均耕地质量等别和≥ 25°耕地占比表征耕地利用状态；选取地形起伏度表征土壤侵蚀程度；选取人均水资源量表征生产用水富裕度；选取森林覆盖率、地均生态服务价值表征生态涵养能力。

适应能力是乡村生产空间系统调整、应对不利扰动并从不利扰动中恢复能力的重要表征，取决于研究单元乡村生产空间系统的生产力水平、技术水平、管理水平和农田水利设施水平。选取人均农林牧渔业总产值、单位面积粮食产量、单位面积蔬菜产量表征生产力水平；选取农林水事务财政支持强度表征管理水平；选取农业机械化水平表征技术水平；选取灌排设施覆盖率表征农田水利设施水平。

## (2) 评价模型建立

① 评价指标赋权。熵值法既可以克服主观赋权法无法避免的随机性、臆断性问题，还可以有效解决多指标变量间信息的重叠问题，且能够深刻反映出指标信息熵值的效用价值，具有较强的客观性，被广泛应用于社会经济等研究领域<sup>[37]</sup>。本文采用熵值法进行指标赋权，其评价思路为评价对象在某项指标的值相差越大，该对象越重要，权重值越大。考虑到指标的时序特性及其整体表现，暴露度、敏感性和适应能力每个维度下的指标均选取3年权重的平均值作为最终权重（表1）。具体计算步骤如下：

指标标准化处理与权重计算。由于各评价指标具有不同的量纲、数量级，为消除不同量纲数据对脆弱性评价的影响，本文采用极差标准化法对数据进行无量纲化处理，具

体公式如下:

$$\text{当 } X_{ij} \text{ 是正向指标时: } Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (1)$$

$$\text{当 } X_{ij} \text{ 是负向指标时: } Z_{ij} = \frac{\max X_{ij} - X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (2)$$

式中:  $Z_{ij}$  为指标的标准化值;  $X_{ij}$  为指标的原始值;  $i$  为第  $i$  研究单元;  $j$  为第  $j$  项评价指标。

$$\text{计算指标权重 } W_j: W_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j \quad (3)$$

$$\text{计算最终权重 } \bar{W}_j: \bar{W}_j = \frac{W_{j2007} + W_{j2012} + W_{j2017}}{3} \quad (4)$$

式中:  $\bar{W}_j$ 、 $W_{j2007}$ 、 $W_{j2012}$ 、 $W_{j2017}$  分别为乡村生产空间系统脆弱性第  $j$  项指标的平均权重、2007年权重、2012年权重、2017年权重。

② 脆弱性评价模型。脆弱性分维度评价模型。结合指标权重和标准化值,采用加权求和法分别计算出各研究单元乡村生产空间系统的暴露度、敏感性、适应能力。具体公式如下:

$$E_i = \sum_{j=1}^m Z_{ij} \bar{W}_j, S_i = \sum_{j=1}^m Z_{ij} \bar{W}_j, A_i = \sum_{j=1}^m Z_{ij} \bar{W}_j \quad (5)$$

式中:  $E_i$ 、 $S_i$ 、 $A_i$  分别为第  $i$  研究单元乡村生产空间系统的暴露度、敏感性、适应能力。

脆弱性综合评价模型。参考已有研究成果<sup>[9]</sup>,依据前文乡村生产空间系统脆弱性的内涵解构,脆弱性由暴露度、敏感性和适应能力构成,且暴露度、敏感性与脆弱性正相关,适应能力与脆弱性负相关。据此,对乡村生产空间系统脆弱性进行定量评价,具体公式如下:

$$V_i = E_i + S_i - A_i \quad (6)$$

式中:  $V_i$  为第  $i$  研究单元的乡村生产空间系统脆弱性。

**3.3.2 乡村生产空间系统脆弱性类型划分** 主导要素法是自上而下的区划方法,最早用于自然区划中,即综合比较各种要素,查明各研究单元形成和分异的主导要素,并以此作为标志,将标志作为划分区域的界线<sup>[38]</sup>。乡村生产空间系统的构成要素伴随人地关系的演化不断更新,由最初单一要素(人)逐步演化到多元要素(人、地、资金、技术、政策等)构成,要素之间相互作用关系愈加复杂多变,致使乡村生产空间系统暴露度、敏感性和适应能力3个脆弱性要素的作用强度不同,其中主导要素对乡村生产空间系统脆弱性程度起着决定性作用。目前,主导要素法已广泛应用于功能类型区划、资源空间流动地域类型划分等方面,为乡村生产空间系统脆弱性类型划分提供了重要理论参考。例如李平星等<sup>[39]</sup>通过定量化价值评价方法,根据江苏省各县市优势功能的类型和数量确定其主导功能类型;王宜强等<sup>[40]</sup>以区域煤炭资源流动的各要素在重要性和贡献度上的比例关系为基础,对各要素组合类型区域进行类型划分。因此,本文将主导要素类型划分方法引入乡村生产空间系统脆弱性类型划分中,以确定各区县脆弱性主导要素的类别和数量,具体公式如下:

$$\begin{aligned} CE_i &= E_i - \bar{E}_i \\ CS_i &= S_i - \bar{S}_i \\ CA_i &= A_i - \bar{A}_i \end{aligned} \quad (7)$$

式中:  $CE_i$ 、 $CS_i$ 、 $CA_i$  分别表示第  $i$  区县乡村生产空间系统的暴露度、敏感性、适应能力与其平均值的差值(即离均差);  $\bar{E}_i$ 、 $\bar{S}_i$ 、 $\bar{A}_i$  分别表示第  $i$  区县暴露度、敏感性、适应

能力的平均值。由于暴露度、敏感性与脆弱性正相关，适应能力与脆弱性负相关。因此，①若 $CE_i \leq 0$ 或 $CS_i > 0$ ，则确定暴露度或敏感性为第*i*区县乡村生产空间系统脆弱性的主导要素； $CE_i \leq 0$ 或 $CS_i \leq 0$ ，则确定暴露度或敏感性为第*i*区县乡村生产空间系统脆弱性的辅助要素。②若 $CA_i < 0$ ，则确定适应能力为第*i*区县乡村生产空间系统脆弱性的主导要素； $CA_i \geq 0$ ，确定适应能力为第*i*区县乡村生产空间系统脆弱性的辅助要素。依据公式（5）测算出研究时点重庆市各区县乡村生产空间系统暴露度（*E*）、敏感性（*S*）、适应能力（*A*）的离均差，识别出各区县乡村生产空间系统脆弱性的主导要素。

### 4 乡村生产空间系统脆弱性时空分异

根据建立的脆弱性分维度评价模型计算出2007年、2012年、2017年重庆市37个区县乡村生产空间系统的暴露度、敏感性、适应能力，再参考公式（6）测算出其脆弱性，进而利用ArcGIS 10.2将测算值与矢量格式的研究单元进行空间链接，绘制形成2007年、2012年、2017年重庆市乡村生产空间系统脆弱性相关空间分布图（图2~图5）。

#### 4.1 暴露度

从空间上看，重庆市乡村生产空间系统暴露度总体上由主城片区和渝东北片区的万州区双核心向四周逐渐减弱，呈“局部突出、北高南低”的空间格局特征。究其原因，位于西部片区的江北区、大渡口区、沙坪坝区、渝北区等区县经济发展水平较高，城市扩展严重、耕地面积少，农业产量的增长主要依靠大量投入农药化肥等农资产品，农药使用强度、化肥施用强度和城镇用地占比均高于全市平均水平；位于渝东北片区的万州

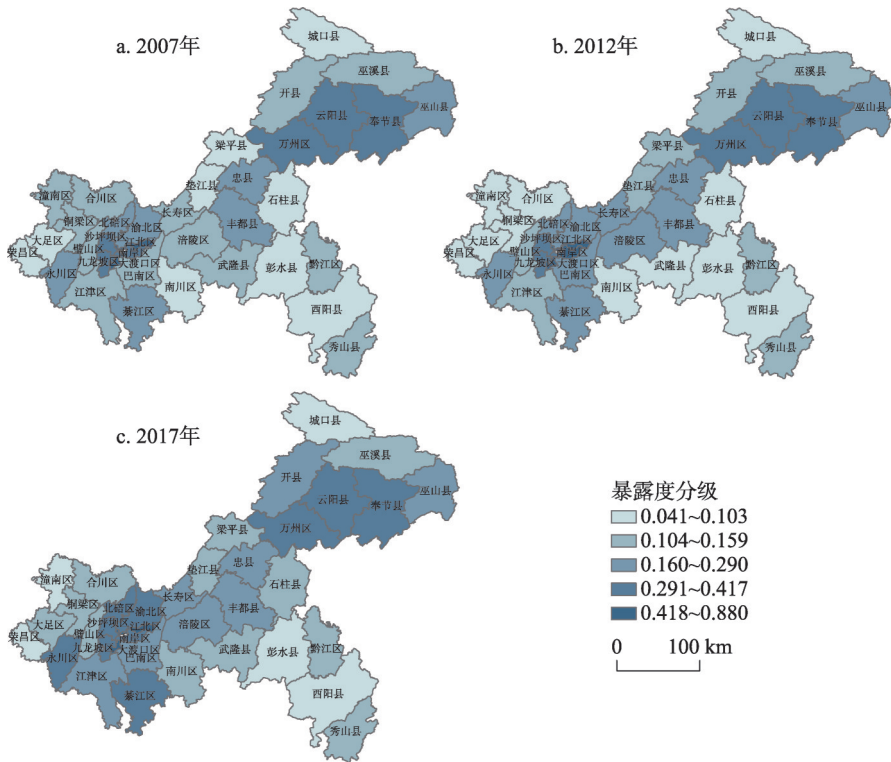


图2 2007年、2012年、2017年重庆市乡村生产空间系统暴露度空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of the exposure degree of rural production space system in Chongqing in 2007, 2012 and 2017



区、云阳县、奉节县等区县经济发展较为滞后,受耕地面积有限和经济发展滞后影响,以农业为主的乡村经济发展严重依靠耕地的重复利用,复种指数高,且地处中国水土流失最严重地区之一的三峡库区,地势陡峭崎岖、地质构造复杂,多为喀斯特地貌,地形破碎、地质灾害频发,水土流失率、地质灾害发生强度较高,特别是云阳县、奉节县、万州区,其水土流失率分别高达57.650%、57.550%、45.560%,位列重庆市前3位,地质灾害发生强度分别高达1521.030 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、1315.312 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>和1223.990 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,位列重庆市第3、第4和第5,致使乡村生产空间系统暴露度均较高。位于渝东北、渝东南片区的城口县、酉阳县、彭水县、梁平县等区县,经济发展水平较低,呈典型的大农村、小城市特征,生产方式较为传统,农药使用强度和化肥施用强度较低、城镇用地占比较小,巫溪县农药使用强度最低,为0.001 t/hm<sup>2</sup>,城口县城镇用地占比最低,为0.141%;而位于渝西片区的大足区、南川区和荣昌区等区县,地形地貌条件较好,地质灾害防治能力强、水土保持工作有序推进,地质灾害发生强度、水土流失率较低,致使乡村生产空间系统暴露度均较低。

从时间上看,2007—2017年重庆市乡村生产空间系统暴露度总体呈上升趋势,系统遭受扰动的程度增大。研究期间,尽管重庆市大力发展生态农业、绿色农业,积极开展化肥使用量零增长行动,以期“化肥减量控害,产出高效、安全、资源节约、环境友好的现代农业发展之路”提供实践参考。但由于地处西南丘陵山区,平坝地少,“鸡窝地”、坡耕地多,地块细碎,致使农业机械使用限制大,农业生产资源禀赋差,农业产出增长主要依靠增加化肥投入,2007—2017年重庆市化肥施用强度由0.377 t/hm<sup>2</sup>增长至0.403 t/hm<sup>2</sup>,增长率达6.970%。此外,自2007年成立统筹城乡综合配套改革试验区以来,受长期城乡发展“重大轻小、重城轻乡”思想的影响,加上国家对直辖市的政策倾斜和自身区位优势,重庆市城镇化、工业化进程加快,在经济发展和人口城镇化增长的带动和辐射下,城镇用地无序扩张、占用耕地现象屡见不鲜,城镇建设占用与耕地特殊保护的矛盾愈益突出,加大了对乡村生产空间系统的侵入和挤占,乡村生产空间系统非自然压缩现象明显,2007—2017年城镇用地占比由0.896%增长至2.448%,增长率高达177.732%。

#### 4.2 敏感性

从空间上看,重庆市乡村生产空间系统敏感性总体上以主城片区为核心向四周逐渐增强,呈“东高西低”的空间格局特征。究其原因,位于东部片区的城口县、开县、秀山县等区县地处生态脆弱区,喀斯特地貌发育,石漠化严重,平均耕地质量等别、 $\geq 25^\circ$ 耕地占比以及地形起伏度均较大,致使乡村生产空间系统敏感性较高,其中城口县敏感性最高,为0.605。而位于西部片区的大渡口区、南岸区、铜梁区等区县地形平坦、土壤肥沃,耕地质量较好,平均耕地质量等别、 $\geq 25^\circ$ 耕地占比和地形起伏度大多低于全市平均水平,致使乡村生产空间系统敏感性较低;大渡口区敏感性最低,为0.238。

从时间上看,2007—2017年重庆市乡村生产空间系统敏感性总体上呈波动下降趋势,系统遭受扰动而发生变化的容易程度减弱。重庆市贯彻实施最严格的耕地保护制度,开展永久基本农田划定工作、耕地质量保护与提升行动,全面治理农业面源污染,耕地质量显著提升,平均耕地质量等别(等别越高,质量越差)由9.961等下降为9.772等,下降率达1.897%;同时,稳步推进“退耕还林”工程,对 $25^\circ$ 以上的坡耕地退耕还林, $\geq 25^\circ$ 耕地占比由23.034%下降至22.261%,下降率达3.360%。此外,2007—2017年重庆市切实加强水资源保护,推行最严格水资源管理制度,人均水资源量由0.281亿m<sup>3</sup>/万人增长至0.594亿m<sup>3</sup>/万人,增长率达111.331%;同时贯彻落实“共抓大保护、不搞大



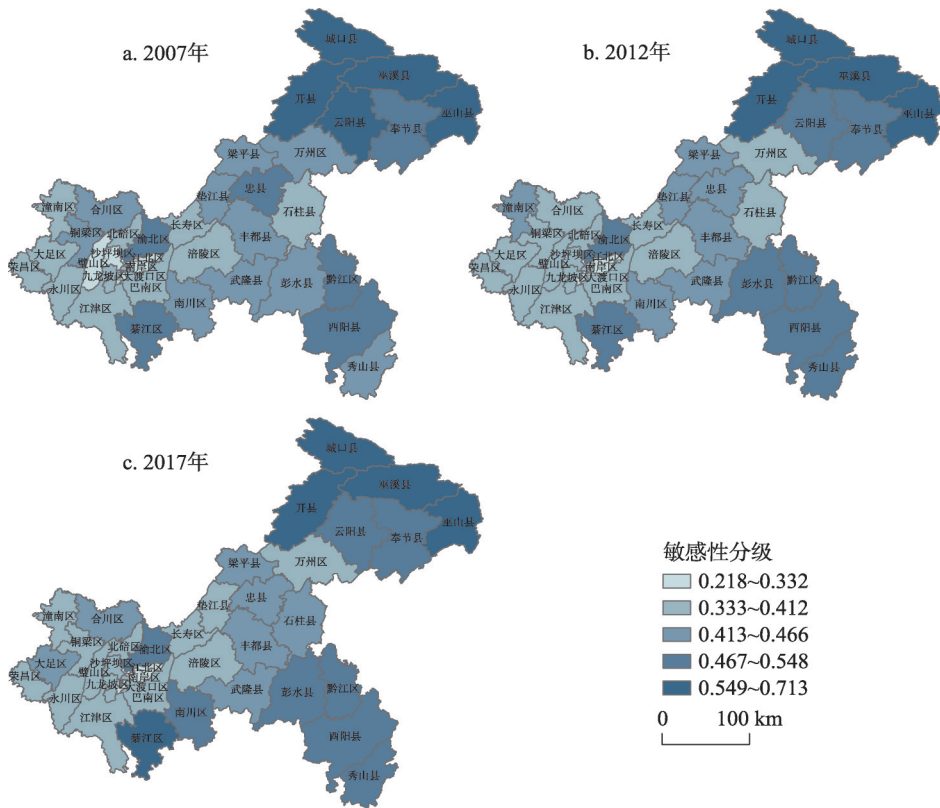


图3 2007年、2012年、2017年重庆市乡村生产空间系统敏感性空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of the sensitivity of rural production space system in Chongqing in 2007, 2012 and 2017

开发”方针，筑牢长江上游重要生态屏障，加快生态文明制度建设，启动生态环境损害赔偿、流域横向生态保护补偿、退耕还林工程等措施，生态环境保护与治理取得新成效，生态涵养功能显著提升，森林覆盖率由40.031%增长至46.962%，增长率达17.314%，地均生态服务价值由11.597元/hm<sup>2</sup>增长至13.551元/hm<sup>2</sup>，增长率达16.846%。

#### 4.3 适应能力

从空间上看，重庆市乡村生产空间系统适应能力总体上以主城片区为核心向四周逐渐减弱，呈“西高东低”的空间格局特征。究其原因，位于西部片区的沙坪坝区、九龙坡区、北碚区等区县为经济发展先行区，城市发展对乡村辐射带动作用明显，拥有高水平的乡村发展管理与指导人员，对近年来农业供给侧结构性改革、乡村振兴等国家助推“三农”发展的战略部署做出了迅速、准确的响应，出台了系列政策文件助推乡村经济发展，乡村生产发展时机成熟，区位优势明显，新型农业经营主体大量涌入、土地整治工程有序推进，农业农村发展先进理念合理引入，农业生产设施及附属设施投入加大，单位面积农林水投入、农业机械化水平和灌排设施覆盖率均位于全市前列，致使乡村生产空间系统适应能力较强。其中大渡口区适应能力最强，为0.697。而位于东部片区的黔江区、梁平县、丰都县、忠县和酉阳县等区县是典型的以大农村为主的经济区域，生产地块破碎、坡度大、地势陡峭，农业生产条件较差，旱涝灾害频发，农田灌排设施不足，农业经营主体薄弱、综合素质偏低，乡村劳动力外流严重，“老人农业”现象突出，农业生产规模小、农民组织化程度低，农业项目投资渠道单一，致使乡村生产空间系统适应能力较弱。其中酉阳县适应能力最低，为0.073。

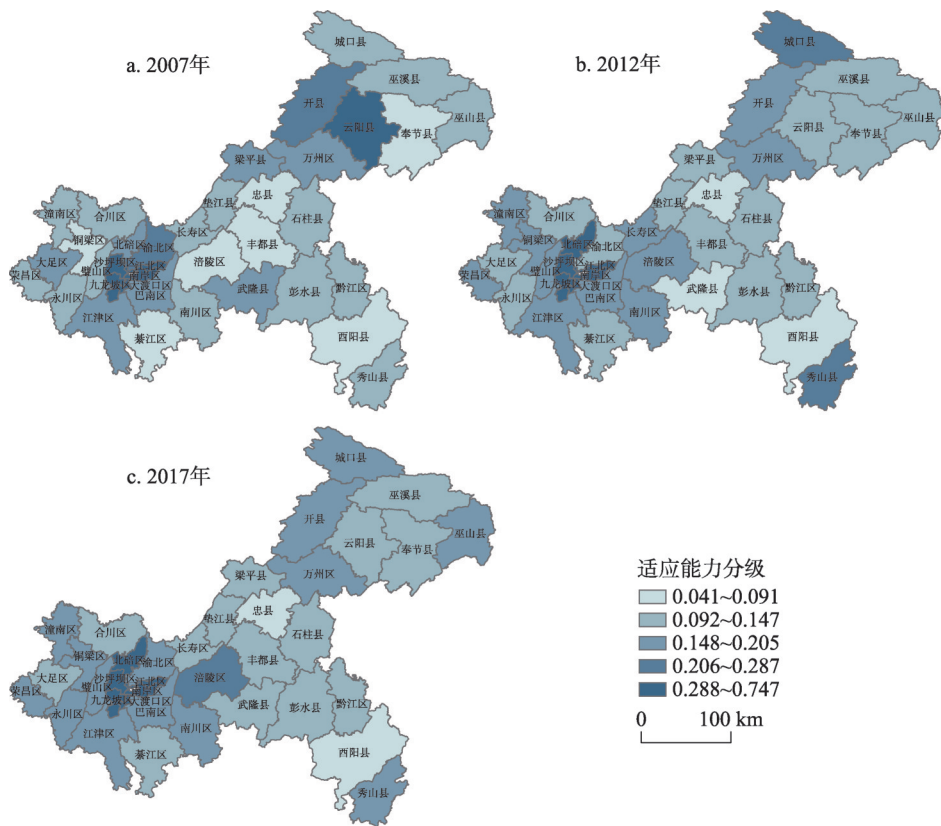


图4 2007年、2012年、2017年重庆市乡村生产空间系统适应能力空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of the adaptability of rural production space system in Chongqing in 2007, 2012 and 2017

从时间上看, 2007—2017年重庆市乡村生产空间系统适应能力总体呈快速增长趋势, 系统调整、应对不利扰动并从不利扰动中恢复的能力增强。期间重庆市农业农村发展政策倾斜和资金投入双管齐下, 遵循“以工促农、以城带乡”的城乡发展机制, 逐渐由城乡统筹走向城乡融合, 把农业农村作为支出的优先保障领域, 农业农村经济发展财政支持力度明显增大, 农林水事务财政支持强度由0.199万元/hm<sup>2</sup>增加至1.297万元/hm<sup>2</sup>, 增加率达551.880%。积极引导传统农业向现代农业转变, 优化调整农业产业结构, 产业链向多功能、开放式、综合性延伸, 农业生产经营呈规模化、集约化、专业化、组织化、社会化特征, 大量新型农业经营主体涌现, 为现代农业发展注入新力量, 农林牧渔业总产值呈跨越式增长, 人均农林牧渔业总产值由3390.585元/人上升至18192.822元/人, 上升率达436.569%。同时, 研究期间重庆市重视种植结构调整, 调减低产低效农作物播种面积, 大力发展以蔬菜为主的经济作物; 积极引进蔬菜优良品种, 研发和推广蔬菜种养技术; 通过政策、项目、资金等引导, 蔬菜基地建设、改造成效明显, 初步建立了主城、区县城和集镇三级保供体系, 蔬菜抗灾生产能力、应急保供能力显著增强, 单位面积蔬菜产量由4.221 t/hm<sup>2</sup>增长至8.216 t/hm<sup>2</sup>, 增长率为94.638%。此外, 研究期间重庆市通过开展土地整治、高标准农田建设等工作改善丘陵山区农机化生产作业条件, 推进油菜、辣椒、黄连烘干等特色农产品生产机械化, 研发、推广适用于丘陵山地的中、小、微型农机具等, 农业机械化迅猛发展, 农业机械化水平由3.842 kW/hm<sup>2</sup>增长至5.564 kW/hm<sup>2</sup>, 增长率达44.822%; 开展农田灌排设施工程, 完善农田水利基础设施网络, 农田水利基础建设稳步推进, 灌排设施覆盖率由0.263%增长至0.409%, 增长率达55.406%。

#### 4.4 脆弱性

从空间上看,重庆市乡村生产空间系统脆弱性从西向东逐渐增强,总体上呈“东高西低”的空间格局特征,且渝东北片区高于渝东南片区。究其原因,位于渝东北片区的万州区、忠县、开县、云阳县、巫山县等区县地处生态脆弱区和经济发展滞后区,2017年乡村生产空间系统敏感性较高、区域均值为0.474(重庆市均值0.435),适应能力较低、区域均值为0.145(重庆市均值0.203),致使系统脆弱性较高;而位于西部片区的九龙坡区、沙坪坝区、南岸区、荣昌区、潼南区等区县地处生态条件较好、经济发展前沿区,乡村生产空间系统敏感性较低、区域均值为0.392(重庆市均值0.435),适应能力较高、区域均值为0.271(重庆市均值0.203),致使系统脆弱性低。

从时间上看,2007—2017年重庆市乡村生产空间系统脆弱性总体呈下降趋势,系统面对各种胁迫的易损性减弱,是暴露度、敏感性和适应能力三者相互作用的结果,主要受乡村生产空间系统敏感性下降、适应能力上升的影响,虽然暴露度呈上升趋势,但其上升幅度远不能主导乡村生产空间系统脆弱性的总体走势。其中,2007—2012年渝北区、大足区、武隆县、石柱县等10个区县乡村生产空间系统脆弱性呈增长趋势,点状分布于全市,北碚区、铜梁区、荣昌区、璧山区、城口县等27个区县脆弱性呈下降趋势,占研究单元总数的72.973%,主导了整个研究期间重庆市乡村生产空间系统脆弱性的时序演变特征;2012—2017年北碚区、大足区、铜梁区、秀山县、彭水县等25个区县乡村生产空间系统脆弱性呈增长趋势,占研究单元总数的67.567%,沙坪坝区、潼南区、璧山区、九龙坡区、巫溪县等主要位于西部地区和渝东北片区12个区县的脆弱性呈下降趋势。

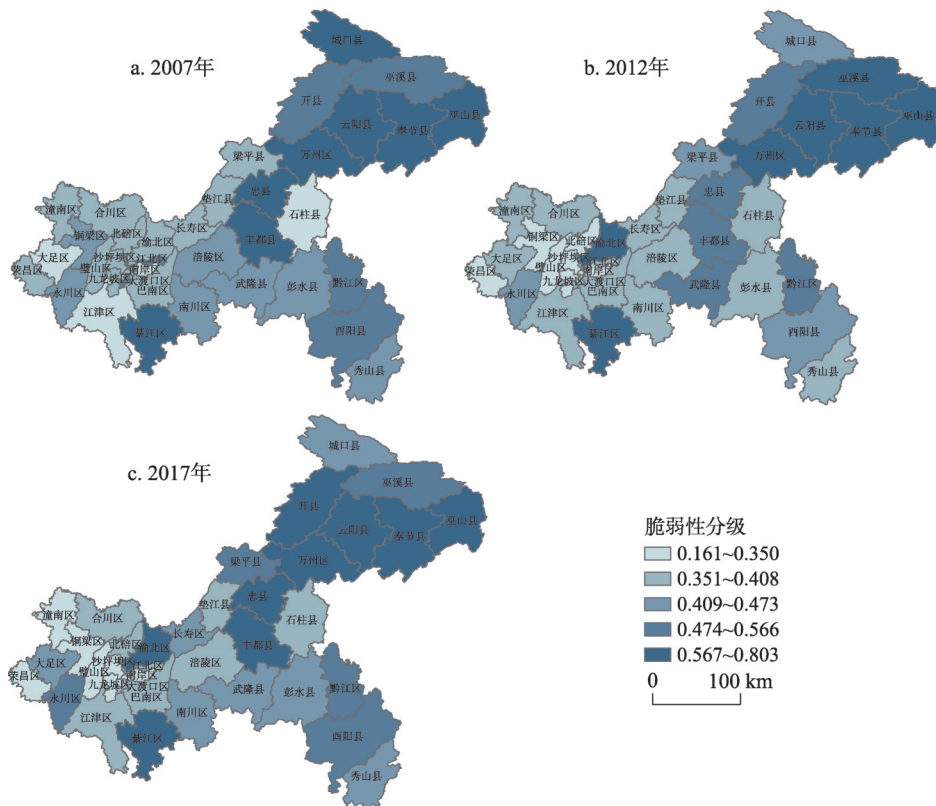


图5 2007年、2012年、2017年重庆市乡村生产空间系统脆弱性空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of the vulnerability of rural production space system in Chongqing in 2007, 2012 and 2017



## 5 乡村生产空间系统脆弱性类型划分与差异化调控

### 5.1 乡村生产空间系统脆弱性类型

**5.1.1 脆弱性类型初拟** 依据各区县乡村生产空间系统脆弱性主导要素的类型和数量初步确定脆弱性类型。若主导要素数量为0，则定义为弱综合脆弱型；主导要素数量为1，则根据主导要素类型分别定义为暴露度脆弱型、敏感性脆弱型、适应能力脆弱型3种；主导要素数量为2，则依据主导要素类型分别定义为暴露—敏感脆弱型、暴露—适应脆弱型、敏感—适应脆弱型3种；主导要素数量为3，则定义为强综合脆弱型。理论上讲，乡村生产空间系统脆弱性可划分为8种类型。据此，定量初步划分2007年、2012年、2017年重庆市各区县乡村生产空间系统脆弱性类型（图6）。

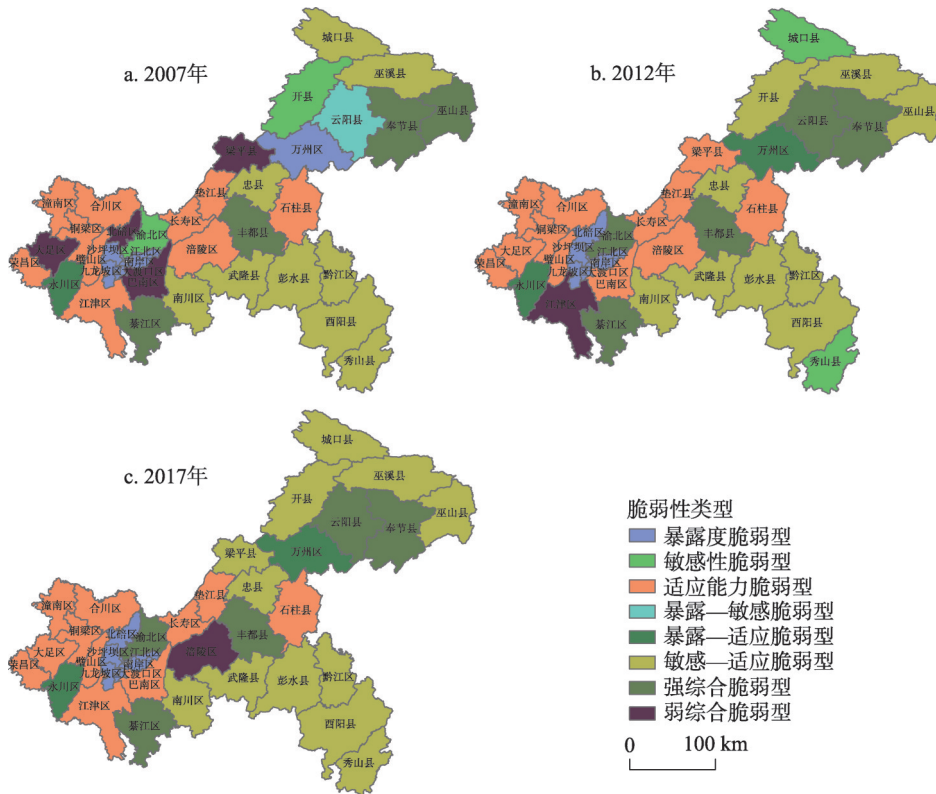


图6 2007年、2012年、2017年重庆市乡村生产空间系统脆弱性类型划分空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of the vulnerability types of rural production space system in Chongqing in 2007, 2012 and 2017

**5.1.2 脆弱性类型结果** 虽然量化的结果可以使目标更明确、模糊概念更精确，避免评估主体的主观随意性，但就乡村生产空间系统这一复杂多变的巨系统而言，脆弱性类型划分的影响因素不仅仅是可以量化的数据，还包括不能量化的指标，而定性研究可以弥补定量研究无法描述、量化的指标。因而，本文采用定性研究与定量研究相结合的方法，基于2007年、2012年和2017年乡村生产空间系统脆弱性类型定量划分结果，结合重庆市各区县特殊地域环境、乡村生产定位、社会经济水平和未来发展趋势，最终将重庆市乡村生产空间系统脆弱性划分为适应能力脆弱型、暴露—敏感脆弱型、敏感—适应脆弱型和强综合脆弱型4种类型（图7）。适应能力脆弱型（低适应能力）包括巴南区、

璧山区、合川区、铜梁区、潼南区、长寿区等11个区县，大多位于渝西片区，该区域适应能力较低的原因主要是单位面积粮食产量不高，灌排设施覆盖率较小。暴露—敏感脆弱型（高暴露度—高敏感性）包括北碚区、渝北区、沙坪坝区、九龙坡区、江北区、南岸区、大渡口区等7个区县，该区域暴露度较高的原因主要是农药化肥投入强度大，城镇用地占比高，敏感性较高的原因主要是人均水资源量、森林覆盖率、地均生态服务价值均较低。敏感—适应脆弱型（高敏感性—低适应能力）包括綦江区、南川区、武隆县、彭水县、黔江区、垫江县、梁平县等12个区县，是重庆市乡村生产空间系统脆弱性的主要类型，主要位于重庆市南部地区，渝西、渝东北、渝东南三大片区均有分布，该区域敏感性较高的原因主要是平均耕地质量等别较高、 $\geq 25^\circ$ 耕地占比大，适应能力较低的原因主要是人均农林牧渔业总产值、单位面积蔬菜产量和农业机械化水平均较低。强综合脆弱型（高暴露度—高敏感性—低适应能力）包括丰都县、忠县、石柱县、万州区、云阳县、奉节县和巫山县等7个区县，均位于渝东北片区，该区域暴露度较高的原因主要是地质灾害发生强度、水土流失率均较高，敏感性较高的原因主要是平均耕地质量等别、 $\geq 25^\circ$ 耕地占比、地形起伏度均较大，适应能力较低的原因主要是人均农林牧渔业总产值、单位面积粮食产量、农林水事务财政支持强度和灌排设施覆盖率均较低。



图7 重庆市乡村生产空间系统脆弱性类型划分空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of the vulnerability types of rural production space system in Chongqing

的主要类型，主要位于重庆市南部地区，渝西、渝东北、渝东南三大片区均有分布，该区域敏感性较高的原因主要是平均耕地质量等别较高、 $\geq 25^\circ$ 耕地占比大，适应能力较低的原因主要是人均农林牧渔业总产值、单位面积蔬菜产量和农业机械化水平均较低。强综合脆弱型（高暴露度—高敏感性—低适应能力）包括丰都县、忠县、石柱县、万州区、云阳县、奉节县和巫山县等7个区县，均位于渝东北片区，该区域暴露度较高的原因主要是地质灾害发生强度、水土流失率均较高，敏感性较高的原因主要是平均耕地质量等别、 $\geq 25^\circ$ 耕地占比、地形起伏度均较大，适应能力较低的原因主要是人均农林牧渔业总产值、单位面积粮食产量、农林水事务财政支持强度和灌排设施覆盖率均较低。

## 5.2 差异化调控

根据重庆市乡村生产空间系统脆弱性类型划分结果，按照“生态优先—分类调控—重点突出—因地施策”原则，分别就适应能力脆弱型、暴露—敏感脆弱型、敏感—适应脆弱型和强综合脆弱型4种乡村生产空间系统脆弱性类型提出差异化调控策略，以引导乡村生产空间系统“降脆”，贯彻落实重庆市乡村振兴战略行动计划，打好精准脱贫攻坚战，建设山清水秀美丽之地。

(1) 适应能力脆弱型。以“粮经协调发展、农田水利设施续建配套”为突破口，夯实渝西片区农业综合生产能力，推动农业发展质量变革、效率变革、动力变革，扛稳重庆市粮食安全重任，服务乡村产业振兴。① 在稳定经济作物生产、保证农业效益的同时，树立“无农不稳、无粮则乱”的粮食安全观和粮经协调发展观，引导农民合理处理粮食作物和经济作物用地问题，划定粮食主产区，巩固大宗粮食生产和优势粮食生产，保障“粮食安全”底线，实现“稳粮增收”。② 坚持“基础设施建设跟着产业走”原则，积极开展水源工程建设三年行动项目，加强农田水利建设，完善农田水利设施建设；坚持“确有需要、生态优先、可以持续”原则，以乡村生产需求为导向，推进大中型灌区续建配套节水改造，提高农业综合生产能力，实现灌区农业增产和农民增收；建立多元投入体制，拓宽农田灌溉设施建设和完善的资金渠道；植入技术指导与服务，提高灌溉设施的质量与技术等级，推动数字农业和智慧农业建设；建立农田灌溉设施后期长效管护机制，确保农田灌溉设施功能长期高效发挥，为现代农业发展、国家粮食安全提供基础设施保障。

(2) 暴露—敏感脆弱型。以“城镇用地严扩张促集约、农药化肥减施增效、绿色生

态发展”为突破口,优化重庆市主城片区三大功能空间布局,推动产业生态化、生态产业化,以绿色发展引领城郊融合类村庄产业振兴。一方面暴露度降低策略:①积极开展国土空间规划“双评价”,明确国土空间的承载能力等级与适宜程度,明确城镇空间发展的潜力规模和分布范围;科学编制新一轮国土空间规划,优化土地利用结构和布局,严控城镇用地规模,划定城镇用地扩展边界,实行区域城镇用地整体性控制,以供给引导需求,用规划规范行为;以挖掘潜力、盘活存量、功能融合、地上地下统筹为导向,盘活闲置土地,释放城镇空间,延长城镇用地生命周期,实施城镇用地指标增存挂钩。②开展生态种植、健康养殖等“绿色行动”,引导山地特色绿色高质农业发展,推动农业政策从增产导向转向提质导向;引导肥料产品优化升级,调整化肥施用结构,研发和推广测土施肥、配方施肥和化肥深施等技术,完善有机肥施用配套设施;推广生态调控、物理防治、生物防治等防治病、虫、草害的新兴方式,建立病虫害预测点,精准农药发放、防止农药错误混施,推广植保无人机、自走式打药机等高效药械,实现减量用药、精准施药。另一方面敏感性降低策略:①多渠道开发水资源,充分挖掘水资源潜力,在山区和丘陵区修建水池、小塘坝等拦蓄工程和引水工程,实现雨洪资源化;建设水库工程跨时空调蓄,补齐区域性缺水、季节性缺水短板;加强水资源管理和保护,树立节约用水观念,强化水污染源治理,实现水资源可持续利用。②积极推行缙云山、中梁山、铜锣山、明月山“四山”地区开发建设管制,扎实推进“四山”综合整治,严格林地用途管制,强化项目占用征收林地管理,有计划有步骤地推进天然林保护工程,避免为发展经济而过度消耗林地资源。③强化永久基本农田和耕地保护,推进农村废弃宅基地和建设用地复垦工作,因地制宜制定农田占补平衡制度,遏制建设用地无序扩张,避免高生态服务价值的农田、林地、水域等生态用地非农业化、建设化;构建城郊绿色生态网络,提升绿心绿地的生态服务价值。

(3) 敏感—适应脆弱型。以“耕地提质增效、农林牧渔业增收渠道拓宽、农业机械化发展”为突破口,稳步改善乡村生产生活环境,推动“产业+”带动重庆市贫困区县脱贫,统筹衔接乡村振兴与脱贫攻坚。一方面,敏感性降低策略:①该类型多位于喀斯特地貌广泛发育、石漠化严重的南部地区,喀斯特、石漠化特征显著,需因地制宜实施耕地轮作休耕制度,建立季节性、年度性休耕模式,促进耕地资源永续利用;休养生息、休养结合,休耕地种植涵养水分、培肥效果好的绿肥、豆科等养地作物,引入专业公司统一规划经营,依托休耕地或临近资源发展生态旅游,将轮作种植补贴与促进生态循环高效农业模式结合起来,实现休而不荒、休而不废,做到减耕增收。②该区域为石漠化发育区,耕地资源珍贵,不宜通过将 $\geq 25^\circ$ 耕地转为非耕地的方式减少 $\geq 25^\circ$ 耕地占比,需保规模、提地力并举,开展土地平整工程,人为降低耕地坡度,保证耕地总规模不减少;推广鼠洞作业,增强土壤的透水透气性,提升地表水分的渗入速度,减少地表径流量,提高耕地的抗旱保墒能力,保持 $\geq 25^\circ$ 耕地地力。另一方面,适应能力提升策略:①该类型多地处“老、少、边、穷”的国家级贫困区,乡村产业仍以传统农业为主,农林牧渔业总产值提升渠道单一,需在稳定粮食生产的基础上,依托大巴山区、武陵山区特色资源和少数民族民俗文化,将资源优势转变为产品优势、品牌优势、经济优势,突出少数民族地区扶贫开发和特色经济发展,构建草食牲畜、冷水鱼、茶叶、高山蔬菜、木本油料等高山特色农业产业链;依托山区旅游资源,农旅融合,创建大巴山、武陵山民俗特色农业休闲区,积极打造民俗文化生态旅游长廊、特色资源绿色加工长廊和现代特色效益农业长廊等三大特色生态产业长廊,拓宽农林牧渔业总产值提升渠道。②立足山区特色,挖掘立体气候优势,建设高山蔬菜基地,发展错峰蔬菜,培育大型蔬菜基



地,推动蔬菜的现代化、规模化种植;培育专业大户、农民专业合作社、家庭农场、农业企业等新型农业经营主体,发挥其带动作用,提高蔬菜的产业化经营水平、生产组织化程度;构建蔬菜“订种销”一体化模式,推动与基地、农户建立利益连接机制,提高种菜农民的生产积极性和经济收入,增强农民的获得感、幸福感。③推广多功能型的、一机多用的新型农业机械,研发和推广适用于丘陵山区的小微农机具,实现粮食作物、经济作物机械化生产;打造烟草、茶叶、油料、中药材及高山蔬菜等生产加工机械化示范专业户,补充完善农机购置补贴;以新农机具的试验示范和推广运用为依托,开展农业机械职业技能培训,提高务农人员的农机具认知与实践操作能力;提升农机装备智能化水平,促进数字农业农村与智慧农业的发展。

(4)强综合脆弱型。以“自然灾害防治、乡村一二三产业融合发展、政府引导支助”为突破口,建构根植于农业农村、由农民主办、彰显地域特色和乡村价值的乡村产业体系,推动渝东北片区实现乡村产业的全面振兴。一方面,暴露度降低策略:①高度重视以巫山、奉节为主的三叠系巴东组碎裂岩重点防范区,夯实地质灾害排查、调查等基础性工作,积极开展地质灾害搬迁避让“金土工程”,制定“一点一策”分类防治措施。②精准划定水土流失重点预防区和重点治理区,分类实施工程措施与生物措施;建立和完善资源有偿使用制度和生态补偿制度,严格控制人为水土流失的形成和发生。另一方面,敏感性降低策略:①三峡库区生态环境脆弱,人类活动是影响耕地质量的关键,需全面落实永久基本农田保护制度,发展节肥、节药、节膜农业;明确耕地监管主体,提高破坏耕地耕作层、田间基础设施等行为的惩罚力度。②三峡库区耕地资源相对丰富,25°以上耕地可实施“退耕还林”工程,发展经济果木林和水土保持林,提高林业产值占比,积极完善生态补偿机制,改善农民过度依赖种植业增加收入的现实瓶颈;坚持山水林田湖草综合治理,强化中低产田改造、坡耕地治理,提升耕地地力,实现“退耕不减产”。③地形起伏度是区域自然环境演化的结果,不能过度地人为削高填低,需从侧面弥补:充分依托库区区位条件和资源优势,以生态优先、绿色发展为引导,坚定“山地农业”发展路子,推广“林木压顶,果树缠腰,粮田座底”的立体农业模式,变劣势为优势,实现生态美、产业兴、农民富的有机统一。另一方面,适应能力提升策略:①深化农业供给侧结构性改革,变单一型农业产业结构为综合型农业产业结构,充分利用大库区、大田园、大生态、大山区的独特资源,打造柑橘、榨菜、生态渔业、茶叶、中药材、核桃等特色效益农业产业链;依托峡江山水、特色文化等资源,推动特色资源转化、生态旅游开发,发展特色生态经济,建设沿江特色农业经济带,促进乡村一二三产业深度融合。②坚持“稳定面积、主攻单产、提高品质”的粮食持续发展路径,扶持种粮专业大户和粮食生产合作组织,合理调整粮食作物结构和区域布局,创建粮食绿色高质高效示范区。③调整和优化农林水事务财政支出结构,完善农林水事务财政支出管理制度,强化项目的立项、选择、施工、后期管护等资金运行全过程的规范化监管,构建财政支农资金长效稳定增长机制。

## 6 结论与讨论

(1)乡村生产空间系统脆弱性作为系统运行状态的综合度量,是指在特定的乡村地域范围内,在面对系统内外环境各要素的扰动下,系统自身所具有的敏感性与适应能力相互作用而表现出系统结构或功能的易损程度。其体现了以“人”为核心的乡村多元主

体与以“地”为核心的乡村生产空间之间相互影响、相互作用的互动制衡关系;包含暴露度、敏感性和适应能力3个要素,暴露度、敏感性与脆弱性呈正向相关,适应能力与脆弱性呈负向相关。

(2)乡村生产空间系统脆弱性时空差异显著。2007—2017年重庆市乡村生产空间系统暴露度时序上呈上升趋势,空间上由主城片区和渝东北片区的万州区双核心向四周逐渐减弱,呈“局部突出、北高南低”的空间格局特征;敏感性时序上呈波动下降趋势,空间上以主城片区为核心向四周逐渐增强,呈“东高西低”的空间格局特征;适应能力时序上呈快速上升趋势,空间上以主城片区为核心向四周逐渐减弱,呈“西高东低”的空间格局特征;脆弱性时序上呈下降趋势,空间上从西向东逐渐增强,呈“东高西低”的空间格局特征,且渝东北片区高于渝东南片区。

(3)将重庆市乡村生产空间系统脆弱性划分为适应能力脆弱型、暴露—敏感脆弱型、敏感—适应脆弱型和强综合脆弱型4种类型,以乡村振兴战略为指导,按照“生态优先—分类调控—重点突出—因地制宜”原则,以适应能力脆弱型注重“粮经协调发展、农田水利设施续建配套”,暴露—敏感脆弱型注重“城镇用地严扩张促集约、农药化肥减施增效、绿色生态发展”,敏感—适应脆弱型注重“耕地提质增效、农林牧渔业增收渠道拓宽、农业机械化发展”和强综合脆弱型注重“自然灾害防治、乡村一二三产业融合发展、政府引导支助”,差异化引导乡村生产空间系统“降脆”、实现系统可持续发展。

本研究从脆弱性视角探究乡村生产空间系统,解析了乡村生产空间系统脆弱性的内涵,构建了一套适用于乡村生产空间系统脆弱性的评价体系,进而揭示了乡村生产空间系统脆弱性的时空分异特征,并划分了脆弱性类型、提出了差异化调控策略。其既拓宽了脆弱性的研究领域,为乡村生产空间系统运行状态量化研究提供了新的研究范式,又为脆弱性类型划分提供了新的思路,避免了仅从适应能力这一要素提出“降脆”策略,实现了“降脆”切入口的多元化。然而,乡村生产空间系统作为一开放复杂的人地关系地域系统,其脆弱性是一个涵盖自然与社会、常态与突变、内部与外部、现状过程与结果恢复的系统命题,涉及到的影响因素和作用机理复杂多变。本研究限于数据的可获取性、制度政策等难以量化的影响,乡村生产空间系统脆弱性评价指标不够全面和完善,如何科学完备地选取指标,以全面准确反映乡村生产空间系统脆弱性将是下一步研究完善的重点。此外,乡村生产空间系统脆弱性具有明显的尺度效应,不同尺度乡村生产空间系统脆弱性表现出不同的特征,亟待开展镇域尺度、村域尺度、农户尺度等多尺度的乡村生产空间系统脆弱性研究,探究不同尺度间乡村生产空间系统脆弱性的尺度差异、尺度关联和尺度传递等尺度效应。

## 参考文献(References)

- [1] Long Hualou. Land consolidation and rural spatial restructuring. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(8): 1019-1028. [龙花楼. 论土地整治与乡村空间重构. *地理学报*, 2013, 68(8): 1019-1028.]
- [2] Tian Yaping, Xiang Qingcheng, Wang Peng. Regional coupled human-natural systems vulnerability and its evaluation indexes. *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. *地理研究*, 2013, 32(1): 55-63.]
- [3] Lu Daming, Shi Yuzhong, Li Wenlong, et al. Spatiotemporal change of vulnerability in counties of northwest China. *Progress in Geography*, 2017, 36(4): 404-415. [鲁大铭, 石育中, 李文龙, 等. 西北地区县域脆弱性时空格局演变. *地理科学进展*, 2017, 36(4): 404-415.]
- [4] Wang Cheng, Li Haoying. Conceptual and research frameworks of rural production space system. *Progress in Geography*, 2017, 36(8): 913-923. [王成, 李颖颖. 乡村生产空间系统的概念性认知及其研究框架. *地理科学进展*, 2017, 36(8): 913-923.]

- [5] Wang Cheng, Ma Xiaosu, Tang Ning, et al. Operational mechanism and restructuring of rural production space system from the perspective of farming household behavior. *Progress in Geography*, 2018, 37(5): 636-646. [王成, 马小苏, 唐宁, 等. 农户行为视角下的乡村生产空间系统运行机制及重构启示. *地理科学进展*, 2018, 37(5): 636-646.]
- [6] He Yanzhou, Wang Cheng, Tang Ning, et al. Quantitative research on the state of rural production space system of Chongqing in the perspective of entropy. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2018, 40(10): 112-119. [何焱洲, 王成, 唐宁, 等. 熵视角下的重庆市乡村生产空间系统状态量化研究. *西南大学学报(自然科学版)*, 2018, 40(10): 112-119.]
- [7] Wang Cheng, Zhou Mingming, Li Haoying, et al. Research on the order of rural production space system based on a system entropy model in the dissipative structure. *Geographical Research*, 2019, 38(3): 619-631. [王成, 周明茗, 李颖颖, 等. 基于耗散结构系统熵模型的乡村生产空间系统有序性研究. *地理研究*, 2019, 38(3): 619-631.]
- [8] He Yanzhou, Wang Cheng. The evolution and sustainable development capacity of rural production space system based on information entropy. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(4): 815-828. [何焱洲, 王成. 基于信息熵的乡村生产空间系统演化及其可持续发展能力. *自然资源学报*, 2019, 34(4): 815-828.]
- [9] He Yanzhou, Wang Cheng. Evaluation and pattern optimization of rural production space system function: A case study of Banan District, Chongqing Municipality. *Economic Geography*, 2019, 39(3): 162-171. [何焱洲, 王成. 乡村生产空间系统功能评价与格局优化: 以重庆市巴南区为例. *经济地理*, 2019, 39(3): 162-171.]
- [10] Song Yongyong, Mi Wenbao, Zhong Juntao, et al. Spatial differentiation and its factors for coupled human-environment interaction systems vulnerability in limited developing ecological zone in Ningxia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(11): 85-91. [宋永永, 米文宝, 仲俊涛, 等. 宁夏限制开发生态区人地耦合系统脆弱性空间分异及影响因素. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(11): 85-91.]
- [11] Shi Yuzhong, Li Wenlong, Lu Daming, et al. Spatio-temporal analysis of drought vulnerability on the Loess Plateau of China at town level. *Resources Science*, 2017, 39(11): 2130-2140. [石育中, 李文龙, 鲁大铭, 等. 基于乡镇尺度的黄土高原干旱脆弱性时空演变分析: 以榆中县为例. *资源科学*, 2017, 39(11): 2130-2140.]
- [12] 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 Geographica 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.]
- [13] 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(1): 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(1): 1172-1188.]
- [14] Zhou Su'e, Zhang Mingjun, Wang Shengjie, et al. Assessment of vulnerability in natural-social system in Hexi, Gansu. *Resources Science*, 2018, 40(2): 452-462. [周苏娥, 张明军, 王圣杰, 等. 甘肃省河西地区自然—社会系统脆弱性评价. *资源科学*, 2018, 40(2): 452-462.]
- [15] Cheng Yu, Ren Jianlan, Xu Chenglong. The vulnerability assessment and obstacles about man-land system of resources-recession city: A case study of Zaozhuang City in Shandong Province. *Economic Geography*, 2015, 35(3): 87-93. [程钰, 任建兰, 徐成龙. 资源衰退型城市人地系统脆弱性评估: 以山东枣庄市为例. *经济地理*, 2015, 35(3): 87-93.]
- [16] Li Bo, Su Fei, Yang Zhi, et al. Vulnerability-based analysis of the spatial-temporal dynamic patterns of the human-sea territorial system of the Bohai-Rim region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(4): 1436-1445. [李博, 苏飞, 杨智, 等. 基于脆弱性视角的环渤海地区人海关系地域系统时空特征及演化分析. *生态学报*, 2018, 38(4): 1436-1445.]
- [17] Fang Chuanglin, Wang Yan. A comprehensive assessment of urban vulnerability and its spatial differentiation in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 234-247. [方创琳, 王岩. 中国城市脆弱性的综合测度与空间分异特征. *地理学报*, 2015, 70(2): 234-247.]
- [18] Bohle H G. Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography. *IHDP Update*, 2001, 2: 3-5.
- [19] Metzger M J, Rounsevell M D A, Acosta L, et al. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2006, 114(1): 69-85.
- [20] Polsky C, Neff R, Yamal B. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. *Global Environmental Change*, 2007, 17(3): 472-485.
- [21] White G F. *Natural Hazards*. Oxford: Oxford University Press, 1974.
- [22] Burton I, Kates R, White G. *The Environment as Hazard*. New York: The Guilford Press, 1993: 66-78.
- [23] Timmerman P. Vulnerability, resilience and the collapse of society. *Environmental Monograph*, 1981, 21(3): 164-173.
- [24] Kasperson J X, Kasperson R E. *International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change*. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2001.



- [25] Kates R W, Clark W C, Corell R, et al. Environment and development: Sustainability science. *Science*, 2001, 292(5517): 641-642.
- [26] Zhang Wanping. A study on vulnerability of social system of cities: A case study of Gansu Province [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2014. [张万萍. 城市社会系统脆弱性研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2014.]
- [27] Adger W N. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 268-281.
- [28] 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(14): 8074-8079.
- [29] UNISDR. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. United Nations, 2004.
- [30] IPCC. Climate change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [31] Li He, Zhang Pingyu, Cheng Yeqing. Concepts and assessment methods of vulnerability. *Progress in Geography*, 2009, 27(2): 18-25. [李鹤, 张平宇, 程叶青. 脆弱性的概念及其评价方法. 地理科学进展, 2009, 27(2): 18-25.]
- [32] Liu Xiaoqian, Wang Yanglin, Peng Jian. Progress in vulnerability analysis of coupled human-environment system. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(8): 61-68. [刘小茜, 王仰麟, 彭建. 人地耦合系统脆弱性研究进展. 地球科学进展, 2009, 24(8): 61-68.]
- [33] Chen Ping, Chen Xiaoling. Summary on research of coupled human-environment system vulnerability under global environmental change. *Progress in Geography*, 2010, 29(4): 454-462. [陈萍, 陈晓玲. 全球化变化下人—环境耦合系统的脆弱性研究综述. 地理科学进展, 2010, 29(4): 454-462.]
- [34] 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.]
- [35] Costanza R, Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [36] Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1243-1254. [谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.]
- [37] Wang Fuxi, Mao Aihua, Li Helong, et al. Quality measurement and regional difference of urbanization in Shandong province based on the entropy method. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(11): 1323-1329. [王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 等. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析. 地理科学, 2013, 33(11): 1323-1329.]
- [38] Zhu Lijuan. County functional division in important eco-function areas: A case study in Guanze, Fujian Province [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2016. [朱丽娟. 重点生态功能区县域功能区划分方法探讨: 以福建省光泽县为例[D]. 福州: 福建师范大学, 2016.]
- [39] Li Pingxing, Chen Wen, Sun Wei. Spatial differentiation and influencing factors of rural territorial multifunctions in developed regions: A case study of Jiangsu Province. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(6): 797-807. [李平星, 陈雯, 孙伟. 经济发达地区乡村地域多功能空间分异及影响因素: 以江苏省为例. 地理学报, 2014, 69(6): 797-807.]
- [40] Wang Yiqiang, Zhao Yuan. Dominant factors analysis of the formation mechanism of provincial coal resource flow in China. *Resources Science*, 2015, 37(4): 723-732. [王宜强, 赵媛. 中国省域煤炭资源空间流动形成机制的主导要素解析. 资源科学, 2015, 37(4): 723-732.]

## Spatio-temporal differentiation and differentiated regulation of the vulnerability of rural production space system in Chongqing

WANG Cheng<sup>1</sup>, HE Yanzhou<sup>2</sup>

(1. State Cultivation Base of Eco-Agriculture for Southwest Mountainous Land, The Laboratory of Research on Rural Human Settlements, School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. China Academy of Urban Planning & Design Western Branch, Chongqing 401121, China)

**Abstract:** Vulnerability, one of the major properties of rural production space system (RPSS), is an effective measure in how system will be susceptible to negative effects or damage, as well as the way to achieving sustainable development of the system. This study establishes an evaluation index system and model of the vulnerability of RPSS and quantitatively measures the RPSS vulnerability of Chongqing from 2007 to 2017 to reveal its spatio-temporal differentiation. Accordingly it identifies vulnerability types and proposes targeted regulation strategies. The results are shown as follows. (1) The vulnerability of the RPSS is a comprehensive measure of the operating state of the system consisting of exposure, sensitivity and adaptability. It embodies the balance relationship of mutual influence and interaction that lies between rural diversified subjects centered on "human" and the rural production space centered on "land". (2) On the whole, the exposure of the RPSS shows an upward trend and a spatial pattern of "partly prominent, high in the north and low in the south"; the sensitivity shows a downward trend of fluctuation and a spatial pattern of "high in the east and low in the west"; the adaptability shows a rapidly increasing trend and a spatial pattern of "high in the west and low in the east". The overall vulnerability of RPSS presents a downward trend and the spatial pattern of "high in the east and low in the west". (3) After dividing the vulnerability of the RPSS into four types, namely, including adaptability type, exposure-sensitivity type, sensitivity-adaptation type, and strong comprehensive type, and based on the principle of "ecological priority - classified regulation - highlight emphasis - local adaptation", this study proposes differentiated "vulnerability reduction" strategies for different types, so as to guide the sustainable development of RPSS.

**Keywords:** rural production space system; vulnerability; spatio-temporal differentiation; differentiated regulation; Chongqing