

京津冀地区人口规模调控政策参数化 路径与系统模拟

刘小茜^{1,2}, 马 廷², 裴 韬^{2*}, 王向东^{2,3}, 杜云艳², 谢传节²

(1. 北京联合大学应用文理学院, 北京 100191; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 兰州大学管理学院, 兰州 730000)

摘 要:政策调控是实现区域社会经济均衡发展的重要手段,采用系统分析方法评估和预测政策实施效果是进行决策的重要依据。然而,当前政策制定存在目标指向性不具体、调控力度不明确、协同作用机制不清晰等问题,既阻碍了政策的有效落实,更无法开展政策实施效果分析和决策优化。其根本症结在于缺少能够量化具体的政策目标并精确指导区域管理对策的政策参数。本文提出了面向系统动力学(System Dynamic, SD)模拟的区域调控政策参数化路径。通过细化政策指标、量化政策参数和区间化调控范围等方法,将政策调控转变为系统变量形式,代入到政策交互作用的系统动力学模型中,实现对政策调控效果的模拟。本文以区域人口规模调控政策为切入点,选择京津冀地区为案例区进行实证研究。结果显示,面向系统动力学模拟的政策参数化方案很好地重现了区域人口规模政策调控过程,能有效提高调控政策实施的精确性和可操作度,并为区域调控政策的配置和优化提供理论和方法的支撑。

关键词:区域协调发展;政策参数化;人口规模调控;系统动力学模型;京津冀地区

1 引言

区域之间的空间差异和发展不均衡是中国区域可持续发展面临的重大问题(刘卫东等, 2014; 陆大道, 2015)。通过行政手段引导市场机制进行的干预与补充措施,即通过区域调控政策进行的调节和控制,是推进区域社会经济均衡发展的重要手段(陆大道, 2008)。为缩小区域发展差异、促进区域协调发展,中国各级政府相继出台和实施了一系列的区域调控政策,继西部大开发、东北振兴、中部崛起和东部率先发展等区域协调发展的重要战略之后,“十三五”规划把京津冀协同发展、长江经济带、“一带一路”纳入区域发展的国家战略。整体而言,中国区域发展政策具有许多优点,如调控目标明确、

政策措施丰富、兼顾区域内统一性和区域间差别化。然而,中国各地区自然环境基底和社会经济基础差异显著,使得整体宏观政策的适用性不强而调控能力有限,加上政策落实机制尚不完善,导致开展区域管理实践中面临多种问题(陆大道等, 1999; 刘玉等, 2003),主要表现在政策目标指向性不具体、调控力度不明确、协同作用机制不清晰、实践实施效果不明朗等方面。

分析发现,调控政策及其影响因素之间往往存在交互复杂的作用关系,只有通过系统的建模方法才能构建政策措施与系统响应之间的反馈关系,进而模拟政策的效应(Costanza et al, 2001; Li et al, 2013)。为此,本文引入了对复杂的区域发展政策问题十分有效的系统动力学(System Dynamic, SD)

收稿日期:2016-12;修订日期:2016-12。

基金项目:国家自然科学基金重大项目(41590845);中国博士后科学基金项目(2015M581160) [Foundation: Major Projects of the National Natural Science Foundation of China, No.41590845; China Postdoctoral Science Foundation, No.2015M581160]。

作者简介:刘小茜(1984-),女,博士后,主要从事系统动力学仿真和景观生态评价与规划等方面研究,E-mail: liuxq@lreis.ac.cn。

通讯作者:裴韬(1972-),男,研究员,博导,主要从事空间数据挖掘和空间信息统计等方面研究,E-mail: peit@lreis.ac.cn。

引用格式:刘小茜,马廷,裴韬,等. 2017. 京津冀地区人口规模调控政策参数化路径与系统模拟[J]. 地理科学进展, 36(1): 34-45. [Liu X Q, Ma T, Pei T, et al. 2017. Parameterization and system dynamics modeling of regional population regulation policies in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Progress in Geography, 36(1): 34-45.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.01.004

建模方法。系统动力学将区域视作一个有信息反馈与控制的系统,政策措施既是系统的输入也是要素反馈作用的结果。然而,当前政策调控目标与区域管理实践之间、政策措施与系统变化要素之间都缺乏可以相互衔接的政策参数,因而,无法将政策调控目标转化为具体可行的管理措施,也无法开展系统动力学模拟。因此,本文提出了面向系统动力学模拟的区域调控政策参数化路径,研究框架如图1所示。该研究路径的核心是将调控政策的目的、方向、力度转变为具体的、定量的、区间明确的政策参数,以一系列政策参数作为中介和依托,用于提高政策目标指向性,提升调控措施可操作性,明确政策间协同作用机制和系统评估政策实施效果。

前述区域政策调控参数化的实现,需要通过实证研究细化落实。京津冀地区人口规模调控是一个合适的实证研究对象。首先,京津冀地区协同发展是中国当前三大国家发展战略之一,策略中涉及新型城镇化建设、气候变化、产业转移、经济结构调整等多个政策层面(住房与城乡建设部规划司等, 2013),其案例研究对中国区域协同发展策略制定具有重要的启示作用。其次,作为京津冀协同发展最重要政策内容之一的人口规模调控,受到多种政策因素的共同影响(李国平等, 2009),调控过程具有复杂性和不确定性等特点,实践中面临多种挑战。因此,以人口规模调控为切入点的政策研究具有重要的理论和现实意义。本文以京津冀地区人口规模调控为例,开展区域政策调控参数化实现路径的实证研究。

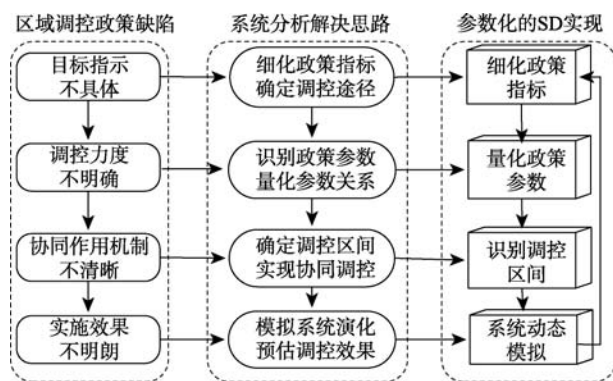


图1 区域调控政策的参数化路径研究框架

Fig.1 Framework of parameterization of coordinated regional regulatory policies

2 区域人口规模调控政策的参数化方案

2.1 区域人口规模调控政策概述

区域人口规模是区域集聚力和离散力之间的一种均衡,能集中反映区域社会经济发展的状态(Macauley, 1985; Champion, 2001; 梁昊光等, 2014)。区域人口规模变化主要源于2个方面,一是由人口出生和死亡导致的区域人口数量的自然增长;二是由人口迁入和迁出导致的区域人口数量的机械增长(Tan et al, 2016)。因此,人口规模调控就从上述2个方面入手。然而,人口数量的自然变化和机械变化受到多种因素的综合影响(王桂新等, 2014; He et al, 2016),并不能简单和直接地对其进行调控。应该结合区域人口数量变化原因,划分区域人口数量调控的政策类型,再分别分析调控政策的实现途径。

区域人口规模调控政策的调控方向和主要途径为:①人口自然增长的调控方向,调控途径主要是通过生育政策(王开泳等, 2016)、人口性别结构调整(李树茁等, 2013)等政策影响人口出生率。②乡村人口迁入城市的调控方向,调控途径主要是通过土地利用、城乡建设等政策影响乡村人口迁入城镇的速度。③城镇人口跨区域迁移的调控,包括迁入方向和迁出(疏散)方向,人口迁入方向,调控途径主要通过经济增长、产业发展等政策影响城镇对外的人口吸引力,带来人口迁入量的增加;人口疏散方向,调控途径主要通过城市功能疏散、行业结构调整等政策影响城镇人口的迁出量(李国平等, 2009)。④总体上,人口自然增长和机械增长之间存在同步演化和相互耦合的影响机制。同步演化过程中,人口的机械增长受到区域生态系统承载力的制约。调控途径通过生态用地面积、人均生态足迹和生态补偿等调控政策影响人口承载力,进而调控人口迁移政策。综上,区域人口规模的数量构成关系表示为式(1)-(4)。

$$P = P_{\text{urban}} + P_{\text{rural}} \quad (1)$$

$$P_{\text{rural}} = P_{\text{na-rural}} - P_{\text{urban-rural}} \quad (2)$$

$$P_{\text{urban}} = P_{\text{na-urban}} + P_{\text{urban-rural}}(MP) + P_{\text{migration}} \quad (3)$$

$$P_{\text{migration}} = P_{\text{immigration}}(MP) + P_{\text{outmigration}} \quad (4)$$

式中: P 表示区域总人口规模; P_{urban} 表示城镇人口规模; P_{rural} 表示乡村人口规模; $P_{\text{na-rural}}$ 表示乡村人口自然增长量; $P_{\text{urban-rural}}$ 为本地乡村迁入城市的人口数

量,即城乡人口迁移量; $P_{na-urban}$ 表示城镇人口自然增长量; $P_{migration}$ 表示城镇跨区域流动人口数量。跨区域人口迁移包括迁入和迁出(疏解)2个方向,分别表示为 $P_{immigration}$ 和 $P_{outmigration}$;MP表示人口迁移政策开放度参数,由区域人口承载力决定。跨区域人口迁入和城乡人口迁移受到该政策的约束,如式(3)-(4)所示。下文将分别分析影响区域人口规模变化的调控政策、政策参数及其量化方法。

2.2 区域人口数量调控参数的识别和量化

基于前述分析发现,政策之间、参数之间和影响因子之间存在复杂交叉联系。为此,本文对政策参数采用了分类识别和量化方法进行表述。首先,依据人口规模变化的流入流出来源,划分4个人口规模调控政策集合,每个政策集合中包含2~4种具体的政策措施即政策实施途径,每种措施运用若干政策参数来刻画。为表述清晰,文中对某些相关度高的政策参数进行了合并介绍。

2.2.1 人口自然增长调控政策

影响人口自然增长的因素包括人口的初始规模、出生率和死亡率。区域人口自然增长量的计算公式为:

$$P_{natural growth} = (B' - D') \times P \quad (5)$$

式中: $P_{natural growth}$ 表示区域总人口的自然增长量; B' 表示调控政策影响下的人口出生率, D' 表示调控政策影响下的人口死亡率,两者差值表示政策调控后的人口自然增长率; P 表示上一年的区域总人口数。乡村人口的自然增长和城镇人口的自然增长量可根据此公式分别计算。影响人口出生率(B')的因素虽然十分复杂,但可通过宏观调控政策进行干预的因素不多。一般认为,针对出生人口性别结构和生育的调控政策,对区域人口自然增长率的影响较为显著且可操作性强(李国平, 2009)。人口出生率(B')的政策调控目标计算公式为:

$$B' = B \times Child_i \times (1 - R') \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

$$R' = \left| \frac{R_m}{R_f} - \frac{105}{100} \right| \quad (R_m > R_f) \quad (7)$$

$$B = \sum C_x \times f_x \quad (8)$$

式(6)中: B 为人口出生率的初始值; $Child_i$ 为生育政策,一孩政策时等于1,二孩政策时则等于2。式(7)中: R' 表示区域人口性别比指数的调控目标,等于男性人口(R_m)与女性人口(R_f)的比值距离自然状态的差距。 R' 的值越接近于0,则表示出生人口的性别比越接近于自然状态;值越大表示性别比脱离均衡

范围越多,则人口的出生率越低。理论上自然状态下的人口男女性别比例应在104:100至106:100的范围内(徐毅等, 1991),本文设定为105:100。未来调控政策的方向是去掉“人工干预迹象”平衡状态,使性别比回归(李树苗等, 2013)。式(8)中:人口出生率 B 受到总人口的年龄结构(C_x)和年龄别生育率(f_x)的共同影响。

人口的年龄结构(C_x)还影响人口死亡率(D)。近年来,中国人口老龄化问题日趋严峻,表现为老年人口的数量比例不断上升。老龄化问题不仅存在区域之间和城乡之间的差异(王录仓等, 2016),而且其对人口出生率、死亡率、人口迁移效率、劳动力供给等方面也有复杂交错的影响(胡鞍钢, 2012; 文先明等, 2015),参数化难度非常大。考虑到可行性,本文暂不分析年龄结构对区域劳动力市场和经济增长的复杂反馈作用,只讨论年龄结构对人口出生率和死亡率的影响。通常,65岁以上老年人口系数($C_{>65}$)越高,人口出生率越低,而死亡率越高(袁小平等, 2014)。人口年龄结构影响下人口死亡率(D')的计算公式为:

$$D' = (\beta \times e^{C_{>65}' - C_{>65}}) + D \quad (9)$$

式中: $C_{>65}$ 表示初始时期区域65岁以上老年人口系数; $C_{>65}'$ 表示政策调整后的65岁以上老年人口系数; β 表示常数调整系数。对年龄结构的政策调控主要是通过调整生育政策改变新出生人口数量,或通过延迟退休年龄改变劳动力人口构成等方式实现。

2.2.2 城乡人口迁移调控政策

城镇化是内涵丰富的多维过程,包括人口城镇化、产业非农化过程和土地城镇化等过程。其中,城乡人口迁移,即乡村人口向城镇的流动是城镇化进程最显著的表现之一,也是城镇人口机械增长主要来源。人口的城镇化也伴随着城镇建设用地面积的扩张,即土地城镇化(边雪等, 2013)。土地城镇化率与人口增长率的协调关系是中国当前城镇化过程中需要关注的问题之一(沈体雁, 2006),也影响了城乡人口流动的规模。

(1) 人口城镇化调控政策

乡村人口迁入城市,即人口城镇化,是中国城镇化过程中最显著的人口流动方式。以 $P_{urban-rural}$ 表示城镇人口数量的变化值,则有:

$$P_{urban-rural} = \mu \times P_{rural} \quad (10)$$

式中: μ 表示城乡人口迁移速率; P_{rural} 表示当前乡村

人口数。城乡人口的迁移主要由城乡之间经济、文化和环境方面的差异引起的,与区域经济发展速度、农业发展水平、农村建设水平等存在非线性关系。但整体上城乡人口迁移速率 μ 较为稳定,政策调控目标可在系统中用常数变量表示。 μ 值介于0~1之间,取值高低表示对人口城镇化的政策调控的方向和力度,高值表示鼓励乡村人口迁入城市,低值表示引导乡村劳动力就地转化。

(2) 土地城镇化调控政策

建设用地的扩张,即土地城镇化过程,主要有2种来源:一是新增城镇人口迁入城市所产生的建设用地需求;二是城镇居民对更大生存空间的需求驱动建设用地沿建成区边界的扩张(Tan et al, 2016)。新增建设用地面积的计算公式如下:

$$A_{\text{urban}}^+ = (P_{\text{urban}}^+ \times au) + (A_{\text{urban}} \times V) \quad (11)$$

式中: A_{urban}^+ 为新增建设用地面积; A_{urban} 为上一模拟时期建设用地面积; P_{urban}^+ 为新增城镇人口; au 为人均建设用地面积,两者乘积表示规划的新增建设用地面积; V 为建设用地扩张速率。建设用地扩张速率(V)可作为系统中的常数变量,值介于0~1之间,高值表示粗放型的建设用地管理策略,低值表示集约型管理策略。参数取值根据历史年份的年度土地类型变化数据进行估算,预期值根据土地规划中的建设用地面积数据进行换算得到。对土地城镇化的调控,既需要结合居民需求适度配置人均建设用地面积规划指标,也需要从土地资源管理上进行建设用地的调控和监管,如加强土地的集约利用和开展土地整理等。

2.2.3 城镇人口跨区域迁移调控政策

区域之间社会经济不平衡,驱动人口向经济增长快或劳动力需求大的城镇迁移。例如,城市产业结构的升级和调整会影响劳动力市场,改变劳动力人口的迁移方向和迁移数量。此外,交通等基础设施的建设影响人们的出行意愿,对人口在区域之间的迁移效率产生影响。

(1) 区域GDP增长调控政策

国民生产总值(GDP)的增长速率体现决策者对区域经济发展的整体预期,同时也是进行国民经济各产业、各行业经济规划的基础。本文中GDP增长速度调控是运用市场手段进行人口规模调控政策的一项前提条件。假设GDP的年增长率为 λ ,则有下一年度的GDP预期值(GDP')为:

$$GDP' = (1 + \lambda) \times GDP \quad (12)$$

(2) 产业结构调整政策

通过调整三大产业的产值结构和生产效率,可实现区域产业升级和转型,也会对区域劳动力市场的供需结构产生影响。产业结构调整后的就业人口数变化量(ΔL_i)的计算公式为:

$$\Delta L_i = \Delta X_i \times T_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (13)$$

式中: i 表示产业/行业类型,这里指三次产业类型; T_i 为单位产品的劳动消耗系数,也称活劳动(行业实际就业人口)系数,其倒数($1/T_i$)表示单位劳动的产出效率; ΔX_i 表示产业结构调整后单个产业产值变化量。 T_i 和 ΔX_i 的计算公式如下:

$$T_i = \frac{L_i}{X_i} \quad (14)$$

$$\Delta X_i = GDP' \times U_i' - GDP \times U_i \quad (15)$$

式中: L_i 为*i*产业/行业的年就业人口数; X_i 为对应年*i*产业的生产总值; U_i 和 U_i' 分别为政策调整前和调整后的*i*产业GDP产值比,假设初始状态中,区域三次产业GDP产值比为 $U_1:U_2:U_3$,调整后为 $U_1':U_2':U_3'$,则有 $U_1+U_2+U_3=U_1'+U_2'+U_3'=1$ 。区域总体的新增劳动力需求等于3个产业劳动力需求的和。在劳动力市场开放的前提下,这些需求就会以流动人口的方式迁入城镇,形成人口跨区域的迁移,即

$$P_{\text{immigration}} = \sum \Delta L_{1,2,3} \quad \circ$$

(3) 行业产值疏解政策

城市功能疏解的调控政策,主要指通过运用城市产业/行业的产值结构调整等市场调节手段,实现疏解城镇人口数量的政策。当前中国很多大城市存在人口密度过大、交通拥挤和环境污染等问题,其原因归根结底是区域产业结构失衡所致(李培等, 2007; 封志明等, 2013)。通过产业疏解带动城市人口疏解是解决人口过度膨胀问题的重要途径(李国平等, 2009)。本文采用了王继源等(2015)提出的区域劳动力疏解量计算方法,其计算公式为:

$$\sum_{i=1}^n \Delta L_i = \sum_{i=1}^n \Delta x_i \times t_i \times \vec{Q}_i \quad (16)$$

式中: $\sum_{i=1}^n \Delta L_i$ 表示所有行业产值调整后的就业人口疏解量; ΔL_i 表示*i*行业产值调整带来的劳动力变化量; Δx_i 表示*i*行业调整后的产值变化量; t_i 表示*i*行业单位产值消耗的劳动力系数; \vec{Q} 表示*i*行业活劳动转换系数,用于衡量某一产业劳动消耗中活劳动所占比例。为计算产业疏解的就业人口数量,需要依次开展以下几步准备工作。

第一步,建立区域投入产出表,其主要目的是

建立区域内各部门各行业的总产出和总使用的平衡关系(邵汉青, 1982),为后期行业产值和就业人口核算做准备。在投入产出表中横向按照行业统计,纵向按部门统计,其主要平衡关系用公式(17)表示。

$$X_i + IM_i + FU_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + Y_i \quad (17)$$

式中:行业内部产出(X_i)、行业进口(IM_i)、调入(FU_i)之和为总产出; $\sum_{j=1}^n x_{ij}$ 表示部门之间相互联系带来的中间使用,而 Y_i 表示最终使用,两者之和为总使用。

第二步,计算行业自给率系数,公式为:

$$g_i = \frac{X_i}{X_i + IM_i + FU_i} \quad (18)$$

式中: g_i 为行业自给率。行业自给率是筛选疏解行业类型的判断依据之一。一般选择自给率低、与其他行业联系不紧密的非主导型行业优先疏解。以北京市为例,京津冀一体化过程中,批发零售业和制造业是北京市直接转移进行功能疏解的重要抓手(王继源等, 2015)。

第三步,筛选行业,生成行业产值疏解系数矩阵 A ,计算公式为:

$$A = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, \dots, a_n] \quad (n=24) \quad (19)$$

式中: A 表示由城市所有行业产值疏解系数构成的矩阵,也是区域功能疏解方案的集中体现; a_i 表示 i 行业产值疏解系数,范围介于0~1之间。当 $a_i=1$ 时,表示行业产值完全疏解到乡村或其他地区; $a_i=0$ 表示产值不发生变化; n 表示行业门类,依据国家统计局公布的《国民经济行业分类》(GB/T 4754-2011),包括24个主要行业。

第四步,根据行业产值疏解系数计算行业产值的变化量 Δx_i ,如式(20)。再根据行业单位劳动消耗系数计算潜在的就业人口变化量,计算方法见式(13)。

$$\Delta x_i = a_i \times X_i \quad (20)$$

第五步,计算活劳动转化系数。 L_i 表示的是所有潜在的就业人口数量。要分部门、分行业计算实际所需的从业人口数量,则需要通过活劳动转换系数进行转换。分部门的计算方法如式(21):

$$\vec{Q}_j = \frac{(X_j T_j - \sum_{i=1}^n x_{ij} T_i)}{X_j T_j} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (21)$$

式中: \vec{Q}_j 表示 j 部门对应的活劳动转换系数; X_j 为 j

部门的年生产总值; $\sum_{i=1}^n x_{ij} T_i$ 是依据 j 部门中产品生产经过不同行业/阶段(i)而产生的内部使用劳动消耗; $X_j T_j$ 则表示 j 部门的完全劳动消耗。两者之差就可计算出 j 部门实际所需的劳动力数量,即活劳动数量。

最后,依据式(16)计算各部门的行业产值调整后的就业人口疏解量(Δl_i)。该疏解量指示了行业结构调整带来的最大城镇人口迁出量。行业产值疏解系数矩阵(A)中,行业筛选和调整系数的确定是调控政策的主要内容。

(4) 交通一体化政策

交通一体化政策的目标是实现区域内社会、人口和经济活动的连通,是推进区域经济一体化的重要空间依托(刘生龙等, 2011)。交通一体化对城市土地扩张以及城市人口流动的影响是双方面的(焦利民等, 2016),既能缩小中心城区交通通勤时间,提升乡村及周边地区的人口向城镇的迁移意愿,加速城市扩张和城镇流动人口增加(湛东升等, 2013);也会增加中心城区向周边地区的城市功能疏解效率,加快人口疏解目标的实现。当前在中国多数大城市地区,交通通达性产生的人口空间集聚作用仍占主导(孙铁山等, 2009)。由此得到交通一体化对区域人口流动的影响,用公式表示为:

$$P_{\text{immigration}} = \sum \Delta L_{1,2,3} \times RI \quad (22)$$

式中: $P_{\text{immigration}}$ 表示从外界迁入的新增城镇流动人口; $\sum \Delta L_{1,2,3}$ 表示三大产业劳动力需求变化量之和; RI 表示区域的交通一体化水平,计算方法如式(23),其数值综合反映了区域人均道路面积的整体水平和空间均衡度。

$$RI = \sum_i \left(\frac{\bar{d}_i}{\sum_j \sqrt{(d_{ij} - \bar{d}_i)^2}} \right) \times a_i \quad (d_{ij} \neq \bar{d}) \quad (23)$$

$$d_{ij} = \frac{S_{ij}}{P_j} \quad (24)$$

式中: j 表示不同行政单元或者城市圈层; i 表示道路类型,包括不同级别的公路、铁路和高铁线路等; a_i 表示 i 类道路的重要性权重,所有类型道路的权重和为1; d_{ij} 表示 i 类道路在 j 圈层的人均道路面积; \bar{d}_i 表示全区域 i 类道路的人均道路面积;人均道路面积(d_{ij})等于 i 类道路在 j 区域的面积(S_{ij})和该区域总人口数(P_j)的比值。如果不划分圈层也不考虑道路类型的权重差异,则 RI 等于不同类型人均道路面积

之和。提高交通一体化水平的调控措施包括提高道路建设面积、减少区域内部道路设施的空间分布不均衡等。交通一体化政策调控目标的参数值可依据公式结合相关道路规划建设面积推算。

2.2.4 基于承载力的人口迁移调控政策

区域人口规模的增长受到区域生态系统承载力的制约,政策上调控的主要方式是通过改变人口迁移政策开放度来影响流动人口迁移量。生态系统承载力包括多种类型,例如水资源、能源资源、土地资源和生物资源等。本文以土地资源的人口承载力为例,阐述承载力调控政策对人口规模的影响机制,探讨了生态补偿、生态用地恢复和生态足迹等管理政策的参数化方法。

(1) 人口承载力调控政策

人口承载力(N_c)是指区域生态环境承载力约束下的人口最大容量,等于生态承载力(BC)与人均生态足迹(Ecological Footprint, ef)的比值。计算公式如下:

$$N_c = \frac{BC}{ef} \quad (25)$$

基于土地资源的生态承载力的计算公式为:

$$BC = A_{ecoland} \times YF \times EQF \quad (26)$$

式中:生态承载力(BC)等于生产性土地面积($A_{ecoland}$)、产量因子(Yield Factor, YF)和一般均衡因子(Equivalence Factor, EQF)的乘积。产量因子是指单位面积生产性土地的生产能力,确定依据是该种土地类型对应的资源的产量,例如耕地对应生物物质资源,水域对应水资源等。一般均衡因子是区域不同类型的生产性土地面积转化为全球一般生产性土地面积的因子(Li et al, 2016)。式(26)中,生产性土地类型统一用生态用地($A_{ecoland}$)来表述,因而其对应的产量因子和均衡因子体现的是区域平均值,生产性土地的细分类型包括耕地、草地、水域、林地、建设用地和化石燃料用地等。进行承载力调控的主要途径包括通过提高区域整体生态环境质量或调整区域土地类型的空间结构,提高区域生产性土地的产量因子和均衡因子,以及增加生态用地面积等措施(吴燕等, 2011)。

(2) 人均生态足迹调控政策

生态足迹等于人类为了维持自身生存和发展而消耗的资源 and 排放的废弃物所需要的生物生产性土地的面积(Li et al, 2016)。人均生态足迹(ef)则体现了一定区域内居民的生活方式对生态系统的影响程度。计算公式为:

$$ef = \sum \frac{C_i}{P_i} \quad (27)$$

式中: C_i 表示人均消耗 i 产品的数量; P_i 表示在该区域生产性土地所能生产 i 产品的效率。通过调整居民生活方式,比如提倡资源节约利用和循环利用,可以降低生态足迹,从而提高区域生态系统的人口承载力。

(3) 生态补偿政策

生态补偿是以经济手段为主,以修复、重建和恢复生态系统服务功能为目的的政策机制。生态补偿覆盖度指数(EC)用于表征区域生态补偿政策实施的力度,计算公式如下:

$$EC = \frac{EP}{Cost} \quad (28)$$

式中: EP 为实际发生支付的生态补偿价值量,以货币为单位; $Cost$ 为保护或修复生态系统服务功能所需要付出的总货币成本。可根据研究区域特点,判断关键的生态资源和生态系统服务功能,估算区域生态补偿的成本。假设生态补偿用于生态用地的恢复和重建,其生态用地的恢复速率计算公式为:

$$V_{recovery} = EC \times v \quad (29)$$

式中: $V_{recovery}$ 表示生态用地恢复速率; EC 为生态补偿覆盖度指数; v 为理想状态下的生态用地年增长率。 v 的含义是生态补偿投资到实际产生的生态效益(用新增生态用地的面积表示)的转化率,与相关政策效率及生态系统恢复力有关,在一定时期内可以视作常数。据此,新增生态用地的面积计算公式表示为:

$$A_{ecoland}^+ = A_{degradation} \times V_{recovery} \quad (30)$$

式中: $A_{ecoland}^+$ 表示新增的生态用地面积,源自对退化土地($A_{degradation}$)的修复。通过实施生态补偿政策可以调控生态用地面积的变化速度,进而影响区域生态承载力,参见式(24)。

(4) 人口迁移政策

人口迁移政策是总体上约束城镇人口过度增长的一种调控政策,该政策是否开放取决于区域人口规模与人口承载力的对比关系。

$$\begin{aligned} MP &= 0 & (P \geq N_c) \\ MP &= 1 & (P < N_c) \end{aligned} \quad (31)$$

式中: MP 为人口迁移政策开放度参数,数值为二元型(0或1); P 为区域总人口规模; N_c 为区域人口承载力。当区域人口规模小于人口承载力时, MP 值等于1,表示政策状态为开放,即允许外界人口及乡村人口迁入城镇;反之则表示政策关闭。人口迁移政

策对2类人口流动起约束作用,一类是本地乡村人口向城镇的迁入,另一类是经济增长驱动下的城镇人口跨区域迁入,当政策关闭时,2种迁入城镇的人口流动都被政策性停止,参见式(3)。

3 京津冀地区人口规模调控的参数化操作

3.1 政策参数调控区间识别

人口规模调控是京津冀协同发展的一项重要内容,涉及人口、土地、经济等多层面的调控政策。本文选择关注度高、参数调控区间较大、对系统影响较显著的政策进行参数化并赋值。按照系统建模中政策参数及其因子的相互联系程度,将政策参数划分为5类16个指标,其对应参数名称、符号、初始值、公式编号、单位、调控区间和赋值依据如表1所示。5类政策包括人口自然增长调控政策、城镇化与建设用地扩张调控政策、产业结构调整政策、行业疏解政策及生态承载力调控政策。政策参数的初始值依据2005年京津冀地区的相关数据得到,部分缺失数据采用多年历史平均值代替。在政策

参数调控区间识别中,综合考虑了研究区各级行政单元的相关指标的历史年份的数据、部门规划数据,以及国家政策、国际标准和相关法规与标准等资料,并结合相关学者研究结果最终确定了参数调控的最高值和最低值。区域统计数据来源于2005-2015年京津冀地区各级行政单元的《社会经济统计年鉴》《城市统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》和相关的政府统计公报。

3.2 系统动力学模型设计

本文采用 VENSIM 软件的系统建模环境,构建京津冀人口规模调控政策的系统动力学模型(图2)。模型模拟了乡村人口、城镇人口、流动人口在京津冀协同发展政策下的数量变化趋势。模型中涉及的主要调控政策如图2中绿色梭形方块所示,包括:人口自然增长调控政策、城镇化与建设用地扩张政策、产业结构调整政策、行业疏解政策和生态承载力调控政策等。图2中用蓝色矩形框标注了京津冀地区人口规模调控涉及的主要政策参数,主要参数名称见表1。

3.3 模型的实现与检验

模型中人口、GDP、土地面积等存量数据的初

表1 政策参数含义及调控区间表
Tab.1 Parameter of policies and its regulation interval

政策类别	参数名称	符号	初始值	对应公式	调控区间	数据来源/参考文献
人口自然增长调控政策	人口出生率	B	11.5‰	式(5)	6‰~15‰	区域统计数据
	人口死亡率	D	6‰	式(5)	4.5‰~9.1‰	区域统计数据
	生育政策	$Child_i$	1	式(6)	1, 2, 3	国家政策
	性别比例	R'	1.13	式(7)	1.04~1.35	区域统计数据
	65岁以上老年人口系数	$C_{>65}$	7.8%	式(9)	7.8%~22.0%	(袁小平等, 2014; 文先明等, 2015)
城镇化与建设用地扩张政策	城乡人口迁移速率	μ	0.025	式(10)	0.01~0.05	(叶裕民等, 2008)
	土地城镇化速率	V	0.008	式(11)	0.001~0.028	(匡文慧等, 2011; 刘翠玲等, 2015)
	人均建设用地面积	au	105 m ² /人	式(11)	92~200 m ² /人	京津冀城镇群协调发展规划(2008-2020)
产业结构调整政策	GDP增长速率	u	6%	式(14)	4%~16%	区域统计数据
	一二三产业产值比重	U	0.08、0.45、0.47	式(14)	0.06~0.2、0.3~0.6、0.4~0.8	区域统计数据
	一二三产业单位劳动产出效率	$1/T$	0.93、6.28、5.53 万元/人	式(12)	0.9~3、6~13、5~12 万元/人	区域统计数据
行业疏解政策	行业产值调整系数	Δx	10%	式(18)	5%~30%	(王继源等, 2015)
	人均公路道路面积	d	10.55 m ² /人	式(23)	10~20 m ² /人	京津冀城镇群协调发展规划(2008-2020)
生态承载力调控政策	均衡因子	EQF	2.525	式(25)	0.5~2.8	(许月卿, 2007)
	人均生态足迹	ef	2.025 gha/人	式(26)	1.7~5.0 gha/人	(胡孟春等, 2003; 吴燕等, 2011; 杜悦悦等, 2016)
	生态补偿覆盖度	EC	0.05	式(27)	0~1	(张贵等, 2016)

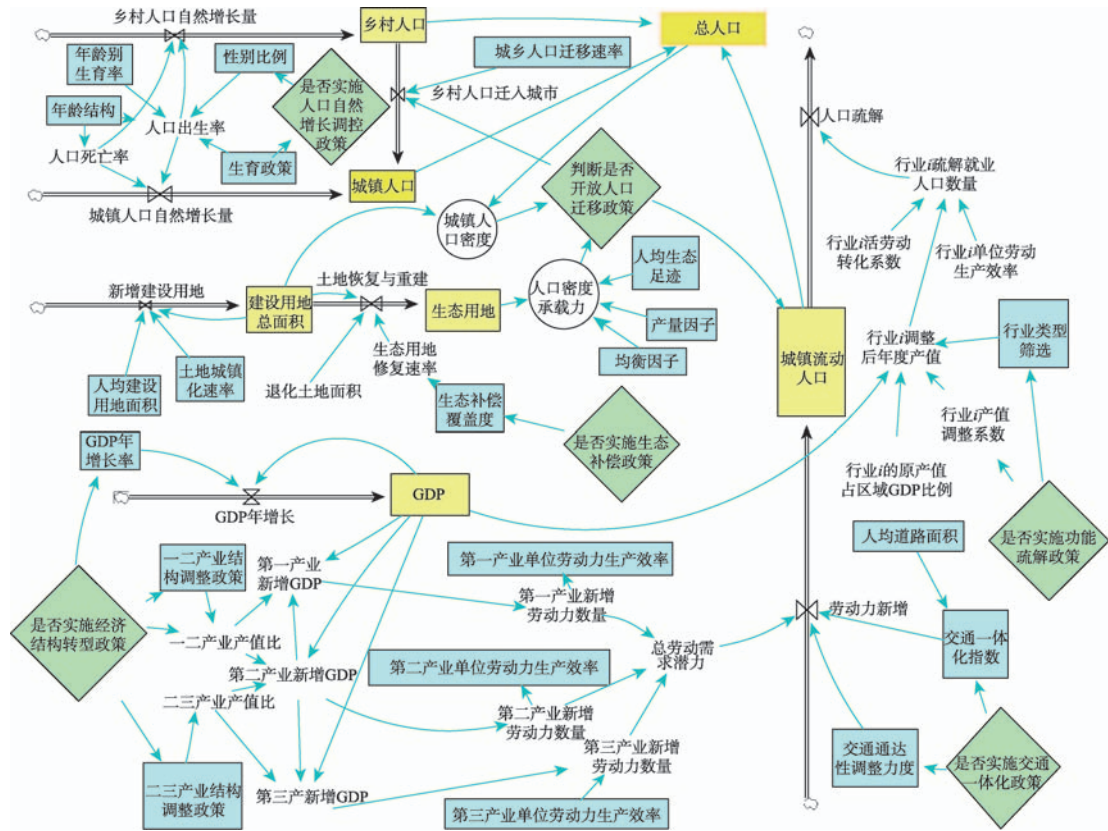


图2 VENSIM软件中构建的系统动力学模型

Fig.2 System dynamic model structure in VENSIM

始值以研究区2005年相关数据为依据,变量赋值参考了区域多年历史平均值或相关文献研究结果。研究对模拟结果进行了量纲检验和数值检验。借助VENSIM软件本身的功能对耦合模型检验发现,耦合模型方程式未见错误,量纲一致性检验通过,验证模型可行。2005-2015年统计数据为真实值,用其对模型模拟结果进行数值检验。从人口数量模拟结果看(图3),总人口规模的误差较小,对人口趋势模拟精度较好。2015年城镇人口的统计值和模拟预测值分别为6749万和6422万,乡村人口的数据则为4302万和4135万,总体误差可控制在5%范围内。验证模型有效可行。

3.4 模拟结果

主要模拟结果如下:①总人口整体规模变化看,随着城镇化过程的推进,乡村人口数量持续减少,城镇人口总数量和城镇人口密度仍然呈缓慢上升趋势。预期2022年区域总人口将超过1.2亿,到2045年将超过1.5亿。②从人口跨区域迁移量的变化趋势看,在未来20年内,随着首都功能疏解政策的发酵,城镇新增流动人口数量逐渐减少,总人口

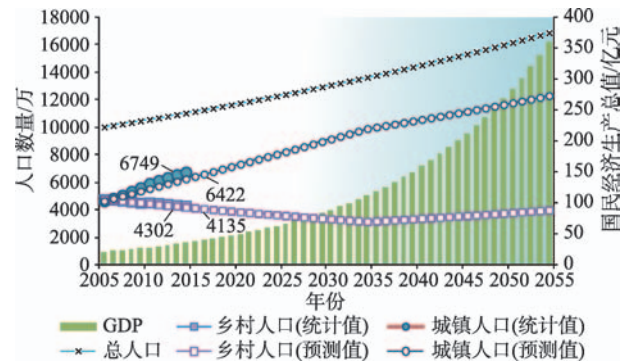


图3 京津冀人口调控系统动力学模型输出结果

Fig.3 Simulation result of system dynamic model of population regulation and control in the Beijing-Tianjin-Hebei region

规模增速放缓。整体上,产业疏解带来的人口规模调控作用有限,产业结构调整和产业生产率提高对新增就业人口的影响更加明显。③生态承载力调控政策作用略显滞后。在仅考虑土地资源承载力的前提下,通过推动生态补偿和加快生态系统恢复与重建,区域整体的生态环境承载力缓慢提升,使

得人口迁移政策保持开放。2035年后,区域人口总数超过区域人口承载力,人口迁移政策关闭,但带来的人口数量变化并不明显。区域需要提前开展更为严格的人口规模调控来避免城镇人口的过快膨胀。以上分析表明,通过将区域管理政策参数化,可有效地支撑多要素耦合的、复杂的系统动力学建模,为系统分析和精确的模拟多种调控政策交互影响下的区域发展趋势提供了解决方法。

4 结论与展望

本文通过分析当前区域政策调控实践中存在的问题,提出了一个集成系统动力学方法的区域政策调控参数化解决方案。在此基础上,选择京津冀地区人口规模调控政策进行应用和示范,构建了系统动力学模型进行模拟,并取得了较好的模拟效果。结果表明:①通过细化政策指标、量化政策参数、识别调控区间和进行系统动力学建模的途径逐步实现参数化的研究方案,弥补了当前调控政策制定和实施中的不足,能指导更加具体、可行和有效的政策管理实践。②案例区系统动力学模拟结果显示,模型对区域城乡人口的规模和变化趋势的模拟效果较好,能有效地反演人口规模变化的影响机制,证明当前的调控政策参数化方案可以完整重现案例区人口调控政策过程。并显示,人口迁移类政策的调控作用有限,提高区域人口承载力才是根本途径。③区间化的政策参数调控操作方法提高了政策模拟的敏感度,可实现政策情景的构建,进而为京津冀协同发展策略优化提供模型和方法的支持。案例中构建的系统动力学模型可经过调试用于其他区域的人口规模调控研究,参数化方案对指导其他类型的区域协同发展政策实践具有借鉴意义。

为进一步深化区域调控政策的参数化研究途径,还需从以下3点寻求突破:①目前研究未考虑政策的时效性,即政策调控目标和调控力度随时间变化的过程,未来需研发不同类型政策的实施过程函数,以此降低政策效应评估的不确定性。②亟需加强对政策实施的空间异质性和要素之间异步演化等特征的分析。现有的政策参数将区域视为一个空间均质体,忽略了政策在不同空间的差异性和区域内部的要素流动,从而降低了对空间管理类调控政策的分析精度,如土地利用结构、生态功能区划、

区域内人口迁移政策等。未来将探索完善区域发展的空间规划政策,将研究尺度细化到省、市、县级等范围上,探索多区域、多尺度的协同发展政策的参数化途径。③亟需加强参数化方案在可持续性管理政策优化方面的应用拓展。政策参数化后的主要应用前景是开展多种调控政策情景分析和动态模拟,因此需要补充相关学者、政府决策者、企业、非政府组织等利益相关者的决策偏好信息,搜集区域管理实践记录和历史经验,总结并提炼出决策知识,用于政策情景评价和筛选,寻求综合利益最大化的调控政策方案,最终为优化区域发展决策提供科学依据。

参考文献(References)

- 边雪, 陈昊宇, 曹广忠. 2013. 基于人口、产业和用地结构关系的城镇化模式类型及演进特征: 以长三角地区为例[J]. 地理研究, 32(12): 2281-2291. [Bian X, Chen H Y, Cao G Z. Patterns of regional urbanization and its implications: An empirical study of the Yangtze River Delta region[J]. Geographical Research, 32(12): 2281-2291.]
- 杜悦悦, 彭建, 高阳, 等. 2016. 基于三维生态足迹的京津冀城市群自然资本可持续利用分析[J]. 地理科学进展, 35(10): 1186-1196. [Du Y Y, Peng J, Gao Y, et al. 2016. Sustainability evaluation of natural capital utilization based on a three-dimensional ecological footprint model: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region[J]. Progress in Geography, 35(10): 1186-1196.]
- 封志明, 杨玲, 杨艳昭, 等. 2013. 京津冀都市圈人口集聚过程与空间格局分析[J]. 地球信息科学学报, 15(1): 11-18. [Feng Z M, Yang L, Yang Y Z, et al. 2013. The process of population agglomeration/shrinking and changes in spatial pattern in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region[J]. Journal of Geo-information Science, 15(1): 11-18.]
- 胡鞍钢, 刘生龙, 马振国. 2012. 人口老龄化、人口增长与经济增长: 来自中国省际面板数据的实证证据[J]. 人口研究, 36(3): 14-26. [Hu A G, Liu S L, Ma Z G. 2012. Population aging, population growth and economic growth: Evidence from China's provincial panel data[J]. Population Research, 36(3): 14-26.]
- 胡孟春, 张永春, 缪旭波, 等. 2003. 张家口市坝上地区生态足迹初步研究[J]. 应用生态学报, 14(2): 317-320. [Hu M C, Zhang Y C, Miao X B, et al. 2003. Preliminary study on ecological footprint in Bashang region of Zhangjiakou City[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 14(2): 317-320.]

- 焦利民, 唐欣, 刘小平. 2016. 城市群视角下空间联系与城市扩张的关联分析[J]. 地理科学进展, 35(10): 1177-1185. [Jiao L M, Tang X, Liu X P. 2016. Spatial linkage and urban expansion: An urban agglomeration perspective[J]. Progress in Geography, 35(10): 1177-1185.]
- 匡文慧, 刘纪远, 邵全琴, 等. 2011. 区域尺度城市增长时空动态模型及其应用[J]. 地理学报, 66(2): 178-188. [Kuang W H, Liu J J, Shao Q Q, et al. 2011. Dynamic urban growth model at regional scale and its application[J]. Acta Geographica Sinica, 66(2): 178-188.]
- 李国平, 陈秀欣. 2009. 京津冀都市圈人口增长特征及其解释[J]. 地理研究, 28(1): 191-202. [Li G P, Chen X X. 2009. Empirical research on influencing factors on population growth of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region [J]. Geographical Research, 28(1): 191-202.]
- 李培, 邓慧慧. 2007. 京津冀地区人口迁移特征及其影响因素分析[J]. 人口与经济, (6): 59-63. [Li P, Deng H H. 2007. The characteristics and influence factors of migration in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Population & Economics, (6): 59-63.]
- 李树苗, 果臻. 2013. 当代中国人口性别结构的演变[J]. 中国人口科学, (2): 11-20. [Li S Z, Guo Z. 2013. Dynamics of the population sex structure in contemporary China[J]. Chinese Journal of Population Science, (2): 11-20.]
- 梁昊光, 刘彦随. 2014. 北京市人口时空变化与情景预测研究[J]. 地理学报, 69(10): 1487-1495. [Liang H G, Liu Y S. 2014. Study on spatio-temporal change and simulation of population in Beijing based on census data[J]. Acta Geographica Sinica, 69(10): 1487-1495.]
- 刘翠玲, 龙瀛. 2015. 京津冀地区城镇空间扩张模拟与分析[J]. 地理科学进展, 34(2): 217-228. [Liu C L, Long Y. 2015. Urban expansion simulation and analysis in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Progress in Geography, 34(2): 217-228.]
- 刘生龙, 胡鞍钢. 2011. 交通基础设施与中国区域经济一体化[J]. 经济研究, (3): 72-82. [Liu S L, Hu A G. 2011. Transportation infrastructure and regional economic integration in China[J]. Economic Research Journal, (3): 72-82.]
- 刘卫东, 龙花楼, 张林秀, 等. 2014. 2013 中国区域发展报告: 转型视角下的中国区域发展态势[M]. 北京: 商务印书馆. [Liu W D, Long H L, Zhang L X, et al. 2014. 2013 Zhongguo quyu fazhan baogao: Zhuanxing shijiaoxia de Zhongguo quyu fazhan taishi[M]. Beijing, China: The Commercial Press.]
- 刘玉, 刘毅. 2003. 区域政策的调控效应分析: 以我国财政转移支付制度为例[J]. 地理研究, 22(2): 192-200. [Liu Y, Liu Y. 2003. On the regulating efficiency of regional policy: A case study of Chinese fiscal shift system[J]. Geographical Research, 22(2): 192-200.]
- 陆大道. 2008. 我国区域发展的战略、态势及京津冀协调发展分析[J]. 北京社会科学, (6): 4-7. [Lu D D. 2008. The regional developing strategy, tendency and the development of Jing-Jin-Ji[J]. Social Science of Beijing, (6): 4-7.]
- 陆大道. 2015. 京津冀城市群功能定位及协同发展[J]. 地理科学进展, 34(3): 265-270. [Lu D D. 2015. Function orientation and coordinating development of subregions within the Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration[J]. Progress in Geography, 34(3): 265-270.]
- 陆大道, 刘毅, 樊杰. 1999. 我国区域政策实施效果与区域发展的基本态势[J]. 地理学报, 54(6): 496-508. [Lu D D, Liu Y, Fan J. 1999. The regional policy effects and regional development states in China[J]. Acta Geographica Sinica, 54(6): 496-508.]
- 邵汉青. 1982. 投入产出法的原理与应用[J]. 计划经济研究, (23): 2-24. [Shao H Q. 1982. Touru chanchufa de yuanli yu yingyong[J]. Macroeconomics, (23): 2-24.]
- 沈体雁. 2006. CGE 与 GIS 集成的中国城市增长情景模拟框架研究[J]. 地球科学进展, 21(11): 1153-1163. [Shen T Y. 2006. China urban future simulation: An integrated framework of CGE and GIS[J]. Advances in Earth Science, 21(11): 1153-1163.]
- 孙铁山, 李国平, 卢明华. 2009. 京津冀都市圈人口集聚与扩散及其影响因素: 基于区域密度函数的实证研究[J]. 地理学报, 64(8): 956-966. [Sun T S, Li G P, Lu M H. 2009. Concentration and decentralization of population in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region and its determinants: A regional density function approach[J]. Acta Geographica Sinica, 64(8): 956-966.]
- 王桂新, 黄祖宇. 2014. 中国城市人口增长来源构成及其对城市化的贡献: 1991-2010[J]. 中国人口科学, (2): 2-16. [Wang G X, Huang Z Y. 2014. The growth composition of urban population in China and its contribution to urbanization: 1991-2010[J]. Chinese Journal of Population Science, (2): 2-16.]
- 王继源, 陈璋, 胡国良. 2015. 京津冀协同发展下北京市人口调控: 产业疏解带动人口疏解[J]. 中国人口·资源与环境, 25(10): 111-117. [Wang J Y, Chen Z, Hu G L. 2015.

- Beijing population control under Beijing-Tianjin-Hebei-coordinated development: Population distributing by industrial transfer[J]. *China Population, Resources and Environment*, 25(10): 111-117.]
- 王开泳, 丁俊, 王甫园. 2016. 全面二孩政策对中国人口结构及区域人口空间格局的影响[J]. *地理科学进展*, 35(11): 1305-1316. [Wang K Y, Ding J, Wang F Y. 2016. Influence of the implementation of the universal two-child policy on demographic structure and population spatial distribution in China[J]. *Progress in Geography*, 35(11): 1305-1316.]
- 王录仓, 武荣伟, 刘海猛, 等. 2016. 县域尺度下中国人口老龄化的空间格局与区域差异[J]. *地理科学进展*, 35(8): 921-931. [Wang L C, Wu R W, Liu H M, et al. 2016. Spatial patterns and regional differences of population ageing in China based on the county scale[J]. *Progress in Geography*, 35(8): 921-931.]
- 文先明, 钱秋兰, 熊鹰. 2015. 人口年龄结构变化对我国城镇化发展的影响[J]. *经济地理*, 35(8): 83-88. [Wen X M, Qian Q L, Xiong Y. 2015. Influence on urbanization by population age structure[J]. *Economic Geography*, 35(8): 83-88.]
- 吴燕, 王效科, 逯非. 2011. 北京市居民食物消耗生态足迹和水足迹[J]. *资源科学*, 33(6): 1145-1152. [Wu Y, Wang X K, Lu F. 2011. Ecological footprint and water footprint of food consumption in Beijing[J]. *Resources Science*, 33(6): 1145-1152.]
- 徐毅, 郭维明. 1991. 中国出生性别比的现状及有关问题的探讨[J]. *人口与经济*, (5): 9-12, 54. [Xu Y, Guo W M. 1991. Zhongguo chusheng xingbiebi de xianzhuang ji youguan wenti de tantao[J]. *Population and Economics*, (5): 9-12, 54.]
- 许月卿. 2007. 基于生态足迹的北京市土地生态承载力评价[J]. *资源科学*, 29(5): 37-42. [Xu Y Q. 2007. Evaluation of ecological carrying capacity based on ecological footprint model in Beijing[J]. *Resources Science*, 29(5): 37-42.]
- 叶裕民, 李彦军, 倪稷. 2008. 京津冀都市圈人口流动与跨区域统筹城乡发展[J]. *中国人口科学*, (2): 57-64. [Ye Y M, Li Y J, Ni K. 2008. The migration within Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan area and integrated development in urban and rural areas[J]. *Chinese Journal of Population Science*, (2): 57-64.]
- 袁小平, 梁海艳. 2014. 中国人口年龄结构变动对出生率的影响研究[J]. *西北人口*, 35(6): 49-53. [Yuan X P, Liang H Y. 2014. Study the effect of population age structure changes on the crude birth rate in China[J]. *Northwest Population Journal*, 35(6): 49-53.]
- 湛东升, 孟斌. 2013. 基于社会属性的北京市居民居住与就业空间集聚特征[J]. *地理学报*, 68(12): 1607-1618. [Zhan D S, Meng B. 2013. Spatial clustering analysis of residential and employment distribution in Beijing based on their social characteristics[J]. *Acta Geographica Sinica*, 68(12): 1607-1618.]
- 张贵, 齐晓梦. 2016. 京津冀协同发展中的生态补偿核算与机制设计[J]. *河北大学学报: 哲学社会科学版*, 41(1): 56-65. [Zhang G, Qi X M. 2016. Eco-compensation calculation and mechanism design of Beijing-Tianjin-Hebei coordinated development[J]. *Journal of Hebei University: Philosophy and Social Science*, 41(1): 56-65.]
- 住房和城乡建设部规划司, 中国城市规划设计研究院. 2013. 京津冀城镇群协调发展规划(2008-2020)[M]. 北京: 商务印书馆. [Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China Academy of Urban Planning and Design. 2013. Plan of coordinating development of the Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration (2008-2020)[M]. Beijing, China: The Commercial Press.]
- Champion A G. 2001. A changing demographic regime and evolving poly centric urban regions: Consequences for the size, composition and distribution of city populations[J]. *Urban Studies*, 38(4): 657-677.
- Costanza R, Voinov A. 2001. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III[J]. *Ecological Modelling*, 143(1-2): 1-7.
- He C F, Chen T M, Mao X Y, et al. 2016. Economic transition, urbanization and population redistribution in China[J]. *Habitat International*, 51: 39-47.
- Li H J, Long R Y, Chen H. 2013. Economic transition policies in Chinese resource-based cities: An overview of government efforts[J]. *Energy Policy*, 55: 251-260.
- Li J W, Liu Z F, He C Y, et al. 2016. Are the drylands in northern China sustainable? A perspective from ecological footprint dynamics from 1990 to 2010[J]. *Science of The Total Environment*, 553: 223-231.
- Macauley M K. 1985. Estimation and recent behavior of urban population and employment density gradients[J]. *Journal of Urban Economics*, 18(2): 251-260.
- Tan Y T, Xu H, Zhang X L. 2016. Sustainable urbanization in China: A comprehensive literature review[J]. *Cities*, 55: 82-93.

Parameterization and system dynamics modeling of regional population regulation policies in the Beijing–Tianjin–Hebei region

LIU Xiaoqian^{1,2}, MA Ting², PEI Tao^{2*}, WANG Xiangdong^{2,3}, DU Yunyan², XIE Chuanjie²

(1. College of Applied Arts and Science, Beijing Union University, Beijing 100191, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. College of Management, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: As a most influential measure to achieve regional sustainable development and transformation strategies, coordinated regulation and control policies are drawing increasing attentions from scientists and policymakers. It is important to understand the mechanisms of policy performance and systematically estimate the effects before making regional development decisions. However, a number of problems have arisen during the formulation and implementation of current policies, such as lack of specific targeted policy orientation, unclear policy maneuverability, uncertain policy interaction mechanisms, and vague policy impacts, which all hindered the effective implementation of policy objectives. The crux of the problem lies in the lack of policy parameters that can bridge the gap between directive policy objectives and specific management practices, and between specific policy measures and system responses. Thus, this study proposes a framework of policy parameterization, which includes four steps: refining policy indicators, quantifying policy parameters, identifying regulatory regions, and modeling. Taking the regional population regulation and control of the Beijing-Tianjin-Hebei region as an example, this study implemented the policy parameterization framework in the system dynamic (SD) model of population regulation and control of the study area. The results show that: (1) The policy parameterization method has well represented the policy functional process by integrating with the SD model. (2) The trend of population regulation changes in the case study area indicates that population migration control policy had limited effect on the population dynamics. Only by improving the regional population carrying capacity, system sustainability can be achieved. (3) The parameterization method is able to specify policy implementation practices by providing specific indicators and their regulation intervals, and further providing a basis for scenario analysis and strategy optimization. Thus it can be a useful tool for directing regional regulatory policy making.

Key words: regional coordinated development; policy parameterization; population regulation and control; system dynamic model; Beijing-Tianjin-Hebei region