

汶川地震灾后重建地区的人口容量分析

高晓路, 陈田, 樊杰

(中国科学院地理科学与资源研究所, 100101)

摘要: 结合国家汶川地震灾区资源环境承载力评估的工作任务, 对区域人口容量分析的方法和技术流程进行了研究。依据区域人口和城镇化发展的基本理论和汶川地震灾区的实际情况, 提出以耕地总量为基本约束的人口容量测算思路, 并对影响区域人口承载能力的各种区域经济发展条件进行了预测和分析, 由此确定了测算人口容量的政策参数。在上述分析的基础上, 构建了人口容量分析的计算机辅助决策模型, 对灾区各县市的合理人口容量、人口超载情况及人口超载的不同类型, 灾后人口调整方案进行了分析和测算, 并提出了具体的政策建议。分析表明, 汶川大地震灾后重建区的 51 个县市区的灾后实际人口为 2025.91 万人, 而整个区域未来可以承受的总人口在 2970 万人左右, 整个区域的人口容量尚有较大富余。为了避免跨县跨区域人口迁移的后续难题, 应该重点解决由于地震而引起的部分县市的人口超载问题。在 51 个县市区当中, 这样的县包括汶川、北川和茂县, 三县的超载总人口为 10 万人左右。3 县目前在外打工的人口较少, 仅靠打工所在地省市对于这一部分人口进行就地安置不足以解决 10 万人口的超载问题。为此, 有必要采取更加直接的中长期人口对策, 包括实施跨县人口转移, 提高耕地的复垦率、通过政策扶持的手段提高城镇化率、降低农村居民对于耕地的依赖度等。

关键词: 汶川大地震; 灾后重建; 资源环境承载力; 人口容量

1 引言

5.12 汶川地震发生后, 地震灾区的资源环境条件发生了很大变化。因此, 资源环境承载力评价成为灾后重建规划的重要基础和依据。这次地震的灾后重建规划区, 是我国主体功能区规划中国家级限制开发区域密集分布的秦巴山地—青藏高原—川滇森林的边缘地带, 是国家级限制开发区域向国家级重点开发区域—成渝人口产业集聚区的过度区域。灾区的资源环境承载力原本就比较弱, 区域内部承载能力的差异性也很大。地震灾害不仅使区域内部的承载力进一步减弱, 还改变了区域承载能力的分布格局。

区域承载力是指不同区域尺度在一定时期内, 在确保资源合理开发利用和生态环境良性循环的条件下, 资源环境能够承载的人口数量及相应的经济社会总量的能力^[1]。目前, 区域承载力分析中常用的一种方法是状态空间法, 通过现状和状态空间中理想的承载力相比, 得出超载、满载、可载的三种状态。例如, 徐丹林、毛汉英等以环渤海地区为例, 利用多种因素综合的状态空间法求出综合的区域承载力, 指出环渤海地区目前资源环境处于超载状态^[2,3]。此外, 常用的方法还有生态足迹法^[4,5], 门槛分析法^[6]等。

而作为承载力研究的重要着眼点之一, 人口承载力分析实际上是对区域人口与经济、就业、资源、环境关系的综合性研究^[7]。目前, 主要的研究集中于资源环境要素的承载力

收稿日期: 2009-05-22; 修订日期: 2009-09-29

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX-YW-Q06; KZCX2-YW-Q03-06); 国家科技支撑计划课题 (2008BAK50B05) [Foundation: Knowledge Innovation Projects of Chinese Academy of Sciences, No. KZCX-YW-Q06; No.KZCX2-YW-Q03-06; Project of National Science and Technology Infrastructure Program, No.2008BAK50B05]

作者简介: 高晓路(1969-), 研究员, 博士, 中国地理学会会员 (S110006075M), 研究方向为城市规划、城市地理。

E-mail: gaoxl@igsnrr.ac.cn

© 1994-2010, China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

研究, 主要是土地资源人口承载力的研究, 近期比较有影响的有由联合国粮农组织主持的土地资源人口承载力研究^[8], 国内在 20 世纪 80 年代末 90 年代初, 由《中国土地资源生产能力及人口承载力研究》课题组主持的中国土地资源生产能力及人口承载力研究^[9]。目前, 学者们开展的研究主要运用土地生产潜力法^[10, 11]、系统动力学模型^[12, 13]、人口承载力模型^[14]、指标体系法^[15]等。总体来说, 人口承载力的研究正逐步从简单的单一环境因素向复杂的多种环境因素过渡。但是, 人口承载力分析与城市化以及区域经济的结合还不够深入细致。反映在研究成果上, 通常会提出提高人口承载力的宏观战略, 但对于区域人口承载能力的具体数值的定量分析和测算, 尤其是多因素作用下的决定合理人口的关键要素及人口阈值的分析还有待深化。

本文基于区域发展和人口与城镇化理论, 对于灾后重建规划区人口容量分析的理论和方法进行了较为深入的探讨。研究目标是探索灾后重建过程中区域人口和城镇化发展的客观规律, 分析灾区社会经济重构和人口配置的空间差异; 阐明耕地和建设用地损失情况、居民收入水平和结构、城镇化水平等关键的区域社会经济要素对未来可承载人口的影响和作用机制; 基于重建适宜性评价的结果, 构建一套人口容量的模拟和辅助决策工具。

2 灾区人口容量分析的技术路线

影响区域人口容量的主要因素包括水土等资源环境约束条件、区域经济发展水平和城镇化水平等。对于汶川地震灾区这一特定区域, 特别是处于山地的极重灾区县来说, 灾害引起的资源环境约束条件的变化主要体现在土地资源方面, 尤其是耕地资源损毁情况比较严重。而水资源约束条件的变化相对较小。同时, 由于灾害的影响, 区域经济发展水平和城镇化水平的不确定性显著增加, 灾后重建过程中的政策因素将对未来的区域经济发展水平和城镇化水平产生更加直接和显著的影响。

因此, 人口容量预测的问题可分解为土地资源的约束条件分析、区域经济发展水平和城镇化水平的预测。为了较好地模拟政策因素的影响, 采用了情景分析的方法, 对不同政策情景下的合理人口容量进行了测算。相应地, 提出了图 1 所示的技术路线。具体而言, 第一步, 以县市为基本单元, 依据分乡镇灾后重建适宜性的评价结果, 并综合考虑成灾受损程度、生态恢复等因素, 测算灾后可利用耕地和可利用建设用地的保有量。第二步, 依据区域社会经济发展目标, 设定灾区城乡人口结构、居民收入来源构成、农村居民耕地依赖度等情景参数, 测算不同情景下各县市灾后重建适宜城乡人口容量。第三步, 提出不同情景下跨县超载人口规模。根据超载县市的特征, 确定因灾超载需要外迁、因灾超载可内部调整和非因灾超载等三类县市区。第四步, 针对因灾人口超载的县市, 反推人口无需外迁状态下的边界政策条件(如城乡人口比例、收入结构比例、耕地复垦率), 为合理安置人口的政策选择提供依据。

3 研究区域概况及其重建适宜性分析

3.1 研究区域的基本情况

研究范围与国家汶川地震灾后重建规划区确定的范围一致, 选择 2008 年 5 月 12 日汶川地震影响最重的四川、山西和甘肃省的 51 个县市区, 13.24 万 km² 的地区为研究对象。该地区的灾前总人口为 2034.44 万人, 灾后人口减至 2025.91 万人。

3.2 地形特征及分类

地形差异是形成研究区资源环境承载力空间差异的主导因素。从地形特点上, 重建

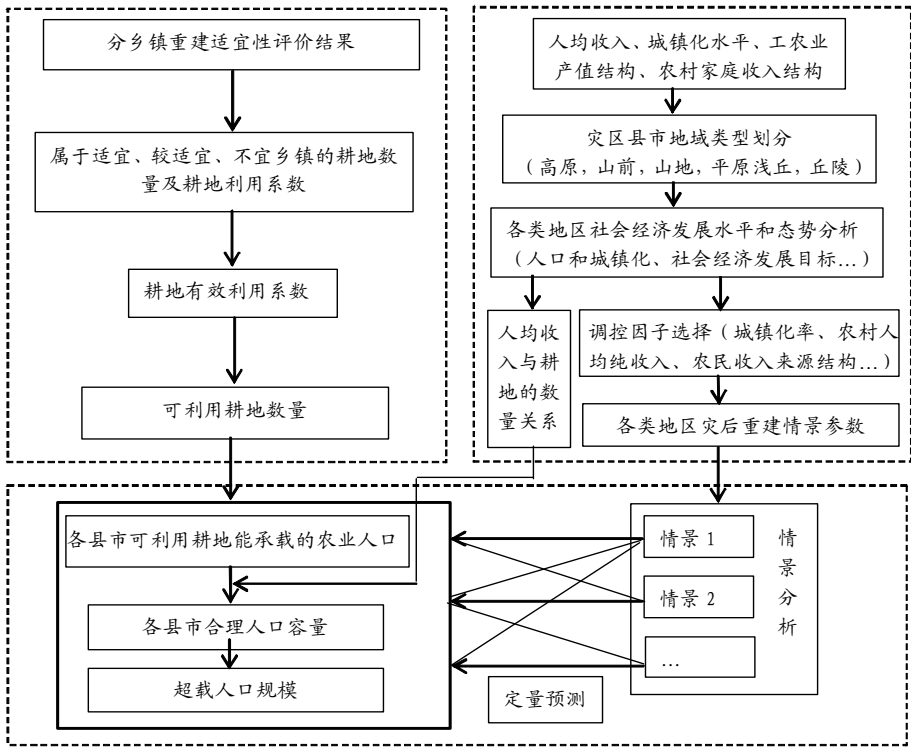


图 1 人口承载容量测算技术路线

Fig. 1 Flow chart for estimating post-quake population capacities

表 1 各县市的地域类型划分

Tab. 1 Division of reconstruction areas by geographic types

| 地域类型 | 数量 | 范围 | 行政区域 面积 (km ²) | 灾前 | 灾后 |
|------|----|--|----------------------------------|-------------|-------------|
| | | | | 总人口 (万人) | 总人口 (万人) |
| 高原 | 1 | 松潘县 | 8297.12 | 7.19 | 7.19 |
| 山地 | 23 | 北川县、汶川县、汉源县、平武县、理县、茂县、小金县、黑水县、青川县、朝天区、宝兴县、九寨沟县、成县、康县、文县、武都区、舟曲县、芦山县、石棉县、陈仓区、西和县、徽县、两当县 | 76559.59 | 439.22 | 434.86 |
| 山前 | 9 | 都江堰、彭州、崇州、什邡、绵竹、安县、大邑县、江油市、游仙区 | 12277.92 | 537.57 | 535.15 |
| 平原浅丘 | 4 | 旌阳区、罗江县、广汉市、涪城区 | 2198.41 | 165.72 | 164.00 |
| 丘陵 | 14 | 中江县、三台县、盐亭县、梓潼县、利州区、元坝区、剑阁县、苍溪县、旺苍县、阆中市、略阳县、宁强县、南江县、勉县 | 33092.18 | 884.74 | 884.71 |
| 总计 | 51 | | 132425.22 | 2034.44 | 2025.91 |

规划区包括为龙门山中心和西部的山地—高原地区、中部的山前过渡地区以及平原和东部丘陵地区。根据 1:50000 DEM 数据中提取的 30 m 栅格土地单元的坡度和高程数据, 计算了各县市的平原、丘陵、高原和山地的比例。然后通过统计聚类分析, 将 51 个县市依据地形特点划分为高原、山地、山前、平原浅丘、丘陵等五个地域类型 (表 1)。各地域类型的地形特点如图 2 所示。

地域类型差异是影响灾损程度空间差异的主要原因。我们对各县的灾损情况 (包括人员伤亡和房屋倒塌等) 按照上述地域类型进行了统计分析。属于不同地域类型的县市, 灾损程度及其空间格局都有十分明显的空间差异性。仅以地震中损失最严重的山地县和山

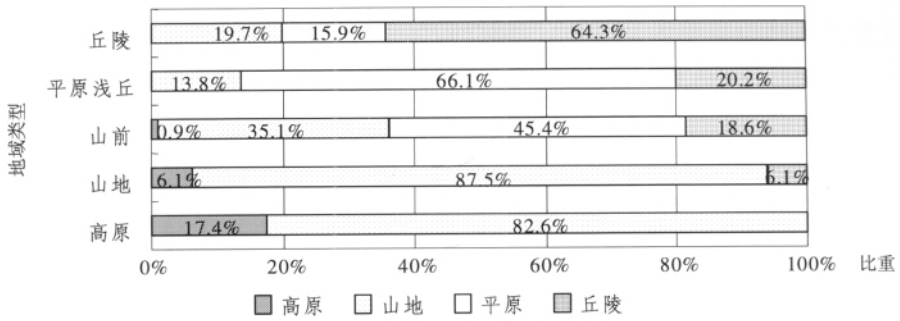


图2 各地域类型县市的地形特征

Fig. 2 Geographical features of Wenchuan earthquake struck areas by types

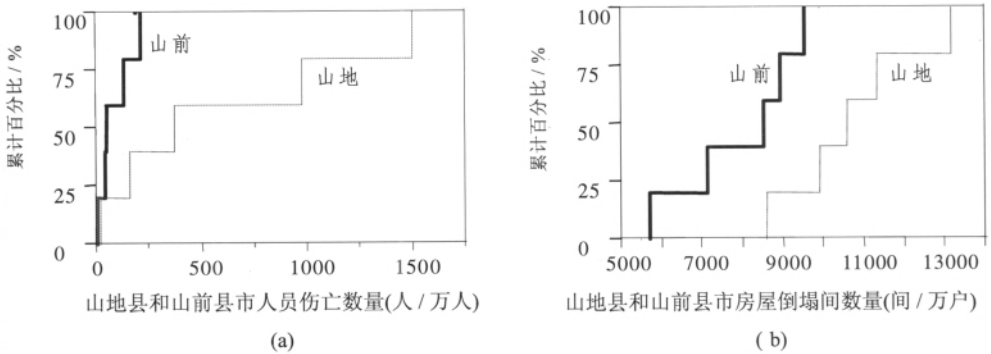


图3 不同地域类型县市的灾害损失比较

Fig. 3 Comparison of quake damages in different regional types

前县市相比较, 人员伤亡和经济损失的强度仍有很大差异(图3)。这些结果表明, 地域类型差异是灾后重建规划中实施分类指导政策的关键控制因子, 因此, 各地区的人口调整方向也需要随着地域类型的不同而有所差异。

3.3 以乡镇为单位的重建适宜性评价结果

汶川地震灾后重建规划“资源环境承载能力评价”项目组对灾区的重建条件适宜性进行了分级评价, 将灾区的1200多个乡镇划分成适宜重建区、适度重建区和生态重建区等3个类型的地区, 这一成果是本研究中人口容量测算的基础^[16-17]。

对各地域类型中具有相同适宜性等级的乡镇数目及其人口进行统计, 结果如表2所示。分析结果表明, 山地县市中生态重建和适度重建的乡镇比例很高(分别为9.4%和87.4%), 而平原浅丘县市的乡镇全都属于适宜重建区域。高原县的绝大部分乡镇属于适度重建区域。丘陵县的乡镇主要集中于适度重建和适宜重建区域。山前地区虽然包含一部分受损较重、属于生态重建区域的乡镇, 但总体来说, 适宜重建乡镇的比例远高于生态重建乡镇, 说明山前地区的人口在县内进行调整的余地较大。

表2 各地域类型的乡镇重建适宜性

Tab. 2 Results of assessment on suitability for reconstruction

| 地域类型 | 乡镇总数 | 乡镇数量(个) | | | 区域人口(万人) | | |
|------|------|---------|------|------|----------|---------|-------|
| | | 适宜重建 | 适度重建 | 生态重建 | 适宜重建 | 适度重建 | 生态重建 |
| 高原 | 24 | 1 | 21 | 2 | 1.47 | 5.36 | 0.36 |
| 山地 | 445 | 14 | 389 | 42 | 46.29 | 346.83 | 29.59 |
| 山前 | 205 | 123 | 74 | 8 | 408.73 | 122.72 | 6.12 |
| 平原浅丘 | 58 | 54 | 4 | - | 159.62 | 6.11 | - |
| 丘陵 | 516 | 34 | 481 | 1 | 166.75 | 708.75 | 0.38 |
| 合计 | 1248 | 226 | 969 | 53 | 782.87 | 1189.77 | 36.45 |

政策性人口迁移的原则,山地县的人口调整方向可能需要适当迁出一些人口。平原浅丘地区、丘陵地区 and 山前地区灾后人口调整的方向则是县内调整,在内部人口结构和空间配置上进行调整和优化。在山前和丘陵地区,人口尤其是要向平原和浅丘地区的城镇集聚。高原县的人口调整方向是依据限度重建的要求,基本保持现有人口规模或略有减少。

4 灾区人口容量测算分析

4.1 灾后各县市可利用耕地数量 (Lc)

一般来说,人口容量的土地资源约束条件包括未来的耕地数量和城镇建设用地数量。如图 1 所示,在 51 个灾区县市中,处于山前、平原浅丘和丘陵的县市均拥有一定比例的平地,因此城镇建设用地的约束相对较小。而受灾最重的山地县,虽然耕地和城镇建设用地都有很大损失,但由于人口规模总量较小,城镇化水平比较低(现状为 15%左右),所以对城镇集中建设用地的要求相对比较弱一些。相比之下,耕地的约束比可利用建设用地的约束更强。基于此,我们将灾后各县市的耕地数量作为主约束条件。

在测算灾后各县市的可利用耕地总量时,考虑了灾前耕地总量、因灾损失耕地数量、坡度在 25 度以上的不宜耕种的耕地数量,以及缺乏基础设施支撑条件的耕地数量等因素。利用的数据包括以县市为单位的灾前土地利用遥感解译数据和国土资源部的土地台帐数据。由于遥感解译精度和判读口径的原因,通过遥感解译获得的分县市耕地数量与国土资源部的土地台帐数据有很大差异,远远大于实际的耕地台帐数据。为了解决这个问题,我们按照以下思路进行了数据尺度的转换。第一,按照各县适宜重建乡镇、适度重建乡镇和生态重建乡镇进行分类,分别提取由遥感解译获得的灾前可利用耕地数量;第二,按照各乡镇的适宜性等级分别设定耕地的有效利用系数 $\{A: \text{适宜重建区为 } \alpha_1; \text{适度重建区为 } \alpha_2; \text{生态重建区为 } \alpha_3; \alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3 \text{ 且 } \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \text{ 均属于}[0,1]\}$ 。第三,统计各县市的有效耕地总量,换算为基于遥感解译的各县市的可利用耕地系数。第四,以国土资源部的耕地台帐数据为基数,乘以各县市可利用耕地系数,推算灾后各县市的实际可利用耕地数量。

第二步中的耕地有效利用系数 A,是一组基于重建适宜性评价结果的动态参数,反映了未来各乡镇在灾前耕地的基础上能够完全利用的比例。对于适宜重建的乡镇,原有耕地都可以重新利用,所以我们令 $\alpha_1 = 1.0$ 。对适度重建和生态重建的乡镇,相当于保留下来的耕地及复垦耕地的总比例。在各乡镇的重建适宜度评价的基础上导入有效耕地系数,使我们不但能够把握灾害带来的直接耕地损失,而且也能够兼顾那些生态重建和适度重建乡镇里需要放弃一部分居民点,从而导致的可利用耕地面积的减少,因此推算出来的可利用耕地数量更加接近实际。此外,通过有效耕地系数的设计,我们也能够间接地考虑土地复垦等政策投入的作用。

以山前县、丘陵县和平原浅丘县的人口基本上在县内调整为目标,根据灾后各县市可利用耕地的数量及按照以下各个步骤推算出来的最终人口容量进行了反演,估算出适度重建区的有效耕地系数 $\alpha_2 = 0.9$;生态重建区的有效耕地系数 $\alpha_3 = 0.3$ 。基于此,计算了 51 个县市可利用耕地系数和实际可利用耕地总量(表 3)。

结果表明,在属于极重灾区的各山区县中,汶川由于耕地损失严重,而且大部分耕地都在 25 度以上的坡地上,未来属于退耕还林的范围,因此未来可利用耕地的比例最低,只有灾前的 40%,此外,北川、茂县、理县、平武、文县等县的可利用比例也比较低,为灾前的 60%至 3/4 左右。

4.2 区域经济发展情景参数的设定及其依据

在研究中,我们设定了三种情景。情景 1 的目标是通过为三年恢复重建,全面恢复

表 3 各县市的灾后可利用耕地测算结果
Tab. 3 Estimation of the amount of arable land after Wenchuan earthquake

| 县市名 | 各县市可利用耕地系数 | 灾后测算可利用耕地 (万亩) | 县市名 | 各县市可利用耕地系数 | 灾后测算可利用耕地 (万亩) |
|---------|------------|----------------|-----|------------|----------------|
| 安县 | 0.96 | 60.12 | 罗江县 | 1.00 | 41.17 |
| 宝兴县 | 0.91 | 5.79 | 茂县 | 0.77 | 11.20 |
| 北川羌族自治县 | 0.61 | 17.40 | 绵竹市 | 0.96 | 49.71 |
| 苍溪县 | 0.91 | 112.43 | 勉县 | 0.91 | 55.69 |
| 朝天区 | 0.91 | 35.58 | 南江县 | 0.90 | 52.35 |
| 陈仓区 | 0.92 | 107.76 | 宁强县 | 0.91 | 65.07 |
| 成县 | 0.91 | 66.89 | 彭州市 | 0.95 | 73.92 |
| 崇州市 | 0.98 | 58.64 | 平武县 | 0.79 | 36.88 |
| 大邑县 | 0.95 | 42.23 | 青川县 | 0.88 | 56.39 |
| 都江堰市 | 0.94 | 37.17 | 三台县 | 0.91 | 142.47 |
| 涪城区 | 0.98 | 29.59 | 什邡市 | 0.98 | 35.12 |
| 广汉市 | 1.00 | 47.81 | 石绵县 | 0.91 | 9.98 |
| 汉源县 | 0.90 | 33.78 | 松潘县 | 0.88 | 11.48 |
| 黑水县 | 0.83 | 7.71 | 旺苍县 | 0.89 | 73.39 |
| 徽县 | 0.90 | 73.00 | 文县 | 0.64 | 41.70 |
| 剑阁县 | 0.90 | 93.63 | 汶川县 | 0.42 | 6.02 |
| 江油市 | 0.94 | 89.76 | 武都区 | 0.88 | 96.05 |
| 旌阳区 | 0.99 | 51.65 | 西和县 | 0.90 | 94.05 |
| 九寨沟县 | 0.85 | 3.80 | 小金县 | 0.88 | 10.26 |
| 康县 | 0.91 | 67.50 | 盐亭县 | 0.90 | 68.43 |
| 阆中市 | 0.91 | 76.06 | 游仙区 | 0.96 | 58.18 |
| 理县 | 0.68 | 3.36 | 元坝区 | 0.91 | 45.46 |
| 利州区 | 0.96 | 31.14 | 中江县 | 0.91 | 125.54 |
| 两当县 | 0.90 | 22.68 | 舟曲县 | 0.78 | 18.02 |
| 芦山县 | 0.91 | 9.43 | 梓潼县 | 0.91 | 53.08 |
| 略阳县 | 0.91 | 40.81 | | | |

到灾前发展水平; 情景 2 是通过 3 年恢复重建, 在灾前水平的基础上略有提升; 情景 3 为 2020 年初步实现小康目标, 农村人均纯收入达到 8000 元。根据不同地域类型的现状和发展条件的差异, 我们又分别对三种情景的目标进行了细化。

(1) 农民人均纯收入目标 (I)

四川省的人口和城镇化调整比较滞后, 农村居民收入水平与城镇居民差距较大。因此, 我们把农民人均纯收入作为主要目标要件。参照各地域类型县市的现状农村人均纯收入水平 (图 4), 配置了三种情景下的参数 (表 4)。

(2) 未来的城镇化水平 (u)

依照国内外震后恢复重建的一般规律, 地震对灾区未来的人口和城镇化空间格局将产生较大影响, 人口总量表现为先下降, 然后加速增长, 一般 3 年左右可恢复到灾前的水平, 经过 10 年基本上可以达到灾前预估的水平; 城镇化水平则可能是在灾后先是一

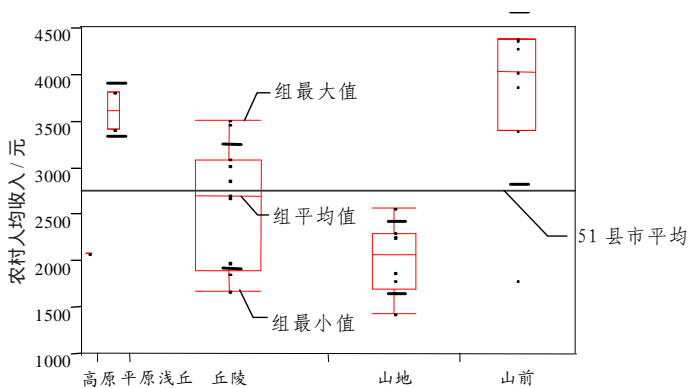


图 4 2005 年各地域类型县农村人均收入水平

Fig. 4 Pre-quake income levels of rural population in 2005

个比较明显的跳跃式上升 (由于灾民转移安置、向城镇集中的影响), 经过 3-4 年左右的恢复调整期, 将逐步回归原有速度 (图 5)。

依据上述规律, 我们构建了城镇化水平随时间变化的动力学模型, 并对三种情景所对应的城镇化水平进行了拟合。在模型拟合的过程中, 我们不仅考虑了灾区发展现状和经济全面恢复和重建的目标, 而且考虑了灾民安置政策的连贯性、恢复期内对灾区的政策扶助力度、城镇化的惯性和增长速度等因素。具体来说, 城镇化率水平 $u(t)$ 的变化曲线可用以下函数来拟和:

$$\begin{cases} u(t|t \leq t_0) = u(0) + \varpi t + \alpha \sin(\beta t), \beta t \in (0, 2\pi/3) \\ u(t|t > t_0) = u(t_0) + \rho \ln[1 + \theta(t - t_0)] \end{cases} \quad (1)$$

式中: $u(t)$ 为城镇化率随时间 t 变化的函数, 以受灾时点为 0, t_0 设为 3 年。预计 3 年之内, 由于灾民安置和产业恢复等方面的政策因素的影响, 城镇化率可能呈现震荡调整的趋势, 故采用复合正弦曲线来拟合。3 年之后, 将从一个比较稳定的起点开始以对数曲线规律增长。其中, α 为恢复期内的扰动强度 (体现灾民安置政策的稳定性); β 为恢复时间的控制参数 (体现灾后政策扶助力度); ϖ 为恢复期内城镇化率惯性参数 (灾前城镇化发展趋势); θ 为重建期内镇化速度发展平稳度参数 (城镇化发展平稳度); ρ 为重建期内城镇化水平增长弹性 (城镇化速度)。

以山地县为例, 2007 年底, 北川羌族自治县、平武县、汉源县、汶川县、理县、茂县、小金县、黑水县等山地县灾前城镇人口比例的平均值约 15.7%。灾前各县提出的 2010 年城镇化水平目标大都在 25% 左右。由于灾害的影响, 原有目标按照滞后 2-4 年来考虑。由此可以得到各种不同发展情景下的参数拟合结果 (表 5)。相应的城镇化水平变化曲线如图 6。

运用同样的方法, 我们确定了各地域类型县市在近期恢复、近期提升和 2020 年达到小康目标等三种情景下的城镇化率参数 (表 6)。

(3) 农民收入对耕地的依赖度 (λ)

利用农村产值结构数据 (各县市种植业产值在农业总产值中的比重) 和农民收入结构数据 (家庭经营性收入在家庭总收入中的比重), 合成了种植业收入在农民纯收入中的比例。该指标定量地描述了依赖于耕地的种植业收入对农民人均纯收入的贡献程度。由于耕地总量有限, 通过调整农村家庭经营结构 (如增加养殖业、林业、渔业收入), 拓宽家庭收入渠道 (如增加工资性收入和财产性收入比例), 降低种植业收入在农民纯收入中的

表 4 各地域类型县市农民人均纯收入目标 (元/人)
Tab. 4 Income goals of rural population for three scenarios

| 地域类型 | 现状平均 (元/人) | 情景 1 (近期恢复) | 情景 2 (近期提升) | 情景 3 (小康水平) |
|------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 高原 | 2087 | 3000 | 4000 | 8000 |
| 山地 | 2024 | 3000 | 4000 | 8000 |
| 山前 | 3736 | 5000 | 6000 | 12000 |
| 平原浅丘 | 3614 | 5000 | 6000 | 12000 |
| 丘陵 | 2565 | 4000 | 5000 | 10000 |

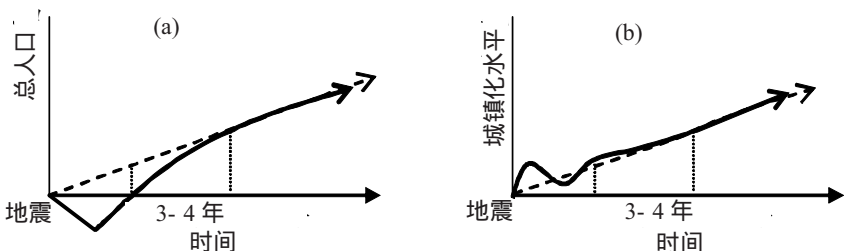


图 5 总人口与城镇化水平的灾害影响曲线
Fig. 5 The impact of natural disasters on population and urbanization level

比例, 从而适当降低农村人口对耕地的依存性, 是增加农民收入的必然要求, 也是将来农村产业结构调整的方向。

目前, 灾区县市种植业收入在农民纯收入中的比例大约在 25%~30% 之间 (图 7)。其中, 山区县的比例相对较高, 因此尤其有必要拓宽收入渠道和鼓励多种经营, 降低山区农民对耕地的依存性。根据上述思路, 设定了种植业收入在农民纯收入中的比例的三种情景 (表 7)。

(4) 每亩耕地所承载的农民人均纯收入 ($\frac{\partial I}{\partial Lc}$)

根据四川省统计局提供的数据, 计算了各县市的现状亩均耕承载收入 (= 农业总产值 × 种植业占农业收入的比例 / 耕地总量)。其中, 2006 年, 灾区县市种植业占农业收入的平均比例为 28%。目前, 灾区县市的亩均承载收入平均值大致为 1000 元, 这一指标同样随着地域类型的不同具有较大空间分异, 按每亩耕地平均产出水平由低到高的顺序, 依次为高原、山地、丘陵、山前和平原浅丘 (图 8)。

以现状为基数, 并考虑科技进步带来的农业生产力提高, 分别设定 3 种发展情景下的亩均耕地承载收入水平 (表 8)。

4.3 各县市人口容量及超载人口测算

以上分析给出了三种政策目标情景下的预测灾区各县市人口容量的必要条件, 即耕地资源约束条件、区域经济发展水平和城镇化水平。在此基础上, 建立了人口容量测算模型。

$$P = P_{\text{rural}} \cdot (1 - u)^{-1} \quad (2)$$

$$P_{\text{rural}} = Lc / \frac{\partial Lc}{\partial P_{\text{rural}}} \quad (3)$$

式中: P 为各县市可承载的总人口; P_{rural} 为可承载的农村人口。 u 为各县市所在地域类型的城镇化率, 由表 6 给出参数; Lc 为灾后各县市的可利用耕地数量, 它实际上是根据重建适宜性评价而设定的有效耕地系数矩阵 $A = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)^T$ 的函数。如前所述, 通过反演估算出适宜重建、适度重建和生态重建

表 5 城镇化率曲线的参数拟合结果

Tab. 5 Estimation of the parameters of urbanization curves

| 参数 | 2011 年城镇化率 20% | 2011 年城镇化率 22% | 2020 年城镇化率 40% |
|----------|----------------|----------------|----------------|
| α | 1.83 | 1.43 | 1.03 |
| β | 6.38 | 2.68 | 2.12 |
| ω | 1.0 | 1.25 | 1.5 |
| ρ | 15.6 | 26.0 | 36.4 |
| θ | 0.318 | 0.248 | 0.224 |

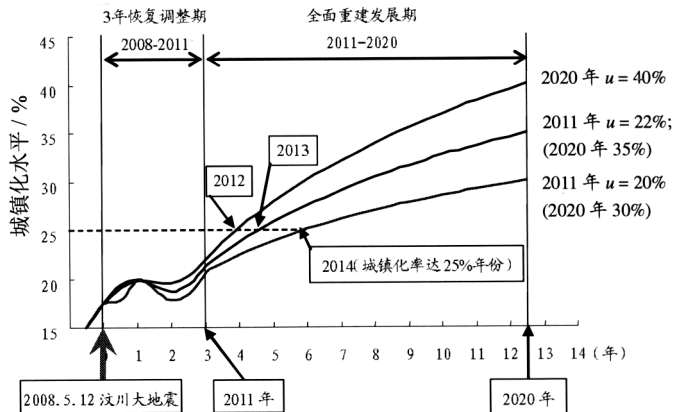


图 6 不同发展情景下城镇化水平的预测结果与情景设置

Fig. 6 Scenarios of post-quake urbanization

表 6 各地域类型县市的城镇化率情景

Tab. 6 Post-quake urbanization levels for three scenarios

| 地域类型 | 现状 | 情景 1 (近期恢复) | 情景 2 (近期提升) | 情景 3 (2020 小康) |
|-------|-------|----------------|----------------|-------------------|
| 高原县 | 14.3% | 15% | 15% | 30% |
| 山地县 | 15.7% | 20% | 22% | 35% |
| 山前县 | 33.9% | 35% | 40% | 40% |
| 平原浅丘县 | 30% | 35% | 35% | 40% |
| 丘陵县 | 17.4% | 25% | 28% | 38% |

表 7 各地域类型县市的农民收入对耕地依赖度情景

Tab. 7 Share of planning incomes in total income of farmers for three scenarios

| 地域类型 | 现状 | 情景 1 (近期恢复) | 情景 2 (近期提升) | 情景 3 (2020 小康) |
|-------|-------|----------------|----------------|-------------------|
| 高原县 | 26.5% | 25% | 25% | 20% |
| 山地县 | 30% | 30% | 25% | 20% |
| 山前县 | 25% | 25% | 25% | 20% |
| 平原浅丘县 | 25% | 25% | 25% | 20% |
| 丘陵县 | 25% | 25% | 25% | 20% |

的合理系数分别为 1.0, 0.9 和 0.3, 表3 给出了各县市实际可利用耕地数量的测算结果。此外, $\frac{\partial Lc}{\partial P_{rural}}$ 为单位农村人口所需要的耕地, 可由下式得出:

$$\frac{\partial Lc}{\partial P_{rural}} = (I \cdot \lambda) / \frac{\partial I}{\partial Lc} \quad (4)$$

式中: I 为农村人均收入目标, λ 为种植业收入比重, $\frac{\partial I}{\partial Lc}$ 为耕载收入, 这三项变量均为根据灾后重建政策目标而设定的情景参数, 分别由表 4、表 7 和表 8 给出。

事实上, 根据 (2) 式估算出来的人口合理容量 P 以上方法估算出来的人口容量为是未来政策目标时点 T 的人口 P_T , 对情景 1、情景 2 和情景 3 来说, T 分别对应于 2009 年、2011 年和 2020 年。为了计算各县市近期内需要调整的人口数量 ΔP_0 , 需要之换算成现时点的人口合理容量, 表记为 P_{2008} 。为此, 根据下式计算:

$$\Delta P_0 = -P_0 + P_{2008} = -P_0 + P_T \cdot (1 + \eta)^{-(T-2008)} \quad (5)$$

式中: P_0 为各县市灾后的实际人口, $P_T \cdot (1 + \eta)^{-(T-2008)}$ 为换算成现时点以后的人口合理容量。式中 η 为各县市的人口机械增长率, 我们参照灾区县市人口自然增长率的现状水平设定, 平均在 3‰~5‰ 之间。如果 $\Delta P_0 > 0$, 表示需要外迁; 如果 $\Delta P_0 \leq 0$, 表示可以在县市内部进行调整。

据此, 建立了一套人口容量测算的计算机辅助模拟系统。系统的输入条件为分乡镇的重建适宜性评价结果、有效耕地系数矩阵 (A) 和针对不同地域类型而设定的情景参数。输出为各县市的灾后可承载的人口和近期需要调整的人口数量。对于有效耕地系数 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, 在系统中设置了取值范围和约束条件, 在实际测算过程中, 可根据灾后重建规划中在不同重建适宜度地区的政策力度进行调整。通过这样的设计, 将政策因素对未来人口容量的调控能力纳入模型。

根据以上步骤得到三种情景下灾后重建规划区各县市的人口容量和超载人口 (表 9)。总体而言, 三种情景下的人口容量均高于灾后现有人口总量, 且有 30%~40% 左右的余地, 说明灾后重建规划区内部人口的调整和优化潜力比较大。未来, 应积极推进城

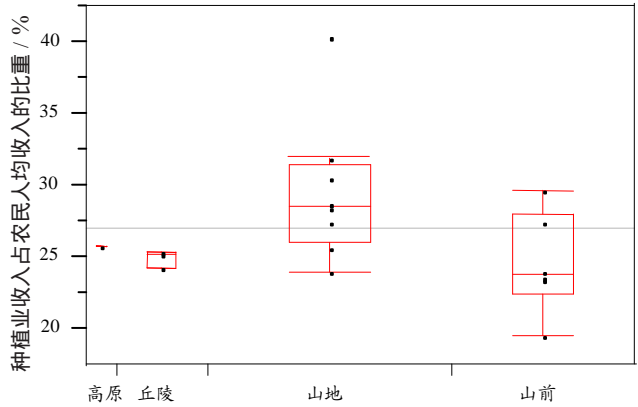


图 7 2006 年灾区各地域类型县市的种植业收入比重
Fig. 7 Pre-quake shares of planting income in total income of farmers in 2006

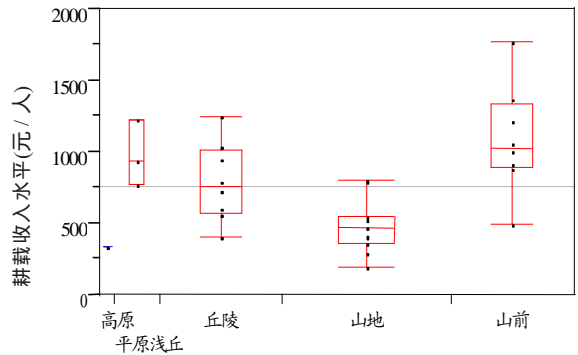


图 8 2006 年灾区各地域类型县市的耕载收入水平
Fig. 8 Pre-quake revenue levels from arable land in 2006

表 8 各地域类型县市的耕载收入情景参数 (元/亩)

Tab. 8 Post-quake revenue levels from arable land (yuan/mu)

| 地域类型 | 现状 | 情景 1 (近期恢复) | 情景 2 (近期提升) | 情景 3 (2020 小康) |
|-------|----------|----------------|----------------|-------------------|
| 高原县 | 350 | 400 | 400 | 600 |
| 山地区 | 400-700 | 500 | 500 | 800 |
| 山前县 | 500-1800 | 1200 | 1200 | 2000 |
| 平原浅丘县 | 700-1250 | 1250 | 1250 | 2000 |
| 丘陵县 | 400-1250 | 1000 | 1000 | 1500 |

表 9 三种情景下汶川地震灾后区域人口容量测算及人口超载类型划分 (单位:万人)

Tab. 9 Predicted population capacities and classification by resettlement needs (unit: 10⁴ persons)

| 分类特征 | 类型 | 县市数量 | 灾前人口 (万人) | 灾后人口 (万人) | 可承载总人口 (万人) | | 超载人口 (万人) | | 县外务工 (万人) |
|------------|--------|--------|--------------|--------------|----------------|-------|--------------|--------|--------------|
| | | | | | 情景 1 | 情景 2 | 方案 1 | 方案 2 | |
| | | | | | | | | | |
| 与震灾强 相关 | 超载 I | 3 | 37.53 | 33.97 | 24.04 | 34.34 | 9.93 | -0.16 | 2.85 |
| | | 其中 北川县 | 16.05 | 14.49 | 12.08 | 14.49 | 2.41 | 0.00 | 2.01 |
| | | 汶川县 | 10.54 | 8.95 | 4.18 | 9.22 | 4.77 | -0.07 | 0.30 |
| | | 茂县 | 10.94 | 10.53 | 7.78 | 10.63 | 2.76 | -0.09 | 0.54 |
| | | 9 | 484.46 | 481.28 | 688.29 | - | - | 48.97 | |
| 与震灾弱相关 | 不超载 II | 39 | 1512.47 | 1510.76 | 2258.98 | - | - | 213.02 | |
| 合计 | III | 51 | 2034.46 | 2025.91 | 2971.31 | - | - | 264.84 | |

镇化和区内人口的优化配置。比较三种情景下的人口容量,近期恢复目标模式下的人口容量最大,而近期提升、2020 年小康目标模式下的人口容量相对较小,究其原因,主要是由于后两种情景下居民收入水平较高,相对来说耕地产出提升幅度较小所致。我们认为三种情景下的人口容量估算结果是基本上符合实际的。

结果表明,在情景 1 之下,汶川、北川、茂县、理县、汉源、舟曲、宝兴、芦山、石棉等 9 个县的人口容量少于灾后实际人口,有不同程度的超载现象。例如,灾情最重的汶川县,灾后人口近 9 万,而由于永久性耕地的严重损失,可承载人口只有 4.2 万人,超载 4.8 万人;北川县灾后实际人口为 14.5 万人,合理人口容量为 12.1 万人,超载 2.4 万人;茂县灾后实际人口 10.5 万人,合理人口容量为 7.8 万人,超载 2.8 万人。9 个县的人口超载总数为 31 万人左右。在情景 2 和情景 3 之下,超载县市的数目增加,人口超载总量分别为 62 万人和 86 万人。

5 各县市的灾后人口调整政策分析

我们认为,要想确保国家提出的 3 年恢复的目标,近期应该尽量保证达到情景一提出的目标。基于此,人口的调整以跨县转移人口总数不超过 30 万人为宜,而且应该尽量在四川省省内加以解决。但即便如此,30 万人的人口转移规模也是相当庞大的。我国历史上的唐山大地震灾后移民、三峡库区工程移民等政策移民的经验表明,跨行政区人口迁移是一项复杂艰巨的工程,不仅牵涉到就业、住房等眼前的问题,还会对迁出地和迁入地的社会重构产生长远的影响。很多移民工程,经过若干年后居民仍然难以融入当地社会,最后又返回家乡。因此,在人口迁移政策方面更应该十分慎重,总体原则是尽量减少异地安置的规模。对此,我们的建议是,一方面在灾后重建规划中人口转移计划应该有明确的针对性,把重点放在此次因灾害造成的人口超载。另一方面,要给政策提供备选方案,在确实难以做到异地安置的情况下,应提供其他选择。在这样的思路下,本文重点对情景 1 之下的人口调整政策做了进一步分析。

综合考察表 9 当中 9 个人口容量超载县的情况,发现造成超载的具体原因有很大差异。汶川、北川等属于极重灾区的山地县是由于大地震的影响使当地的资源环境承载能力发生了剧烈变化,因而难以承载和以前一样多的人口。汉源等灾后重建规划区东部的丘陵县,则是由于缺水等原因,资源环境本底条件较差,所以人口承载力不足。这一类型的超载与地震灾害的关联性较弱。

根据 51 个县市在情景 1 之下的人口容量超载情况和灾情特征,将之归纳为三种类型。第 I 类:资源环境承载力差,而且受灾极重的山区县。由于地震的影响,人口总容量降低,造成超载;第 II 类:资源环境承载力较强、虽然受灾较重,但原有人口容量较大,

尚能满足当前的需要；第 III 类：与灾害的关联度较弱，因为原有资源环境承载力较弱造成人口超载。分类结果参见表 9，它们的空间分布如图 9。

灾后重建规划中制定区域层面的人口调整政策时，我们建议根据上述三种类型采取不同的针对性措施，重点解决 I 类县的人口超载问题，对 II 类县主要是通过在县内进行调整，优化城乡人口结构和格局，对 III 类县在灾后恢复重建中人口超载问题可以不作为重点考虑，将来应采取其它综合性政策措施来解决这一类的人口超载问题。

根据人口超载规模的预测结果，属于第 I 类型的包括 5.12 大地震中受灾最严重的北川县、汶川县和茂县三个山地县。其它六个县属于第 III 类型。

从政策的视角来看，人口迁移的规模也并非完全绝对。例如，根据各乡镇的重建适宜度评价结果而设定的有效耕地系数矩阵是我们综合考虑了各种地域类型的一般性政策投入和移民安置数量之后得出的一组优化参数。相应地，表 9 各县市的合理人口容量，是在这样的政策投入条件下得到的估测值。如果某些特定地区移民安置的成本过高，则通过增大政策投入力度的方法，有可能对政策进行一定的调整。事实上，北川、汶川和茂县三个县在大地震中是耕地损毁最严重的。从尽量减少人口跨县转移安置的角度出发，在灾后重建的过程中，如果能够有效提高耕地的复垦率，或通过政策扶持的手段提高城镇化率、或降低居民对于耕地的依赖度，有可能在本县内容纳更多的人口。

为了给将来的灾民安置政策提供进一步的参考，我们根据上述人口超载的情况反推了这三个县在人口无需外迁的情况下的边界条件。根据反推的结果，北川要求：①25 度以上耕地均可利用；②损毁耕地复垦率达到 60%；③镇区人口比例和农民纯收入中种植业的比例分别按照 20%和 30%计算（即山区县灾前水平）。汶川和茂县要求：①25 度以上耕地均可利用；②损毁耕地复垦率达到 85%；③镇区人口比例 20%；④农民纯收入中种植业的比例分别降低为 23.5%和 27%（现状为 30%）。这些分析为人口安置政策的选择提供了可能性。

6 结语

本研究在区域发展和人口与城镇化理论的基础上，广泛借鉴了国内外灾后重建规划研究的经验，提出了以耕地总量为基本约束的人口容量测算方法。在充分考虑土地资源



图 9 灾后重建规划区人口超载类型的分布

Fig. 9 Distribution of overpopulated townships and cities after the earthquake

人口承载力的基础上,基于各类地区区域经济发展差异性的分析,按照各个地区所属的地域类型分别设定了人口容量的政策参数。最终,综合运用遥感、GIS、区域经济分析模型,计算机辅助模拟等技术手段实施了灾区人口容量的测算。并依据各县市的人口超载情况和类型,分析和测算了灾后适宜的人口调整对策,为灾区震后重建中有关人口的调整提供了政策依据。

分析表明,汶川大地震灾后重建区的 51 个县市区,灾后实际总人口为 2025.91 万人,而从制约区域人口发展的土地资源主导因素来看,整个区域未来可以承受的总人口在 2970 万人左右。因此整个区域的人口容量尚有较大富余空间。然而,在灾后人口安置政策中跨县跨区域人口迁移可能会带来一系列的后续难题。为此,解决灾后人口安置问题必须从实际出发,重点解决由于大地震而引起的部分县市的人口超载问题,估测超载人口的数量并提出现实的解决途径。

根据本研究分析结果,在 51 个县市区当中,这样的县包括汶川、北川和茂县,三县的超载总人口为 10 万人左右。我们认为,将转移安置的人口规模控制在这样的规模以内是比较现实的选择。三县目前在外打工的人口较少,因此仅靠打工所在地省市对于这一部分人口进行就地安置还不足以解决 10 万人口的超载问题。事实上,在汶川大地震发生以后,关于人口安置曾有相关政策建议,在外打工人口的就地安置曾经被作为解决灾区人口安置问题的主要途径之一。本研究的结论表明,除此以外,有必要采取更加直接的中长期人口对策,包括实施跨县人口转移,或有效提高耕地的复垦率、通过政策扶持的手段提高城镇化率、降低居民对于耕地的依赖度等。

致谢:本研究为国家发改委汶川地震灾后重建规划“资源环境承载能力评价”项目工作成果的一部分。研究过程中得到项目组成员的鼎力协助和配合,在此深表谢意。

参考文献 (References)

- [1] Zhu Yanling, Zhao Yongzhi, Chen Xin. Research progress of regional carrying capacity. Science and Technology Consulting Herald, 2007, (27): 68. [朱燕玲,赵永志,陈鑫.区域承载力的研究进展.科技咨询导报,2007,(27):68.]
- [2] Mao Hanying, Yu Danlin. Regional carrying capacity in Bohai Rim. Acta Geographica Sinica, 2005, 56(3): 363-371. [毛汉英,余丹林.环渤海地区区域承载力研究.地理学报,2005,56(3):363-371.]
- [3] Yu Danlin., Mao Hanying. Study on regional carrying capacity: Theory, method and example: Taking the Bohai-Rim area as example. Geographical Research, 2001, 20(2): 201-220. [余丹林,毛汉英.状态空间衡量区域承载状况初探:以环渤海地区为例.地理研究,2001,20(2):201-220.]
- [4] Yang Kaizhong, Yang Yong, Chen Jie. Ecological footprint analysis: Concept, method, and cases. Advance in Earth Sciences, 2000, 15 (6): 630-636. [杨开忠,杨咏,陈洁.生态足迹分析理论与方法.地球科学进展,2000,15(6):630-636.]
- [5] Zhang Zhiqiang, Xu Zhongmin, Cheng Guodong. The concept of ecological footprints and computer models. Ecological Economy, 2000, (10): 8-10. [张志强,徐中民,程国栋.生态足迹的概念及计算模型.生态经济,2000,(10):8-10.]
- [6] Han Bo, Shao Bo. Threshold analysis in the regional carrying capacity measured in the applied research: A case study of island areas. Economic Geography, 1992, 12(4): 15-19. [韩波,邵波.门槛分析法在区域承载力测算中的应用研究:以海岛承载力研究为例.经济地理,1992,12(4):15-19.]
- [7] Chen Wei, Meng Xiangjing. China's population carrying capacity: A literature review. Market & Demographic Analysis, 2000, (1): 21-31. [陈卫,孟向京.中国人口容量与适度人口问题研究.市场与人口分析,2000,(1):21-31.]
- [8] Higgins G M et al. Land, food and population in the developing world. Nature and Resources, 1984, 208(3): 2-10.
- [9] Research Team of China Land Production Ability and Population Capacity. Report of Land Production Ability and Population Capacity in China. Beijing: People's University of China Press, 1991. [中国土地资源生产能力及人口承载力研究课题组.中国土地资源生产能力及人口承载力研究.北京:中国人民大学出版社,1991.]
- [10] He Yurong, Zhou Hongyi, Zhang Baohua et al. Climate-soil productivity and potential population supporting capacity of cropland in Sichuan Province. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(1): 20-22. [何毓蓉,周红艺,张保华等.四川省耕地地力生产潜力及承载力研究.地理科学,2004,24(1):20-22.]
- [11] Wang Baoshan, Ding Anmin, Wang Zanguo et al. Study on the model of regional land supporting capability for

- population. Journal of Jiaozuo Institute of Technology, 1998, 17(2): 121-125. [王宝山, 丁安民, 王赞国 等. 区域土地人口承载力预测模型研究. 焦作工学院学报, 1998, 17(2): 121-125.]
- [12] Hasbagen, Li Baisui, Bao Yin et al. Theoretical model and empirical researches of regional land carrying capacity. Scientia Geographica Sinica, 2008: 28(2): 189-194. [哈斯巴根, 李百岁, 宝音 等. 区域土地资源人口承载力理论模型及实证研究. 地理科学, 2008: 28(2): 189-194.]
- [13] Liu Qipu, Lin Zhenshan, Feng Nianhua. The dynamic simulation and application of land population carrying capacity. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2005, 28(2): 114-118. [刘钦普, 林振山, 冯年华. 土地资源人口承载力动力学模拟和应用. 南京师大学报: 自然科学版, 2005, 28(2): 114-118.]
- [14] Chen Zheng. Quantitative study of optimum population size and Shaanxi Province population capacity. Statistics & Information Tribune, 2005, 20(6): 37-41. [陈正. 陕西省人口承载力与适度人口定量研究. 统计与信息论坛, 2005, 20(6): 37-41.]
- [15] Cai Li, Mu Guangzong. Study on the construction and quantization of population carrying capacity index system. Population Journal, 2008, (5): 18-24. [蔡莉, 穆光宗. 人口承载力指标系的建立及量化. 人口学刊, 2008, (5): 18-24.]
- [16] 樊杰主编. 国家汶川地震灾后重建规划: 资源环境承载能力评价, 2009, 北京: 科学出版社.[Assessment of Carrying Capacity of Wenchuan Earthquake-struck Areas: The Carrying Capacity of Resources and Environments in Wenchuan Quake-struck Areas, 2009, Beijing: Science Press.]
- [17] 樊杰, 陶岸君, 陈田 等. 资源环境承载能力评价在汶川地震灾后恢复重建规划中的基础性作用. 中国科学院院刊, 2008, 23(5): 387-392. [Fan Jie, Tao Anjun, Chen Tian et al. Fundamental function of evaluation of resource and environment carrying capacity for post-Wenchuan earthquake restoration and reconstruction. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2008, 23(5): 387-392.]

Population Capacity in the Wenchuan Earthquake Reconstruction Areas

GAO Xiaolu, CHEN Tian, FAN Jie

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China)

Abstract: As one of the kernel parts of Assessment of Regional Carrying Capacity of the Wenchuan Earthquake Struck Areas, this study developed a decision-making model for estimating the population capacity of the involved townships and cities based on the assessment of the suitability for reconstruction of the areas. It identified the critical constraints of population capacity and analyzed the spatial differentiations of the post-quake development conditions across different regions. The expected levels of urbanization, family incomes and income structures, levels of land output, and the reliance of agricultural population on arable lands are estimated by regions. With these parameters, the population capacities of townships and cities under several scenarios were estimated. According to the status of over-population, the townships and cities were classified and relevant policy suggestions on post-quake resettlement were presented.

Key words: Wenchuan earthquake; post-earthquake reconstruction; carrying capacity of resources and regional environments; population capacity