

基于分县尺度的中国人口分布适宜度研究

封志明, 杨艳昭, 游 珍, 张景华

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 以人口空间分布及其与资源环境和社会经济协调性评价为核心, 提出了一整套人口与资源环境和经济社会发展协调水平评价的指标体系与模型方法; 以分县为基本单元, 定量评价了2010年中国人口与资源环境和社会经济发展的协调性和协调程度; 根据人口分布适宜度高低和限制性差别, 划分了中国分县人口分布适宜等级和限制类型, 定量揭示了中国不同地区人口与资源环境和社会经济协调发展的时空格局和地域特征。研究表明: ① 2010年中国有3/5以上的县(市、区)人口分布与人居环境基本适宜, 中国分县人口分布与人居环境自然适宜性保持了高度一致性; ② 2010年中国有1/2以上的县(市、区)人口发展基本不受水土资源约束, 分县人口分布与水土资源适宜性处于中等水平; ③ 2010年中国有超3/5的县(市、区)人口与社会经济发展基本协调, 人口分布的社会经济协调性良好; ④ 2010年中国近3/5的县(市、区)人口分布适宜度在60以上, 人口资源环境与发展处于基本协调或相对协调状态; ⑤ 2010年中国分县人口资源环境与发展协调程度东部优于中部、中部优于西部; ⑥ 2010年中国分县人口分布适宜度可划分为人口资源环境与发展基本协调、相对协调、有待协调和亟待协调4个适宜等级与10个限制类型。

关键词: 人口; 适宜度; 协调; 分县; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201406001

1 引言

预计中国人口高峰将在2030年前后到来, 届时, 中国将进入现有国土承载人口规模最大时期, 总人口中城镇人口将超过2/3, 新增城镇人口3.5亿左右, 其中农村向城镇转移人口将近3亿^[1]。在人口持续增长和城市化进程明显加快的情况下, 中国的人口与资源环境关系将会日趋紧张。在有限的国土空间下, 如此规模巨大的人口流动迁移及其空间再分布过程, 势必对中国现在及未来城镇体系、城乡结构及社会经济格局产生重大而深远的影响。立足资源环境基础与社会经济条件, 从人口与资源环境和经济社会发展的相互关系出发, 统筹解决人口与资源环境和社会经济协调发展问题, 对于建设人口均衡型、资源节约型和环境友好型社会具有重大的理论价值和实践意义。

1992年里约热内卢召开的联合国环境与发展大会提出的“人口—资源—环境—发展”关系, 对推动区域人口与资源和环境经济协调发展研究至关重要。随后, 世界资源研究所、国际环境发展研究所和联合国环境规划署等均将人口、资源与环境可持续发展作为其共同的指导原则^[2], 区域人口与资源和环境经济协调发展成为人们关注的焦点。联合国

收稿日期: 2013-09-03; 修订日期: 2014-01-23

基金项目: 国土资源部重点实验室开放基金项目; 国家人口计生委流动人口司研究项目 [Foundation: Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment, MLR; Department of Services and Management of Migrant Population, NHFPC]

作者简介: 封志明 (1963-), 河北平山人, 博士, 研究员, 主要从事资源开发与区域可持续发展研究。

E-mail: fengzm@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 杨艳昭 (1977-), 辽宁朝阳人, 博士, 副研究员, 主要从事区域水土资源与可持续发展研究。

E-mail: yangyz@igsnrr.ac.cn

可持续发展委员会、环境规划署、统计局、环境问题科学委员会和世界银行都提出了较有代表性的可持续发展指标体系,其中,最具影响力的指标体系当推联合国环境规划署提出的DPSIR“驱动力—压力—状态—影响—响应”概念框架,以及联合国可持续发展委员会提出的“DFSR”(社会经济活动、事件—影响与结果、对影响的响应—存量、背景条件)概念框架。中国人口与资源和环境经济协调发展研究与国外同步展开^[3],1994年《中国21世纪议程》将人口与资源和环境经济协调发展作为国家发展基本战略,从2010年党的十七届五中全会到2012年中国共产党第十八次全国代表大会报告也明确指出,“人口是影响经济社会发展的关键因素,未来须统筹协调好人口分布和经济布局、国土利用的关系,促进人口与经济、社会、资源、环境协调可持续发展”。与此同时,国内外诸多学者,从理论体系^[4-7]、研究方法^[8-12]到实证分析^[13-17],对区域人口、资源、环境和社会、经济的可持续性进行了探讨,较有代表性的研究当推牛文元等从生存、发展、环境、社会 and 智力支持系统等几面进行的综合研究^[18]、以及秦耀辰等人提出的人口—资源—环境—经济发展构成的自然—社会—经济复杂巨系统—区域PRED系统研究^[19]。统筹解决新时期人口问题,全面做好人口工作,促进人口与经济社会、资源环境协调发展和可持续发展已成为摆在国家和地方人口管理部门和相关学者面前的重大课题。

本文以人口空间分布及其与资源环境和社会经济协调性评价为核心,从人口与资源环境和社会经济发展相互关系入手,提出并确立一套人口分布与资源环境和社会经济协调发展评价的指标体系与模型方法;以分县为基本研究单元,定量评价2010年中国人口分布与资源环境和社会经济发展的协调程度;并以2010年中国分县人口分布适宜度高低和限制性差别,划分中国分县人口分布适宜度等级与限制性类型,定量揭示中国不同地区人口与资源环境和社会经济协调发展的时空格局和地域特征。为引导人口合理分布、促进人口科学布局,实现人口与资源环境和社会经济协调发展提供科学依据和决策支持。

2 基本思路与研究方法

2.1 理论框架与基本思路

人口、资源、环境与发展是21世纪人类面临的共同问题,走可持续发展之路业已成为世人共识^[20-22]。人口是实现可持续发展的首要动因,可持续发展的实质就是实现人口与资源环境和社会经济的协调发展^[23-25]。本文即以人口与资源环境协调发展为主线,在系统梳理人口与资源环境和社会经济协调发展的内涵和外延的基础上,立足地理学视角,开展人口与资源、人口与环境 and 人口与社会经济的区域协调性和协调度评价;最终从系统角度出发,集成计量中国不同地区的人口分布与资源环境和社会经济的适宜程度,划分人口分布适宜度等级与限制类型,以期为引导人口有序流动、促进人口合理布局,实现区域可持续发展提供应对策略与政策建议。

研究的基本思路是以人口适度分布为核心,从人口与资源环境和社会经济的协调关系入手,开展人口分布适宜度的综合研究。首先从人口分布与人居环境的适宜性、人口分布与水土资源的限制性、人口分布与社会经济的协调性关系入手,定量评价中国不同地区人口与资源环境和社会经济的协调程度;然后,自下而上,分进合击,结合区域人口数量特征与集聚水平,系统集成人口分布适宜度模型,完成中国人口分布适宜度评价(图1)。

具体而言,由地貌、植被、气候和水文等自然因子构成的人居自然环境,表征了区域人居环境的自然本底与基本特征,通过构建人口分布的人居环境适宜度可以反映人口与人居环境之间的适应程度。水土资源是人类赖以生产与生活的基础资源,水土资源的丰富程度及匹配水平表征了区域资源的基本保障程度,通过构建人口分布的水土资源限制度可以反映水土资源对人口发展的限制程度。物质积累基础反映了区域在一定时期内创造出来的

社会财富积累程度，人口经济一致性是区域经济持续增长的重要内容，通过构建人口分布的社会经济协调度可以反映人口与社会经济之间的协调程度。在人口与资源环境和社会经济协调评价的基础上，以人口集聚度为核心，由人居环境适宜度、水土资源限制度和社会经济协调度集成人口分布适宜度，可以综合反映区域人口资源环境与发展之间的协调性和协调度。

2.2 研究方法与工作流程

研究立足区域人居环境、水土资源和社会经济与人口分布的适宜性、限制性和协调性，通过构建人口分布的人居环境适宜性与适宜度模型、水土资源限制性与限制度模型和社会经济协调性与协调度模型，定量分析中国不同地区人口与资源环境和社会经济的基本关系，在此基础上，系统集成人口分布适宜度模型，以分县为基本研究单元，定量评价中国不同地区人口与资源环境和社会经济之间的协调性与协调度。主要计算模型及公式如下：

(1) 中国人口分布的人居环境适宜性与适宜度反映的是人口与人居环境之间的适应关系。人居环境适宜性可以通过地形起伏度、气候适宜度、水文指数和地被指数等单要素评价和在此基础上的综合评价来完成，人居环境适宜度则可采用人居环境一般适宜地区的人口占区域总人口的比例关系来表达^[26-27]。计算公式如下：

$$PEI_i = Pe_i / Pa_i \times 100 \tag{1}$$

式中： PEI_i 为*i*县人居环境适宜度； Pe_i 为*i*县一般适宜以上地区人口数量，人； Pa_i 为*i*县人口总量，人。 PEI_i 介于0~100之间，值越大，表明*i*县人居环境适宜程度越高。

(2) 中国人口分布的水土资源限制性与限制度反映的是人口与水土资源之间的适应关系。水土资源限制性可以通过水资源承载力和土地资源承载力评价来完成^[28-30]，水土资源限制度则可采用区域水资源和土地资源超载率的加权计算来表征^[31-33]。计算公式为：

$$PRI_i = Pr_i / Pa_i \times 100 = r_i PWI_i + (1 - r_i) PLI_i \tag{2}$$

其中： $PLI_i = Prl_i / Pa_i \times 100 \tag{3}$

$$PWI_i = Prw_i / Pa_i \times 100 \tag{4}$$

式中： PRI_i 为*i*县水土资源限制度； Pr_i 为*i*县水土超载以上地区人口数量，人； Pa_i 为*i*县人口总量，人； r_i 为*i*县城市化率； PLI_i 为*i*县土地资源限制度； Prl_i 为*i*县土地资源超载人口数量，人； PWI_i 为*i*县水资源限制度； Prw_i 为*i*县水资源超载人口数量，人。 PRI_i 值介于0~100之间，值越大，表明*i*县人口分布的水土资源限制性愈强，反之则弱。

(3) 中国人口分布的社会经济协调性与协调度反映的是人口与社会经济之间的协调关系。社会经济协调性可以通过物质积累基础和人口经济一致性评价来完成，社会经济协调度则可采用社会经济相对发达地区人口所占区域人口的比例关系来表达^[34-36, 1]。计算公式为：

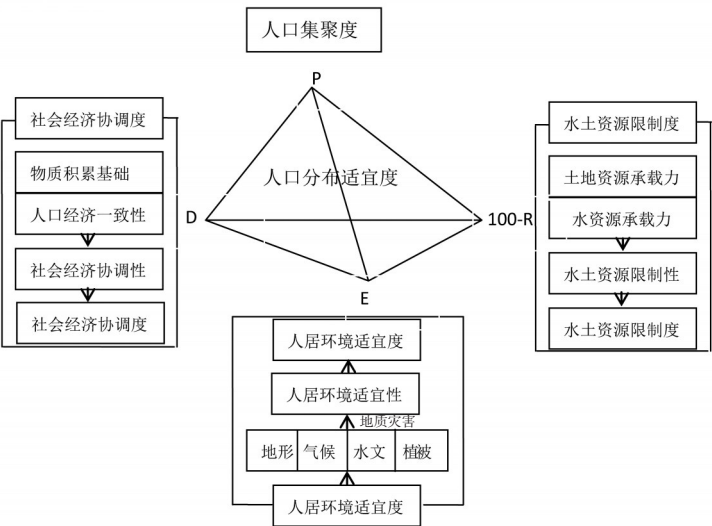


图1 中国人口分布适宜度研究思路示意图

Fig. 1 Research thoughts for suitability evaluation of population distribution in China

$$PDI_i = Pd_i/Pa_i \times 100 = 1/2(PMI_i + PCI_i) \tag{5}$$

$$PMI_i = \begin{cases} 100 & \text{当: } MDI_i \geq Mean\left(\sum_{i=1}^n MDI_i\right) \times 1.25 \\ \left[\ln MDI_i - \ln Min\left(\sum_{i=1}^n MDI_i\right) \right] / \left[\ln Mean\left(\sum_{i=1}^n MDI_i\right) - \ln Min\left(\sum_{i=1}^n MDI_i\right) \right] \times 100 & \\ \text{当: } MDI_i < Mean\left(\sum_{i=1}^n MDI_i\right) \times 1.25 \end{cases} \tag{6}$$

$$PCI_i = \begin{cases} 100 & \text{当: } CPE_i \leq 1.2 \\ 100 - (\ln CPE_i - \ln 1.2) / \left[\ln Max\left(\sum_{i=1}^n CPE_i\right) - \ln 1.2 \right] \times 100 & \text{当: } CPE_i > 1.2 \end{cases} \tag{7}$$

式中： PDI_i 为*i*县社会经济协调度； Pd_i 为*i*县社会经济相对发达地区人口数量，人； Pa_i 为*i*县人口总量，人； PMI_i 为*i*县社会协调度； MDI_i 为*i*县的物质积累基础； PCI_i 为*i*县经济协调度； CPE_i 为*i*县的人口经济一致性系数。 PDI_i 值介于0~100之间，值越大，表明*i*县人口分布与社会经济发展的一致性愈强，人口分布的社会经济协调程度越高。

(4) 人口分布适宜度反映的是不同地区人口资源环境与发展之间的协调程度，采用人口分布的人居环境适宜度、水土资源适应度 (100-水土资源限制度) 与社会经济协调度三个指标构成的三角形面积与三者均100时构成的正三角形面积的比例关系来表达 (图2)。计算公式如下：

$$PREDI_i = Ps_i/Bs_i \times 100 \tag{8}$$

其中： $Ps_i = S_{\Delta D_i E_i (100-R_i)} = S_{\Delta D_i O_i E_i} + S_{\Delta D_i O_i (100-R_i)} + S_{\Delta E_i O_i (100-R_i)} \tag{9}$

$$S_{\Delta D_i O_i E_i} = \frac{1}{2} O_i D_i \times O_i E_i \times \sin \frac{2\pi}{3} \tag{10}$$

$$S_{\Delta D_i O_i (100-R_i)} = \frac{1}{2} O_i D_i \times O_i (100-R_i) \times \sin \frac{2\pi}{3} \tag{11}$$

$$S_{\Delta E_i O_i (100-R_i)} = \frac{1}{2} O_i E_i \times O_i (100-R_i) \times \sin \frac{2\pi}{3} \tag{12}$$

式中： $PREDI_i$ 为*i*县人口分布适宜度； Ps_i 为由 PEI_i 、 $100-PRI_i$ 和 PDI_i 为角分线构成的三角形面积； Bs_i 为标准正三角形面积，标准三角形表征的是当人居环境适宜度、社会经济协调度和水土资源适应度均达到100，区域人口资源环境与发展完全协调时的状态。椎体顶点 P_i 表达的是*i*县人口集聚度，反映了*i*县的人口相对于全国平均水平的集聚程度^[37]。 $S_{\Delta D_i E_i (100-R_i)}$ 是由*i*县的人居环境适宜度、水土资源适应度 (100 - 水土资源限制度) 与社会经济协调度构成的三角形面积，它由 $\Delta D_i O_i E_i$ 、 $\Delta D_i O_i (100 - R_i)$ 、 $\Delta E_i O_i (100 - R_i)$ 三个三角形构成， O_i 为原点， $O_i D_i$ 、 $O_i E_i$ 、 $O_i (100 - R_i)$ 分别是*i*县社会经济协调度、人居环境适宜度和水土资源适应度，夹角为120度。人口分布适宜度值介于0~100之间，值越大，表明该县人口资源环境与发展协调程度愈高。

中国人口分布适宜度研究首先是中国人口与环境资源和社会经济的基本关系定量分析与模拟，然后是中国人口分布适宜度综合计量与评价。具体流程如图3所示：

(1) 1 km×1 km 栅格为基本研究单元，以地形起伏度、水文指数、地被指数和温湿指数为基本指标，考虑地质灾害因素，建立人居环

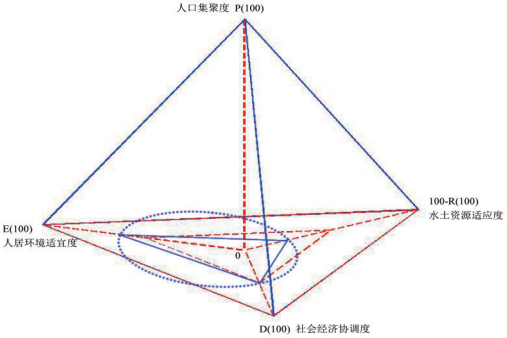


图2 中国人口分布适宜度评价框架
Fig. 2 The framework of suitability evaluation of population distribution in China

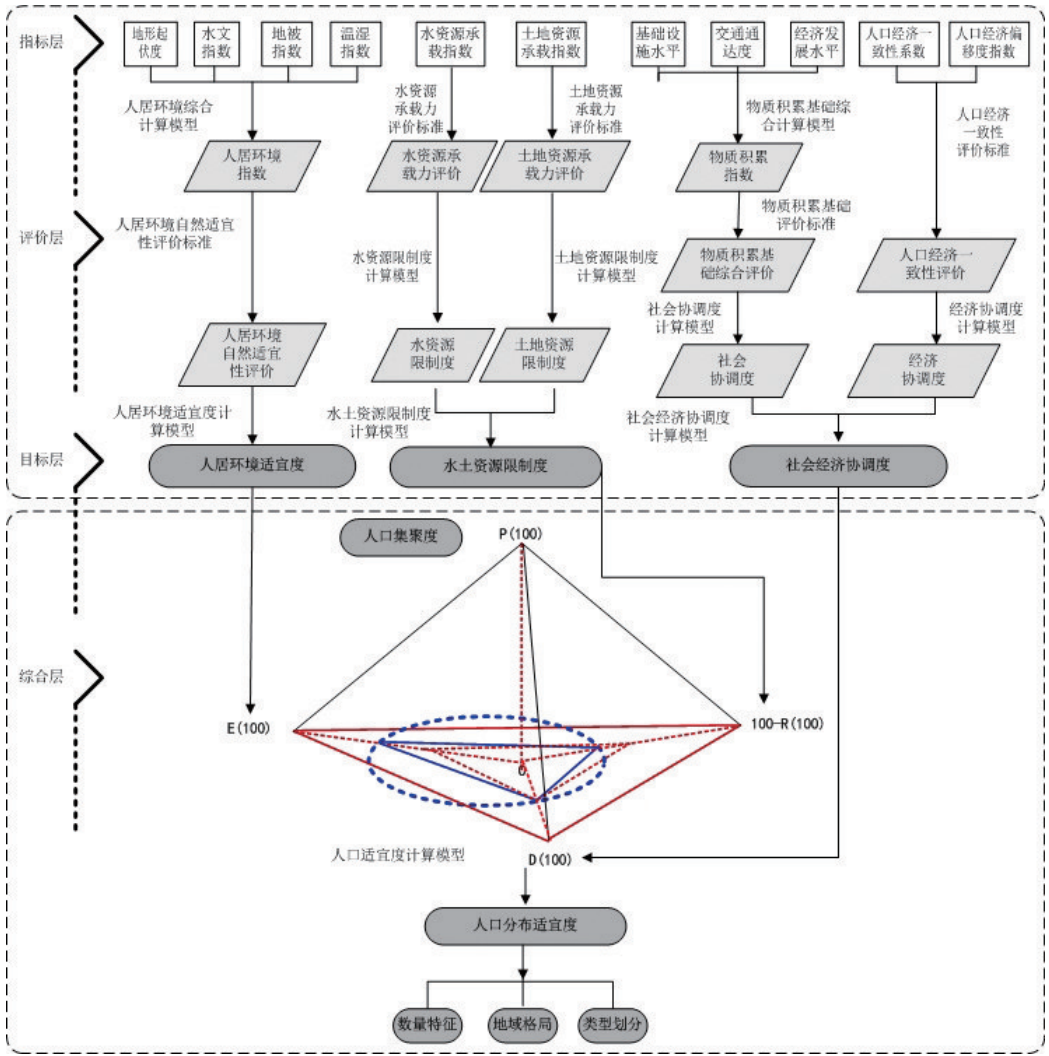


图3 研究技术路线图

Fig. 3 Flow chart for suitability evaluation of population distribution in China

境自然适宜性评价模型与评价标准，定量计算中国不同地区人居环境的自然适宜性，将中国人居环境划分为不适宜、临界适宜、一般适宜、比较适宜和高度适宜5种类型；在此基础上，结合2010年中国人口密度栅格数据，根据中国人口分布的人居环境适宜度模型，以分县为基本研究单元，定量计算人居环境不同适宜地区的人口数量，分析2010年中国不同地区人口分布的人居环境适宜程度，揭示中国人口分布与人居环境的耦合特征及其时空规律性。

(2) 以分县为基本研究单元，以水资源承载指数和土地资源承载指数为基本指标，建立水资源承载力和土地资源承载力计算模型与评价标准，定量评估2010年中国分县水土资源支持能力与保障水平，将中国不同地区水资源和土地资源承载水平划分为超载、平衡、盈余3种类型；在此基础上，根据水资源限制度、土地资源限制度和水土资源限制度模型，以分县为基本单元，全面评估2010年中国人口分布的水土资源限制度及其时空规律，定量揭示中国人口分布的水土资源限制度的地域格局与变化趋势。

(3) 以分县为基本研究单元，以基础设施水平、交通通达度和经济发展水平为基本指标，建立物质积累指数计算模型与评价标准，定量计算中国物质积累基础发展水平；在此

基础上,根据中国人口分布的社会协调度模型,定量评价2010年中国人口分布的社会协调度;以人口经济一致性系数和人口经济偏移度指数为基本指标,建立人口经济一致性评价模型及评价标准,定量计算2010年中国分县人口经济一致性水平;在此基础上,依据中国人口分布的经济协调度模型,定量评价2010年中国人口分布的经济协调度;依据中国人口分布的社会经济协调度综合评价模型,定量评价2010年中国不同地区人口分布的社会经济协调度及其时空规律性。

(4)在综合分析中国分县人口与资源、环境和社会经济协调发展的基本关系的基础上,依据人口分布适宜度评价框架与模型,以分县为基本单元,定量计算2010年中国不同地区的人口分布适宜度,揭示中国人口资源环境与发展的协调程度与空间格局,划分中国分县人口分布适宜度类型。

2.3 数据来源与技术处理

研究数据主要涉及分县尺度的人口、资源和社会经济数据,基于格网尺度的环境数据,以及全国2010年基础地理数据等,主要数据来源与技术处理过程如下:

人口数据主要包括分县人口数量数据及栅格尺度的人口密度数据。其中2010年中国2353个县域单元的常住人口和城乡人口数据,均源于分省(直辖市和自治区)和地区(市)公布的第六次人口普查公报。2010年中国1 km×1 km栅格的人口密度数据,源于中国科学院地理科学与资源研究所资源环境数据中心。

环境数据主要包括温度和降水等气象台站的多年平均气象资料、中国数字高程模型(DEM)、中国2000-2010年逐旬1 km×1 km归一化植被指数、中国1:100万土地利用、中国1:400万崩塌、滑坡、泥石流分布等专题数据图层。其中,包含了温度、降水、相对湿度等752个气象台站资料来源于国家气象局数据共享中心,本文利用GIS软件,分别采用克里格法、样条法以及梯度距离平方反比法对各要素进行插值,进而获取了中国1 km×1 km栅格尺度的气象要素图层;中国数字高程模型(DEM)来源于由USGS制备的全球GTOPO30,其空间分辨率为30',本文经过正轴等面积双标准纬线割圆锥投影,得到1 km×1 km中国DEM图;中国2000-2010年逐旬1 km×1 km归一化植被指数数据来源于中国地球科学数据共享平台;中国1:100万土地利用类型图源于中国科学院地理科学与资源研究所数据中心;中国1:400万崩塌、滑坡、泥石流分布图来源于中国地质环境监测院,经过扫描、配准、数字化处理,形成矢量数据。

资源数据主要包括全国分县土地面积、粮食和肉类产量,以及多年平均水资源量等数据。其中分县粮食产量、肉类产量数据源于2011年中国和分省统计年鉴;分县多年平均水资源数据源于国家人口发展战略研究集成成果。

社会经济数据主要包括分县2010年经济(国内生产总值)、通讯(本地电话和移动电话户数)、医疗卫生(卫生机构床位数)、交通(建设用地面积、交通用地面积、居民点工矿用地面积)等数据,主要来源于《中国分县社会经济统计年鉴2011》和分省2011统计年鉴;部分资料源于国家人口发展战略研究集成成果。

此外,本文运用了2010年中国分县数字化行政区划图和中国1:100万交通图等基础地理数据。其中,数字化行政区划图以中国1:25万分县数字化行政区划图为基础,根据2010年全国分县行政区划图,采用GIS等技术,校对、修改、拼接形成;中国1:100万交通图源于中国交通设计规划院。

3 中国分县人口与资源、环境协调发展的基本关系分析

3.1 中国人口分布的人居环境适宜度

中国人口分布的人居环境适宜度研究表明(表1),2010年,中国有3/5以上的县(市、

区) 人口分布与人居环境基本适宜, 中国分县人口分布与人居环境自然适宜性保持了高度一致性。具体而言:

2010 年中国人居环境适宜度达到 100、人口分布与人居环境适宜高度一致的县(市、区) 达 776 个, 接近全国总量的 1/3, 相应人口占 48.96%, 占地 11.24%; 人居环境适宜度介于 80~100、人口分布与人居环境适宜度基本一致的县(市、区) 有 684 个, 接近全国的 3/10, 相应人口占 30.87%, 占地 18.50%; 人居环境适宜度低于 60、人口分布与人居环境关系有待调整的县(市、区) 有 647 个, 相应人口占 12.55%, 占地 63.53%。

从空间分布来看(图4), 中国人口分布的人居环境适宜度由西北向东南趋强, 人口分布与人居环境适宜性趋于一致。即中国人口分布与人居环境自然适宜性高度一致或基本一致地区大多位于东南半壁, 东北平原、华北平原、长江中下游平原和江南大部分地区均位于我国人口分布与人居环境高度适宜地区, 这类地区地势平坦、土壤肥沃、气候温和、植被繁茂且水陆交通方便, 多为传统人口密集区; 中国人居环境适宜度不一致或相对不一致地区多处在西北半壁, 主要集中于西南高原和西北干旱地区。

3.2 中国人口分布的水土资源限制度

中国人口分布的水土资源限制度研究表明(表2), 2010 年中国约 1/2 以上的县(市、区) 人口发展基本不受水土资源约束, 分县人口分布与水土资源适宜性处于中等水平。具体而言:

2010 年中国有 1229 个县(市、区) 人口发展基本不受水土资源限制, 占全国的 52.23%, 占地 61.16%, 相应人口占 44.37%, 人口分布与水土资源保持了良好的适应性。水土资源限制度介于 0~20 之间、受水土资源轻度限制的县(市、区) 有 495 个, 占全国 21.04%, 占地 16.01%, 相应人口占 20.53%, 人口分布与水土资源基本适应; 水土资源限制度介于 20~40 之间、受水土资源中度限制的县(市、区) 有 269 个, 占全国 11.43%, 占地 10.62%, 相应人口占 9.71%, 人口分布与水土资源勉强适应。必须指出, 2010 年中国受水土资源高度限制的县(市、区) 仍有 360 个, 占全国 15.30%, 占地 12.21%, 相应人口超过全国的 1/4, 这类地区人口与水土资源的协调发展问题需要引起足够重视。

表1 2010年中国人口分布的人居环境适宜度

Tab. 1 Environment suitability of population distribution in China, 2010

人居环境适宜度	土地		人口		县(市、区)	
	数量/万 km ²	比例/%	数量/万人	比例/%	数量/个	比例/%
100	107.49	11.24	65592.93	48.96	776	32.98
80~100	176.91	18.50	41357.31	30.87	684	29.07
60~80	64.36	6.73	10208.7	7.62	246	10.45
40~60	46.86	4.90	5077.56	3.79	145	6.16
20~40	50.97	5.33	5023.97	3.75	127	5.4
0~20	509.70	53.30	6712.02	5.01	375	15.94

表2 2010年中国人口分布的水土资源限制度

Tab. 2 Water and land resources restriction of population distribution in China, 2010

水土资源限制度	土地		人口		县(市、区)	
	数量/万 km ²	比例/%	数量/万人	比例/%	数量/个	比例/%
0	584.87	61.16	59443.59	44.37	1229	52.23
0~20	153.1	16.01	27504.55	20.53	495	21.04
20~40	101.56	10.62	13008.73	9.71	269	11.43
40~60	25.44	2.66	5466.08	4.08	85	3.61
60~80	37.1	3.88	5037.37	3.76	84	3.57
80~100	54.22	5.67	23512.17	17.55	191	8.12

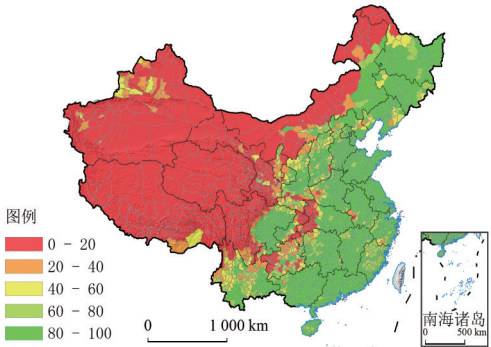


图4 2010年中国人居环境适宜度空间格局

Fig. 4 Spatial distribution of suitability of human settlements environment in China, 2010

就空间分布看(图5),中国分县人口分布的水土资源限制度西部低于东部、南部低于北部、长江流域低于泛黄河流域,地域分异明显。其中,水土资源限制性较低的地区主要分布在西南诸河、长江中上游、珠江流域等大部分地区,东北平原、内蒙古高原、长江中下游、藏东南、伊犁河谷等地区,作为背景大面积分布;限制度较高的地区主要集中在人口众多或水土资源短缺的华北平原、黄土高原、长三角、浙闽沿海、珠三角和西南、西部部分地区。

3.3 中国人口分布的社会经济协调度

中国人口分布的社会经济协调度研究表明(表3),2010年中国有超3/5的县(市、区)人口与社会经济发展基本协调,人口分布的社会经济协调性良好。具体而言:

2010年中国人口分布与社会经济高度协调的县(市、区)有158个,占全国的6.71%,相应人口占21.07%,占地约1.76%;社会经济协调度介于80~100之间、人口分布与社会经济基本协调的县(市、区)有1307个,占55.54%,相应人口占54.57%,占地约41.40%;也就是说,中国超3/5县(市、区)人口与社会经济发展基本协调,人口分布的社会经济协调性良好。必须指出,2010年全国尚有182个、7.73%的县(市、区)人口与社会经济发展的协调性较差,这类地区社会经济协调度在60以下,占地超过1/5,相应人口占2.89%,大多自然条件较差,社会经济发展滞后,人口与社会经济协调发展问题亟待解决。

中国分县人口分布的社会经济协调度地域分异明显(图6)。中国分县人口与社会经济协调性呈现出东部高于中部、中部高于西部、西北好于西南的基本格局。中国人口与社会经济协调性较好的地区主要分布在以辽中南、京津冀、山东半岛、长三角、浙闽沿海、珠三角、哈长地区、郑洛汴地区、大武汉、长株潭、环鄱阳湖、成渝地区、关中地区、呼包银和天山北麓等城市群为核心的沿海、沿江、沿线地区,这类地区物质积累水平和经济发展水平普遍较高。人口与社会经济协调性较差的地区主要集中在西部青藏高原、云贵高原、黄土高原、西北干旱区和中、东部丘陵山地区,社会协调度和经济协调度普遍偏低。

表3 2010年中国人口分布的社会经济协调度

Tab. 3 Social and economic coordination of population distribution in China, 2010						
社会经济协调度	土地		人口		县(市、区)	
	数量/万 km ²	比例/%	数量/万人	比例/%	数量/个	比例/%
100	16.84	1.76	28230	21.07	158	6.71
90~100	145.06	15.17	46244	34.52	726	30.85
80~90	250.8	26.23	26862	20.05	581	24.69
70~80	191.22	20	20419	15.24	441	18.74
60~70	131.37	13.74	8348	6.23	265	11.26
<60	221	23.11	3869	2.89	182	7.73

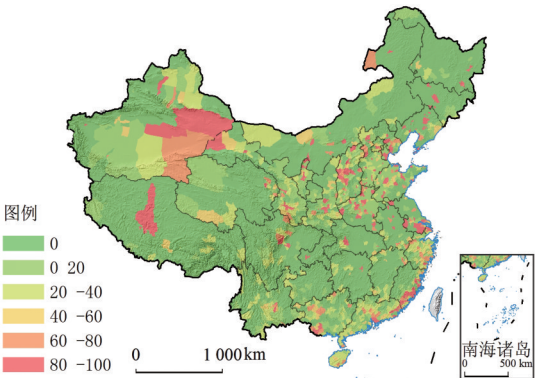


图5 2010年中国分县水土资源限制度空间格局
Fig. 5 Spatial distribution of water and land resources restriction in China, 2010

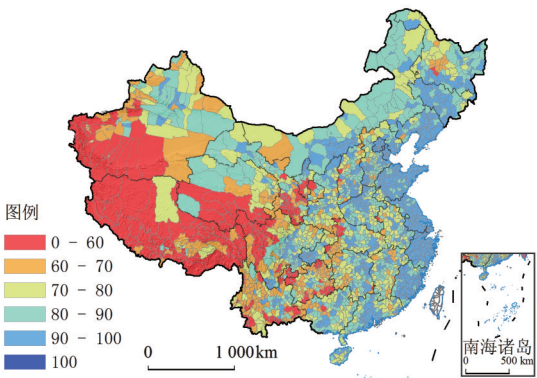


图6 2010年中国分县社会经济协调度空间格局
Fig. 6 Spatial distribution of social and economic coordination in China, 2010

4 中国人口分布适宜度：PRED协调性评价

人口分布适宜度反映的是不同地区人口资源环境与发展之间的协调程度。本文在中国人口分布人居环境适宜度、水土资源限制度和社会经济协调度研究的基础上，采用上述中国人口分布适宜度评价模型，以分县为基本单元，定量评价了2010年中国不同地区的人口分布适宜度，并划分了中国人口分布适宜度的类型，揭示了中国人口与资源环境社会经济协调发展的空间格局及其地域特征。

4.1 中国分县人口分布适宜度

中国人口分布适宜度研究表明 (表 4)，2010 年有近 3/5 的县 (市、区) 人口分布适宜度在 60 以上，中国分县人口资源环境与发展处于基本协调或相对良好状态。具体而言：

2010 年中国人口分布适宜度在 80 以上、人口资源环境与发展协调良好的有 708 个县 (市、区)，占 30.09%，占地 15.11%，相应人口占 38.31%；人口分布适宜度在 60~80、人口资源环境与发展基本协调的有 651 个县 (市、区)，占 27.67%，占地 15.77%，相应人口占 26.00%。此外，2010 年人口分布度在 40~60、人口资源环境与发展有待协调的县 (市、区) 有 608 个，占 25.84%，占地 23.72%，相应人口占 29.59%。特别指出，人口分布适宜度在 40 以下、人口资源环境与发展亟待协调的县 (市、区) 有 386 个，占 16.40%，占地 45.40%，相应人口占 6.10%。这类地区大多地处边远，人居环境临界适宜或一般适宜；所处境地广人稀，水土资源相对适宜；地区物质积累一般，经济发展相对滞后，人口与资源环境社会经济亟待协调发展。

从空间分布看 (图 7)，中国分县人口资源环境与发展协调程度东部优于中部、中部优于西部。其中，人居环境自然适宜度和社会经济协调度较高、水土资源限制度较低的东北平原、华北平原、长江中下游平原、四川盆地和东南沿海地区人口分布适宜度普遍较高；云贵高原、黄土高原、东部丘陵山地、青藏高原和西北干旱区人口分布适宜度普遍较低，部分县 (市、区) 更低于 30 水平，应给予特别关注。

4.2 中国分县人口分布适宜度类型

根据 2010 年中国分县人口分布适宜度高低和限制性差别，本文进一步将中国分县人口分布适宜度划分为 4 个等级与 10 个限制类型 (图 8，表 5)。2010 年中国分县人口分布适宜度等级与限

表 4 2010 年中国人口分布适宜度

Tab. 4 Population distribution suitability in China, 2010						
人口分布 适宜度	土地		人口		县 (市、区)	
	面积/万 km ²	比例/%	数量/万人	比例/%	数量/个	比例/%
80~100	144.5	15.11	51324.86	38.31	708	30.09
60~80	150.81	15.77	34832.85	26.00	651	27.67
40~60	226.83	23.72	39642.46	29.59	608	25.84
20~40	162.57	17.00	5626.84	4.20	216	9.18
0~20	271.59	28.40	2545.48	1.90	170	7.22

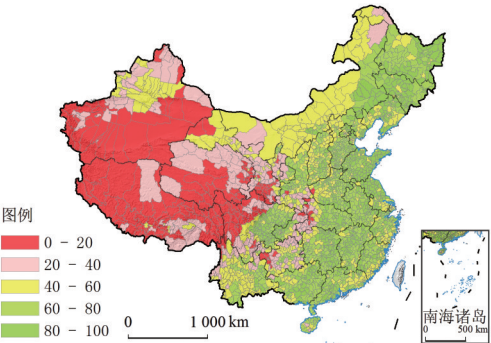


图 7 2010 年中国分县人口分布适宜度空间格局
Fig. 7 Spatial pattern of population distribution suitability in China, 2010

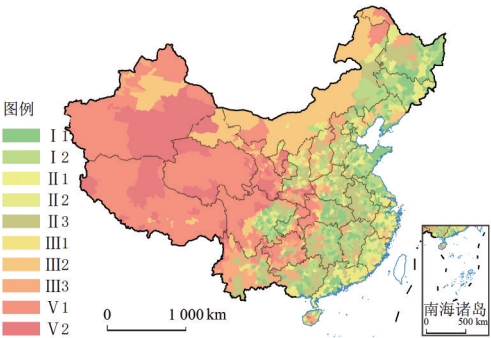


图 8 2010 年中国分县人口分布适宜等级与限制类型空间分布
Fig. 8 Spatial pattern of suitability grades and restricted types of population distribution in China, 2010

表 5 2010 年中国县 (市、区) 人口分布适宜等级与限制类型统计表
Tab. 5 Types of population distribution suitability in China, 2010

人口分布 适宜等级	限制类型	人居	水土	社会	人口	县 (市、区)		土地		人口	
		环境 适宜度	资源 限制度	经济 协调度	空间 集聚度	数量 /个	比例 /%	面积 /万 km ²	比例 /%	数量 /万人	比例 /%
80~100 (I)	城市高度集聚型 (I ₁)	97.49	4.43	95.1	4.65	283	12.03	60.82	6.36	29849.07	22.28
	乡村中度集聚型 (I ₂)	97.91	3.03	87.66	2.75	425	18.06	83.77	8.76	21475.79	16.03
	水土资源限制型 (II ₁)	96.16	35.06	91.74	4.51	124	5.27	19.41	2.03	8909.17	6.65
60~80 (II)	人居环境限制型 (II ₂)	71.65	9.77	87.52	1.47	120	5.1	36.24	3.79	4903.39	3.66
	社会经济限制型 (II ₃)	92.4	6.62	67.6	2.17	407	17.3	95.15	9.95	21060.48	15.72
	水土资源限制型 (III ₁)	96.91	85.52	94.48	26.37	204	8.67	24.58	2.57	25695.92	19.18
40~60 (III)	水土资源和人居环境限制型 (III ₂)	33.52	25.19	89	1.44	193	8.2	144.11	15.07	6845.99	5.11
	人居环境和社会经济限制型 (III ₃)	65.13	18.49	62.52	1.05	211	8.97	58.14	6.08	7113.94	5.31
	人居环境和社会经济限制型 (IV ₁)	10.04	1.9	57.57	0.48	292	12.41	304.77	31.87	6149.34	4.59
0~40 (IV)	人居环境、水土资源和社会经济限制型 (IV ₂)	15.24	41.86	62.43	0.72	94	3.99	129.29	13.52	1969.4	1.47

制性特征分述如下：

I 人口资源环境与发展基本协调地区：2010 年中国人口分布适宜度在 80 以上、人口资源环境与发展基本协调地区包括 708 个县 (市、区)，占地 144.59 万 km²，相应人口 5.13 亿，集中分布在中国东、中部地区。主要适宜性特征是“三高”，即人居环境适宜度和水土资源适应度在 95 以上，社会经济协调度达到 90 左右的水平。根据人口集聚程度和适宜性特征，又可以细分为城市高度集聚和乡村中度集聚 2 种类型 (图 9)。

I₁ 城市高度集聚型，包括 283 个市 (区)，占地 60.82 万 km²，占比 6.36%，相应人口 2.98 亿，占 22.28%，人口密度 4 倍于全国平均水平；I₂ 乡村中度集聚型，包括 425 个县 (市、区)，占地 83.77 万 km²，占比 8.76%，相应人口 2.15 亿，占 16.03%，人口密度 2 倍于全国平均水平。

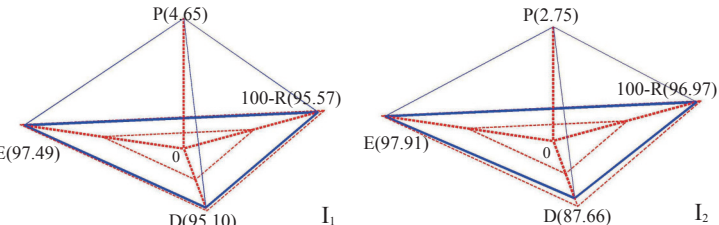


图 9 2010 年中国人口资源环境与发展基本协调地区人口分布适宜度结构图
Fig. 9 Structure chart of population distribution suitability in basic harmonious regions in China, 2010

II 人口资源环境与发展

相对协调地区：2010 年中国分县人口分布适宜度介于 60~80、人口资源环境与发展相对协调地区包括 651 个县 (市、区)，占地 150.80 万 km²，相应人口 3.49 亿，东中西部地区广泛分布。主要适宜性特征是“两高一低”，即人居环境适宜度、水土资源适应度和社会经济协调度有 2 项处于 90 以上较高水平，1 项处于 70 左右中等水平。根据适宜性差别，可以划分为水土资源限制、人居环境限制和社会经济限制 3 种类型 (图 10)。

II₁ 水土资源限制型，包括 124 个县 (市、区)，占地 19.41 万 km²，占比 2.03%，相应人口 8909 万人，占 6.65%，人口密度 3 倍于全国平均水平；II₂ 人居环境限制型，包括 120 个

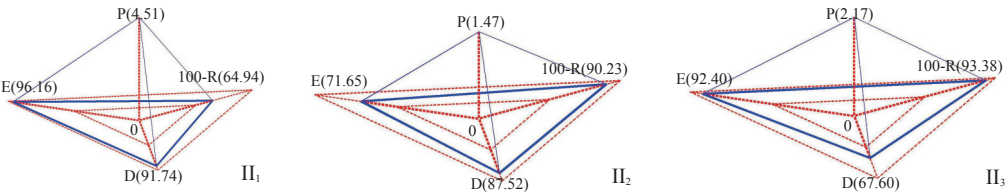


图 10 2010 年中国人口资源环境与发展相对协调地区人口分布适宜度结构图
Fig. 10 Structure chart of population distribution suitability in relative harmonious regions in China, 2010

县(市、区),占地36.24万km²,占比3.79%,相应人口4903万,占3.66%,人口密度与全国平均水平持平;Ⅱ₃社会经济限制型,包括407个县(市、区),占地95.15万km²,占比9.95%,相应人口2.11亿,占15.72%,人口密度2倍于全国平均水平。

Ⅲ 人口资源环境与发展有待协调地区:2010年中国分县人口分布适宜度介于40~60、人口资源环境与发展有待协调地区包括608个县(市、区),占地226.83万km²,相应人口3.97亿,集中分布在中西部地区。主要适宜性特征是“两低一高”或“两高一低”,即人居环境适宜度、水土资源适应度和社会经济协调度有2项处于较低水平,或1项处于极低水平。根据适宜性差别,可以划分为水土资源限制、水土资源和人居环境限制、以及人居环境和社会经济限制3种类型(图11)。

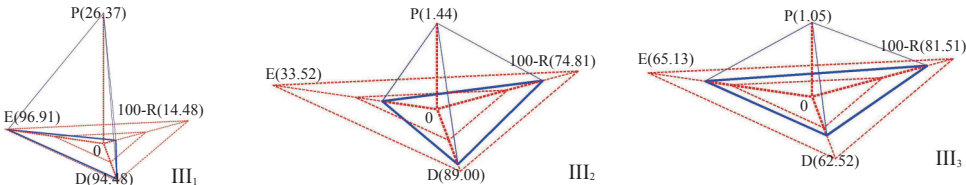


图 11 中国人口资源环境与发展有待协调地区人口分布适宜度结构

Fig. 11 Structure chart of population distribution suitability in China's regions that remain to be harmonious

Ⅲ₁ 水土资源限制型,包括204个县(市、区),占地24.58万km²,占比2.57%,相应人口2.57亿,占19.18%,人口密度8倍于全国平均水平;Ⅲ₂ 水土资源和人居环境限制型,包括193个县(市、区),占地144.11万km²,占比15.07%,相应人口6846万,占5.11%,人口密度远低于全国平均水平;Ⅲ₃ 人居环境和社会经济限制型,包括211个县(市、区),占地58.14万km²,占比6.08%,相应人口7114万,占比5.31%,人口密度略低于全国平均水平。

Ⅳ 人口资源环境与发展亟待协调地区:2010年中国分县人口分布适宜度在40以下、人口资源环境与发展亟待协调地区包括386个县(市、区),占地434.06万km²,相应人口8119万,集中分布在中国中、西部地区。主要适宜性特征是“三低”或“两低一高”,即人居环境适宜度、水土资源适应度和社会经济协调度有3项或2项处于较低水平。根据适宜性差别,可以划分为人居环境和社会经济限制与人居环境、水土资源和社会经济限制2种类型(图12)。

Ⅳ₁ 人居环境和社会经济限制型,包括292个县(市、区),占地304.77万km²,占比31.87%,相应人口6149万,占比4.59%,由于地广人稀,水土资源限制度较低,但受人居环境和社会经济影响,人口分布适宜度仍在较低水平;Ⅳ₂ 人居环境、水土资源和社会经济限制型,包括94个县(市、区),占地129.29万km²,占比13.5%,相应人口1969万,占比1.47%,水土资源环境限制性强、社会经济发展相对滞后,人口密度远低于全国平均水平。

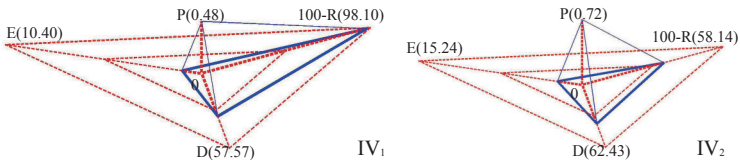


图 12 中国人口资源环境与发展亟待协调地区人口分布适宜度结构图
Fig. 12 Structure chart of population distribution suitability in China's regions to be harmonious in urgent need

5 结论与讨论

5.1 主要结论

(1) 中国人口分布的人居环境适宜性评价表明,2010年中国人居环境适宜度在80以上的县(市、区)占全国的62.05%,即中国有3/5以上的县(市、区)人口分布与人居环境基

本适宜,中国分县人口分布与人居环境自然适宜性保持了高度一致性。从空间分布来看,中国人口分布的人居环境适宜度由西北向东南趋强,人口分布与人居环境适宜性趋于一致。

(2) 中国人口分布的水土资源限制制度研究表明,2010年中国约52.23%的县(市、区)人口发展基本不受水土资源约束,分县人口分布与水土资源适宜性处于中等水平;就空间分布看,中国分县人口分布的水土资源限制制度西部弱于东部、南部弱于北部、长江流域弱于泛黄河流域,地域分异明显。

(3) 中国人口分布的社会经济协调度研究表明,2010年中国有62.25%的县(市、区)人口与社会经济发展基本协调,人口分布的社会经济协调性良好。从空间分布看,中国分县人口与社会经济协调性东部高于中部、中部高于西部、西北好于西南。

(4) 中国人口分布适宜度研究表明,2010年中国有57.76%的县(市、区)处于人口资源环境与发展基本协调或相对良好状态。从空间分布看,中国分县人口资源环境与发展协调程度东部优于中部、中部优于西部。

(5) 中国分县人口分布适宜度可划分为4个适宜等级与10个限制类型。其中人口资源环境与发展基本协调地区包括708个县(市、区),占地144.59万 km^2 ,相应人口5.13亿,集中分布在中国东、中部地区;人口资源环境与发展相对协调地区包括651个县(市、区),占地150.80万 km^2 ,相应人口3.49亿,东中西部地区广泛分布;人口资源环境与发展有待协调地区包括608个县(市、区),占地226.83万 km^2 ,相应人口3.97亿,集中分布在中西部地区;人口资源环境与发展亟待协调地区包括386个县(市、区),占地434.06万 km^2 ,相应人口8119万,集中分布在中国中、西部地区。

5.2 讨论

研究表明,中国人口与资源环境协调发展程度地区差异显著,两极分化明显。必须高度关注人口与环境适宜性较差的人居环境不适宜/临界适宜地区、人口与资源适应性较低的水土资源超载地区和人口分布与经济发展高度不一致的人口与社会经济亟待协调发展的地区及其面临问题,它们将是促进中国人口与资源环境协调发展、提高中国人口分布适宜度的关键地区 and 主要问题所在。

(1) 人居环境不适宜地区和临界适宜地区及其主要问题。中国人口分布大势从根本上受到自然环境制约,人口分布与人居环境适宜性具有高度一致性。但也不可忽视,2010年中国人居环境不适宜地区和临界适宜地区有607.53万 km^2 ,占地63.53%;相应人口1.68亿,占比12.55%。主要分布在中、西部地区,集中于西南青藏高原和西北干旱地区,多是国家和地区重要的生态屏障所在,它们将是提高中国人口分布与人居环境适宜性的关键地区所在。这类地区人口密度较低,受地形、气候、水文、地被等自然条件的限制或崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害的威胁,生态较为脆弱,资源环境承载力低下,不适合或勉强适合人类常年生活和居住。由于现有人口规模已经接近或超过资源环境承载力,人为活动已经对生态环境构成威胁,部分地区已经或正在出现生态破坏和环境恶化现象。这类地区日前多已列入国家主体功能区规划的禁止开发区或限制开发区,严格控制生态破坏地区人口自然增长和机械迁入,同时针对这类地区人口与资源环境之间的矛盾,应适当向人居环境适宜地区疏散人口,有计划、有步骤地实施生态移民,以减轻人口压力,促进生态修复和环境保护,已是促进区域人口分布与人居环境协调发展的不二选择。

(2) 水土资源超载地区及其主要问题。2010年,中国分县水土资源超载地区包括1124个县(市、区),占地不到2/5,相应人口超过1/2,集中分布在东中部人口密集的城市化地区和生态环境脆弱的贫困地区,它们是提高中国人口分布与资源适宜性的关键地区所在。未来20~30年中国城镇化率将达到67%左右,届时城镇人口将到10亿,城市群集地区仍将是带动中国社会经济发展的引擎地区,基于国家主体功能区规划的优化开发区与重点开发

区则是中国社会经济发展的主要增长点和人口集聚核心区。受城市化地区人口与产业高度集聚的影响,优化开发区与重点开发区的水土资源限制度大多已高出全国平均水平,特别是水资源限制度日益增大。因此,城市群建设与城市化地区发展主要集中在优化开发区与重点开发区,但必须优化人口布局,关注区域资源环境支撑能力与保障程度,充分考虑资源环境承载力跨区占用与流域水土资源综合管理问题。而生态脆弱的贫困地区,资源环境基础较差,尽管人口相对稀疏,但水土资源承载力本就有限,不足于支持现有人口的可持续发展,人口适度收缩或疏散已成为促进该类地区人口与资源环境协调发展的必然途径。

(3) 人口与社会经济亟待协调发展地区及其主要问题。区域社会经济发展与人口分布的协调程度是促进人口与资源环境和社会经济协调发展的关键指标之一,更是影响国家地区战略和区域政策导向的重要依据。2010年,中国人口分布与社会经济发展有待协调和亟待协调地区包括了888个县(市、区),占地约56.85%,相应人口近1/4,主要集中在西部青藏高原、云贵高原、黄土高原和中、东部丘陵山地区,它们是提高中国人口分布与社会经济协调性的关键地区所在。这类地区的基础问题是人口发展的物质积累基础相对滞后,人口分布与经济发展高度不一致。要促进该类地区人口分布与社会经济协调发展,提高中国人口分布的社会经济协调度,未来应重点关注社会经济发展相对滞后地区的基础设施建设问题,培育区域经济发展增长极,改善物质积累基础;有效实施资源环境补偿与财政转移支付,统筹区域协调发展,促进人口分布与区域社会经济发展相协调。

参考文献 (References)

- [1] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. The Population Development Functional Zoning (The First Part). Beijing: World Knowledge Press, 2009. [国家人口和计划生育委员会发展规划与信息司. 人口发展功能分区研究(上). 北京: 世界知识出版社, 2009.]
- [2] Niu Wenyuan. Basic understanding of the theory of sustainable development. Progress in Geography, 2008, 27(3): 1-6. [牛文元. 可持续发展理论的基本认知. 地理科学进展, 2008, 27(3): 1-6.]
- [3] Luo Hui, Huo Youguang, Hu Yanhua, et al. The theory review of sustainable development. Journal of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry: Social Science Edition, 2004, 4(1): 35-38. [罗慧, 霍有光, 胡彦华, 等. 可持续发展理论综述. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2004, 4(1): 35-38.]
- [4] Qi Ye, Cai Qin. A Decade of Advances in Sustainability Theory. China Population, Resources and Environment, 2010.20(4):110-116. [齐晔, 蔡琴. 可持续发展理论三项进展. 中国人口#资源与环境, 2010.20(4):110-116.]
- [5] Niu Wenyuan. The theoretical connotation of sustainable development: The 20th Anniversary of UN Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro, Brazil. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(5): 9-14. [牛文元. 可持续发展理论的内涵认知: 纪念联合国里约环发大会20周年. 中国人口资源与环境, 2012, 22(5): 9-14.]
- [6] Yang Kuifu, Tian Xueyuan. Population, Resources and Environment Sustainable Development. Hangzhou: Zhejiang People's Publishing House, 2001. [杨魁孚, 田雪原. 人口资源环境可持续发展. 杭州: 浙江人民出版社, 2001.]
- [7] Simone Marsiglio. On the relationship between population change and sustainable development. Research in Economics, 2011, 65(4): 353-364.
- [8] China Sustainable Development Strategy Research Group. The Strategy Report of China's Sustainable Development: Ecological Civilization Road in the Next 10 Years. Beijing: Science Press, 2013. [中国可持续发展战略研究组, 2013 中国可持续发展战略报告: 未来10年的生态文明之路. 北京: 科学出版社, 2013.]
- [9] Wei Yiming, Zeng Rong, Fan Ying et al. A multi-objective goal programming model for Beijing's coordination development of population, resources, environment and economy. Systems Engineering: Theory & Practice, 2002, (2): 74-83. [魏一鸣, 曾嵘, 范英, 等. 北京市人口、资源、环境与经济协调发展的多目标规划模型. 系统工程理论与实践, 2002, (2): 74-83.]
- [10] Hu Guoliang, Zhu Xiao. Comprehensive evaluation of population, resources, environment and economic system in Xinjiang: Based on the principal component analysis method, Ecological Economy, 2009, (6): 67-69, 77. [胡国良, 朱晓. 新疆人口、资源、环境与经济系统的综合评价: 基于主成分分析方法, 生态经济, 2009, 6, 67-69, 77.]
- [11] Mi Hong, Ji Guoli, Lin Qican. The sustainable development system theory and the method of assessment of regional population, Resources, environment and economy coordinated in China. Population and Economics, 1999, (6): 17-25. [米红, 吉国力, 林琪灿. 中国县级区域人口、资源、环境与经济协调发展的可持续发展系统理论和评估方法研究, 人口与经济, 1999, (6): 17-25.]

- [12] Mao Hanying. Study on coordinating development of economic, social growth with population, resources and environment at county level. *Acta Geographica Sinica*, 1991, 46(4): 385-395. [毛汉英. 县域经济和社会同人口、资源、环境协调发展研究. *地理学报*, 1991, 46(4): 385-395.]
- [13] Chen Ying. Research on the coordinated development of population, resources, environment and economic, social development in Qinghai Province. *Northwest Population*, 2007, 28(5): 25-30. [陈颖. 青海省人口、资源、环境与经济、社会的协调发展研究. *西北人口*, 2007, 28(5): 25-30.]
- [14] Tong Yufen, Liu Chang'an. Evaluation of coordination degree between Beijing population, economy and environment. *Population and Development*, 2013, 19(1): 44-51. [童玉芬, 刘长安. 北京市人口、经济和环境关系的协调度评价. *人口与发展*, 2013, 19(1): 44-51.]
- [15] Tine Ningal, Hartemink A E, Bregt A K. Land use change and population growth in the Morobe Province of Papua New Guinea between 1975 and 2000. *Journal of Environmental Management*, 2008, 87(1): 117-124.
- [16] Srijana Dawadi, Sajjad Ahmad. Evaluating the impacts of demand-side management on water resources under changing climatic conditions and increasing population. *Journal of Environmental Management*, 2013, 114: 261-275.
- [17] Li Yongfeng, Ma Zhong. Analysis on the sustainable development of population, resources, environment and economy. *Journal of Shanxi Normal University: Natural Science Edition*, 2012, 26(3): 92-97. [李勇峰, 马忠. 人口、资源、环境与经济可持续发展分析研究: 以西部地区为例. *山西师范大学学报: 自然科学版*, 2012, 26(3): 92-97.]
- [18] Niu Wenyuan. Sustainable development: the inevitable choice of development strategy in twenty-first century in China. *Ecological Economy*, 2000, (1): 1-3. [牛文元. 可持续发展: 21世纪中国发展战略的必然选择. *生态经济*, 2000, (1): 1-3.]
- [19] Qin Yaochen, Chen Shimin, Wang Xi et al. Rational sustainable development: theories and their application. *Progress in Geography*, 1997, 16(1): 15-22. [秦耀辰, 陈世敏, 王喜 等. 区域持续发展的基本理论及其实践意义. *地理科学进展*, 1997, 16(1): 15-22.]
- [20] Qin Dahe, Zhang Kunmin, Niu Wenyuan et al. *The Population Resources Environment and Sustainable Development in China*. Beijing: Xinhua Press, 2002. [秦大河, 张坤民, 牛文元 等. 中国人口资源环境与可持续发展. 北京: 新华出版社, 2002.]
- [21] Wu Wenheng, Niu Shuwen. Evolutional analysis of coupling between population and resource-environment in China. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 12: 793-801.
- [22] The State Council. *China Twenty-first Century Agenda: China Twenty-first Century Population, Environment and Development White Paper*. China Environmental Science Press, 1994. [国务院. 中国21世纪议程: 中国21世纪人口、环境与发展白皮书. 中国环境科学出版社, 1994.]
- [23] Zeng Rong, Wei Yiming, Fan Ying et al. Analysis system of coordinated development of population, resources, environment and economy. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2000, (12): 1-6. [曾嵘, 魏一鸣, 范英 等. 人口、资源、环境与经济协调发展系统分析. *系统工程理论与实践*, 2000, (12): 1-6.]
- [24] Evan G R Davies, Slobodan P Simonovic. Global water resources modeling with an integrated model of the social-economic-environmental system. *Advances in Water Resources*, 2011, 34(6): 684-700.
- [25] Zhong Shuiying, Jian Xinhua. *Population, Resources and Environmental Economics*. Beijing: Science Press, 2007. [钟水映, 简新华. 人口、资源与环境经济学. 北京: 科学出版社, 2007.]
- [26] Feng Zhiming, Tang Yan, Yang Yanzhao et al. Establishment and application of human settlements environment Index Model (HEI) based on GIS. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(12): 1327-1336. [封志明, 唐焰, 杨艳昭 等. 基于GIS的中国人居环境指数模型的建立与应用. *地理学报*, 2008, 63(12): 1327-1336.]
- [27] Hao Huimei, Ren Zhiyuan. Evaluation of nature suitability for human settlement in Shanxi Province based on grid data. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(4): 498-506. [郝慧梅, 任志远. 基于栅格数据的陕西省人居环境自然适宜性测评. *地理学报*, 2009, 64(4): 498-506.]
- [28] Wang Meixia, Ren Zhiyuan, Wang Yongming et al. Evaluation of water resources carrying capacity based on GIS techniques in Guanzhong-Tianshui Economic Zone. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(6): 222-227. [王美霞, 任志远, 王永明 等. 基于GIS的关中-天水经济区水资源承载力评价. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(6): 222-227.]
- [29] Li Jiuyi, Li Lijuan. Water resources supporting capacity to regional socio-economic development of China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(3): 410-419. [李九一, 李丽娟. 中国水资源对区域社会经济发展的支撑能力. *地理学报*, 2012, 67(3): 410-419.]
- [30] Yang Yanzhao, Zhang Wei, Liu Dengwei et al. Water and land balance and water resources carrying capacity in Inner Mongolia. *Arid Land Geography*, 2008, 31(3): 436-441. [杨艳昭, 张伟科, 刘登伟. 内蒙古水土资源平衡及其水资源承载能力. *干旱区地理*, 2008, 31(3): 436-441.]
- [31] Lou Shengxia. Study on evaluation and security of regional water resources carrying based on GIS technology perspective: Taking Zunyi as an example. *Guizhou Social Sciences*, 2011, (8): 60-63. [娄胜霞. GIS技术视角下区域水资源承载力评价与保障研究: 以遵义地区为例. *贵州社会科学*, 2011, (8): 60-63.]
- [32] Feng Zhiming, Yang Yanzhao, Zhang Jing. The land carrying capacity of China based on man-grain relationship.

- Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 865-875. [封志明, 杨艳昭, 张晶. 中国基于人粮关系的土地资源承载力研究: 从分县到分省. 自然资源学报, 2008, 23(5): 865-875.]
- [33] Liu Dong, Feng Zhiming, Yang Yanzhao et al. Characteristics of grain production and spatial pattern of land carrying capacity of China. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 1-6. [刘东, 封志明, 杨艳昭 等. 中国粮食生产发展特征及土地资源承载力空间格局现状. 农业工程学报, 2011, 27(7): 1-6.]
- [34] Liu Dong, Feng Zhiming, Yang Yanzhao. Evaluation of China's material-based development using GIS: From county to province level. Journal of Natural Resources, 2009, 24(7): 1234-1245. [刘东, 封志明, 杨艳昭. 基于 GIS 的中国物质积累基础评价: 从分县到分省. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1234-1245.]
- [35] Feng Zhiming, Liu Xiaona. Study on the consistency of the population distribution and economic development in China. Population & Economics, 2013, (2): 3-11. [封志明, 刘晓娜. 中国人口分布与经济发展空间一致性研究. 人口与经济, 2013, (2): 3-11.]
- [36] Wu Yingmei, Feng Zhiming, Peng Fuliang. Regional Humanities and Social Harmonious Development Mechanism and Countermeasure. Beijing: Science Press, 2008. [吴映梅, 封志明, 彭福亮. 区域人文社会和谐发展机制与对策研究. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [37] Liu Ruiwen, Feng Zhiming, Yang Yanzhao et al. Research on the spatial pattern of population agglomeration and dispersion in China, Progress in Geography, 2010, 29(10): 1171-1177. [刘睿文, 封志明, 杨艳昭 等. 基于人口聚集度的中国人口集聚格局. 地理科学进展, 2010, 29(10): 1171-1177.]

Research on the suitability of population distribution at the county level in China

FENG Zhiming, YANG Yanzhao, YOU Zhen, ZHANG Jinghua
(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China)

Abstract: The relationship between population distribution and resources, environment, social and economic development has attracted much attention for a long time. This paper set up an index system and some models for the assessment of the coordination between population and resources, environment, social and economic development. Then it used the index system and models to evaluate this coordination quantitatively at the county level. Based on this, the suitability and restriction of population distribution at the county level was graded and classified respectively, and its spatial and temporal patterns as well as regional characteristics were also revealed quantitatively. The results showed that: (1) population distribution was generally coordinated with human settlements environment in more than 3/5 of counties in China in 2010, which meant that population distribution was highly consistent with the natural suitability of human settlements environment at the county level; (2) population growth was merely not restricted by water and land resources in about half of counties in China in 2010, indicating that population distribution had medium coordination with the suitability of water and land resources; (3) population distribution was generally coordinated with social and economic development in more than 3/5 of counties in China in 2010, suggesting that population distribution was highly consistent with social and economic development; (4) the suitability degree of population distribution was larger than 60 in about 3/5 of counties in China in 2010, which showed that the relationship between population, resources, environment and development was coordinated or relatively coordinated; (5) as for the coordination between population, resources, environment and development at the county level, the eastern region was the best, the central region ranked second and the western region was the worst; (6) the suitability degree of population distribution at the county level could be identified into four grades, including basic coordination, relative coordination, under coordination and urgent need for coordination and 10 restricted classes..

Key words: population; suitability; coordination; county; China