

DOI: 10.5846/stxb201907141483

翟晨阳,王圣云.基于系统动力学的鄱阳湖区多维福祉时空差异演变与情景模拟.生态学报,2021,41(8):2954-2967.

Zhai C Y, Wang S Y. Spatio-temporal difference evolution and scenario simulation of multi-dimensional well-being in Poyang Lake area based on system dynamics. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(8): 2954-2967.

基于系统动力学的鄱阳湖区多维福祉时空差异演变与情景模拟

翟晨阳^{1,2}, 王圣云^{3,4,*}

1 华东师范大学全球创新与发展研究院, 上海 200062

2 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海 200062

3 南昌大学中国中部经济社会发展研究中心, 南昌 330031

4 南昌大学经济管理学院, 南昌 330031

摘要: 基于资本框架的福祉测度是可持续发展导向下多维福祉研究的重要趋势。基于资本框架构建多维福祉指数,应用基尼系数、空间自相关等方法分析 2006—2018 年鄱阳湖区 38 个区县多维福祉指数的时空演化特征,并借助系统动力学方法构建鄱阳湖区多维福祉系统,模拟不同发展情景下鄱阳湖区福祉系统的变化态势。研究发现:(1) 2006—2018 年鄱阳湖区多维福祉水平得到明显提升,福祉水平空间差异持续缩小。西湖区、东湖区、青山湖区、青云谱区等一直是鄱阳湖区福祉水平高值区,也是福祉水平的高—高集聚区;余干县、九江县、都昌县、庐山市等滨湖地区的福祉水平相对较低,但其后进优势明显,并逐步退出福祉低—低集聚区,福祉水平低—低集聚区的范围大幅缩小。(2) 鄱阳湖区多维福祉水平仍有较大的提升空间,可持续发展模式是提升鄱阳湖区福祉水平的优选途径。社会资本与人力资本的投入是提升鄱阳湖区福祉最有效的手段,有助于福祉水平的短期提升;经济资本是鄱阳湖区福祉水平长期发展的不竭动力。注重发挥高福祉集聚区的带动作用,着力激发低福祉区县的福祉后发优势,加强四大资本间的协同作用,发挥社会资本、人力资本对福祉水平的快速提升效应,培育经济资本以实现区域福祉水平的长期驱动,是推动鄱阳湖区福祉空间均衡发展,减缓人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分发展之间的矛盾的关键。

关键词: 福祉;资本;时空差异;情景模拟;可持续发展;系统动力学;鄱阳湖区

Spatio-temporal difference evolution and scenario simulation of multi-dimensional well-being in Poyang Lake area based on system dynamics

ZHAI Chenyang^{1,2}, WANG Shengyun^{3,4,*}

1 Institute for Global Innovation and Development, East China Normal University, Shanghai 200062, China

2 School of Urban and Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China

3 Research Center of Central China Economic and Social Development, Nanchang University, Nanchang 330031, China

4 School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China

Abstract: Under sustainable development guidance, it's a significant trend that well-being is measured by multiple dimensions based on the capital perspective. In this paper, we build a multi-dimensional well-being index from the capital perspective. Then, by using the Gini coefficient and spatial autocorrelation method, we analyze the spatio-temporal evolution characteristics of multi-dimensional well-being index in 38 districts and counties of the Poyang Lake area from 2006 to 2018. We also use the method of system dynamics to simulate the changing situation of the Poyang Lake area's well-being system

基金项目: 国家自然科学基金项目(41861025, 42061026); 2019 年江西省研究生优质课程和案例建设“生态经济与可持续发展”

收稿日期: 2019-07-14; **网络出版日期:** 2021-02-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangshengyun@163.com

under different development situations. We found that (1) From 2006 to 2018, the level of multi-dimensional well-being in the Poyang Lake area improved significantly. The sustainable development model that coordinated the human capital, economic capital, social capital, and natural capital is the best way to develop Poyang Lake area's well-being. The well-being index of Yugan County, Jiujiang County, Duchang County, Lushan city is always low, but these counties' growth rate is higher than that in other countries. The area of Low-Low agglomeration is reducing significantly with the analysis of spatial autocorrelation. (2) Under different scenarios, the Poyang Lake area's well-being index improved significantly, and synergic development mode among human capital, economic capital, social capital and natural capital is the best way about the development of Poyang Lake area. The investment of social capital and human capital is the most effective way to improve the Poyang Lake area's well-being in a short time. While economic capital is an inexhaustible driving force for the long-term development of the well-being. The development of Poyang Lake area should focus on the driving role of the high well-being countries and increase the growth rate of well-being in low well-being areas. And it also needs to foster economic capital and strengthen the synergies among the four capitals to achieve equilibrium and long-term development. In this way, it can help to solve the contradiction between unbalanced and inadequate development and the people's ever-growing needs for a better life.

Key Words: well-being; capital; spatio-temporal difference; scenario simulation; sustainable development; system dynamics; Poyang Lake area

随着鄱阳湖区工业化和城镇化快速发展,经济增长与资源消耗、环境保护的矛盾日益显现。作为国内外重要的湖泊,鄱阳湖生态环境十分脆弱^[1],寻求经济、人口、生态协调的可持续发展路径是鄱阳湖区发展的首要任务。增进民生福祉是发展的根本目的^[2],当前湖区人民对美好生活的需求日益增长,其基本物质型生存生活需要被满足之后对健康、文化、生态等发展型福祉需求提出了更高要求^[3-4]。鄱阳湖区既有南昌县、贵溪市等全国百强县市,也有革命老区或特困片区,人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾较为突出。在全面推进小康社会与生态文明建设背景下,增进包含生态福祉等在内的民生福祉,推进鄱阳湖区经济社会与生态环境的协调可持续发展,促进福祉的空间均衡,是十九大提出的“以人民为中心”发展思想的重要体现,也是鄱阳湖区实现区域协调可持续发展的核心与关键^[5]。

目前学界关于福祉的定量研究多集中在福祉测度领域。不少研究采用 GDP 作为人类福祉的衡量指标,但这忽视了福祉的非经济维度^[6]。福祉是一个反映“人的良好生活状态”的多维度概念^[7],因而纳入诸如健康、教育等非经济因素的多维福祉指数^[8-9]成为非福利主义范式下福祉测度的主流。但在可持续发展思潮下,HDI(Human Development Index)等福祉指数由于没有包含生态福祉也备受非议。在此背景下,广泛用于可持续发展评价的真实财富、资本等概念框架被拓展应用到福祉测度研究中来。世界银行较早开启了以资本为中心的福祉研究范式,并指出国家财富由人造资本、自然资本、人力资本和社会资本四部分组成^[10],Anthony Bebbington 在此基础上增加了第五种资本——文化资本^[11]。联合国千年生态系统评估项目概念框架工作组提出了测度福祉的制造资本、人力资本、社会资本和自然资本四维框架^[12]。马克·安尼尔斯构建了包含人力资本、社会资本、自然资本、人造资本、金融资本的真实财富模型来透视福祉^[13]。这些研究普遍认为资本或财富是决定一个国家或地区福祉状况的关键因素,人类福祉与真实财富息息相关,发展真实财富意味着改善福祉状况^[13],从资本透视福祉的研究视角日益得到学界重视。

基于资本框架的鄱阳湖区福祉研究尚不多见,少量研究主要关注鄱阳湖区生态系统与人类福祉的关系、生态环境与经济的关系、福祉空间差异及其影响因素等方面。如:蔡海生分析了鄱阳湖区生态系统功能与人类福祉的关系^[14];Tian 对洪灾胁迫下鄱阳湖区的福祉水平进行了评价^[15];王圣云对鄱阳湖区人类福祉水平的空间差异及影响因素进行了研究^[3];吴威运用系统动力学方法对鄱阳湖区经济与生态协调发展模式进行模拟仿真^[16]等。综上所述:(1)基于资本框架的福祉测度是可持续发展导向下多维福祉研究的趋势。虽有研究尝试基于资本框架对福祉水平进行综合测评,但较少关注各个资本之间的协同关系,并未将各资本视

为一个相互作用的系统来加以研究。因而,有必要基于系统动力学方法对区域多维福祉时空格局演变进行模拟仿真和情景预测。(2)多维福祉指数在不同地区之间存在空间差异和空间上的相互影响,即表现出空间不平衡性以及空间关联特征,但少有研究关注小尺度区域上福祉水平的空间特征^[17]。为此,本文基于资本框架构建鄱阳湖区多维福祉系统,探讨多维福祉的时空演变和空间差异特征,并进一步运用系统动力学仿真方法对不同情景下鄱阳湖区多维福祉的变化趋势进行模拟和预测,以期为政府部门推动鄱阳湖区福祉水平的进一步提升和区域协调可持续发展提供参考。

1 研究区域与数据来源

本文研究的鄱阳湖区为广义的鄱阳湖区,也即鄱阳湖生态经济区^[18](图1),2009年国务院正式批复《鄱阳湖生态经济区规划》,鄱阳湖区建设上升为国家战略,成为探索生态与经济协调发展新模式、推动江西中部崛起的重要示范区。鄱阳湖区包括38个市、区、县(表1),约占江西省面积的30%,是江西省的核心地带。本文中2009—2013年指标数据主要来源于2009—2013年出版的《鄱阳湖生态经济区统计年鉴》,其余年份指标数据主要来源于历年《江西省统计年鉴》以及各地级市统计年鉴、各区县统计公报等相关资料,指标部分缺失值采用插值法进行处理。其中,平均受教育年限这一指标的缺失值采用2000与2010年人口普查数据中“各地区分性别、受教育程度的6岁及以上人口”数据进行计算,并根据计算结果进行插值。

2 研究方法与数据来源

2.1 基于资本框架的多维福祉指数构建

根据已有文献可知,资本是决定福祉水平的重要因素^[10,12-13]。人力资本是提升地区福祉水平的核心;社会资本可减少社会的交易成本,提供更多的社会支持^[19],既有助于直接提升地区福祉^[20-21],还可作用于其他资本从而对福祉水平的提升起到间接促进作用^[22];经济资本是福祉提升的主要途径^[23],自然资本是决定地区福祉水平的物质基础^[12]。基于此,本文将福祉定义为人力资本、社会资本、经济资本、自然资本协同作用下有助于提高地区人民生活质量的真实财富。

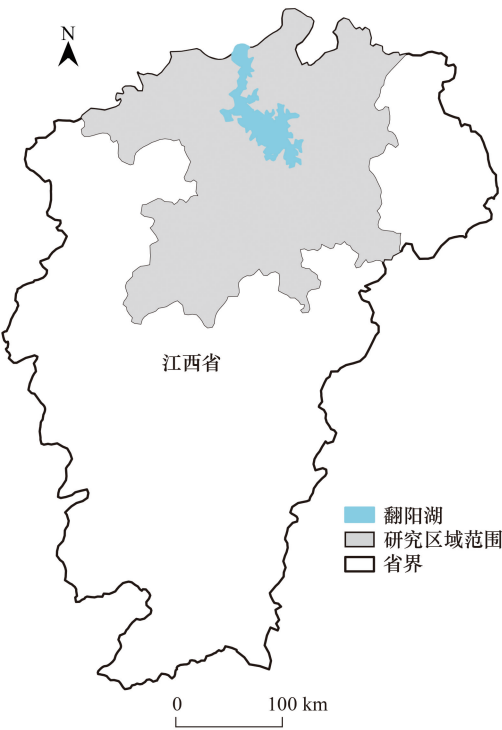


图1 研究区域示意

Fig.1 The geographic position of Poyang Lake area

表1 鄱阳湖区范围

Table 1 Name of study area

城市 City	市、区、县 County-level city, District, County
南昌市	东湖区、西湖区、青云谱区、湾里区、青山湖区、南昌县、新建区、安义县、进贤县
景德镇市	昌江区、珠山区、浮梁县、乐平市
九江市	濂溪区、浔阳区、柴桑区、武宁县、永修县、德安县、庐山市、都昌县、湖口县、彭泽县、瑞昌市、共青城市
新余市	渝水区
鹰潭市	月湖区、余江区、贵溪市
吉安市	新干县
宜春市	丰城市、樟树市、高安市
抚州市	临川区、东乡区
上饶市	余干县、鄱阳县、万年县

如表 2 所示,综合考虑资本框架的内涵及数据的可获取性,本文在人力资本方面选取年末总人口(H1)、中小学师生比(H2)、6 岁以上人口平均受教育年限(H3)三个指标来刻画人力资本的数量与质量。在经济资本维度,选取人均 GDP(E1)、人均社会消费品零售额(E2)、外贸出口依存度(E3)和第二三产业比重(E4)四个指标,其中,人均 GDP 指标测度经济发展水平,人均社会消费品零售额反映消费需求水平,外贸出口依存度指标反映经济开放程度,第二三产业产值比重衡量经济结构。社会资本方面,网络、物流和交通在信息传递与加强人际沟通等方面起着重要作用,故选取互联网接入户比例(S1)、人均邮电业务量(S2)、公路网密度(S3)三个指标。在自然资本维度,森林具有保持水土、净化空气、维持生物多样性等多种作用,耕地是粮食与经济作物供给的基本保障,加之居民对生态环境、空气质量的关注也逐渐增强,因而选取森林覆盖率(N1)、耕地面积比例(N2)、工业 SO₂排放量(N3)三个指标。

考虑到权重确定的综合性,本文采用 AHP 法与熵权法两种方法得到主、客观两种权重,再应用 D-S 证据理论将主客观权重进行综合,最终得到各指标权重(表 2)^[24]。

表 2 基于资本视角的鄱阳湖区多维福祉评价指标及其权重确定

Table 2 Indicators and their weight of multi-dimensional well-being in Poyang Lake area from the perspective of capital

资本类型 Capital types	指标 Indicators	AHP 法权重 AHP weight	熵权法权重 Entropy weight	D-S 证据理论合成权重 D-S evidential theory weight
人力资本 Human capital	年末总人口	0.128	0.063	0.107
	中小学师生比	0.128	0.013	0.022
	平均受教育年限	0.128	0.038	0.064
经济资本 Economic capital	人均 GDP	0.128	0.083	0.142
	人均社会消费品零售额	0.071	0.141	0.134
	外贸出口依存度	0.041	0.084	0.045
	第二三产业比重	0.041	0.004	0.002
社会资本 Social capital	互联网接入户比例	0.071	0.072	0.069
	人均邮电业务量	0.071	0.135	0.128
	公路网密度	0.071	0.263	0.248
自然资本 Natural capital	森林覆盖率	0.026	0.041	0.014
	耕地面积比例	0.026	0.058	0.020
	工业 SO ₂ 排放量	0.071	0.004	0.004

AHP 法:Analytic Hierarchy Process 层次分析法;D-S 证据理论:Dempster-Shafer evidential theory

由于福祉概念的模糊性和多维性特征,模糊数学方法在福祉测度方面表现出明显优势^[25]。本文以赵克勤提出的基于集对分析的模糊综合评价方法^[26]为基础,构建鄱阳湖区多维福祉指数。具体步骤如下:

首先求得各指标的最优方案矩阵 $U = (u_1, u_2, \dots, u_j)$ 与最劣方案矩阵 $V = (v_1, v_2, \dots, v_j)$, 得到集合 $\{U, V\}$, 计算同一度 a_{ij}^t 与对立度 c_{ij}^t :

当 x_{ij}^t 对评价结果起促进作用时:

$$a_{ij}^t = \frac{x_{ij}^t}{u_j + v_j} \quad c_{ij}^t = \frac{u_j v_j}{x_{ij}^t (u_j + v_j)} \quad (1)$$

当 x_{ij}^t 对评价结果起抑制作用时:

$$a_{ij}^t = \frac{u_j v_j}{x_{ij}^t (u_j + v_j)} \quad c_{ij}^t = \frac{x_{ij}^t}{u_j + v_j} \quad (2)$$

多维福祉指数 wb_i 的计算公式如下:

$$wb_i = \frac{a_i}{a_i + c_i} \quad (3)$$

式中, x_{ij}^t 表示 t 年县区 i 的第 j 个指标值, $a_i = \sum \lambda_{3j} a_{ij}^t$, $c_i = \sum \lambda_{3j} c_{ij}^t$, λ_{3j} 为指标 j 的综合权重, wb_i 表示县区 i

的多维福祉指数。

2.2 空间基尼系数和沃尔夫森指数

采用空间基尼系数度量鄱阳湖区多维福祉指数的空间不平衡性,考虑到县区之间人口差异对空间不平衡的影响,构建人口加权空间基尼系数^[27]:

$$G = PQR \quad (4)$$

式中, G 为多维福祉指数的空间基尼系数; P 是各区县人口占比按 wb_i 升序排序得到向量, R 是包含各区县福祉总量占比的列向量, Q 是方阵,其上方元素为+1,下方元素为-1,对角线元素为0。福祉总量为人口总量与其 wb_i 的乘积。

进一步应用沃尔夫森指数刻画鄱阳湖区多维福祉指数的空间极化程度^[28]:

$$W = 2(U_* - U_1)/M \quad (5)$$

式中, U_* 为修正后的 wb_i 平均数, $U_* = (\sum wb_i)/n \times (1 - G)$, n 表示区县个数; U_1 为 wb_i 排名后 50% 区县的 wb_i 均值, M 为各区县 wb_i 的中位数。

2.3 空间自相关模型

本文应用空间自相关模型分析鄱阳湖区各县区多维福祉水平的空间集聚特征。其中, Moran's I 反映区域内所有空间单元之间的相互依赖程度,计算公式如下^[29-30]:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

式中, x_i 和 x_j 分别表示区域 i 与区域 j 的指标值, n 为区域个数, w_{ij} 为区域 i 与区域 j 的空间相邻矩阵。Moran's I 值分布于 $[-1, 1]$ 之间,其值越接近 1 表示空间正相关程度越高,越接近 -1 表示空间负相关程度越高。当 Moran's $I=0$ 表示不存在空间自相关性。

局域空间自相关(Local Moran's I)反映区域内某个空间单元与周边空间单元之间的空间集聚程度,其计算公式如下:

$$\text{Local Moran's } I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (7)$$

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})^2}{n} \quad (8)$$

2.4 系统动力学 SD 模型

系统动力学方法已在区域政策研究^[31-32]、可持续发展、生态环境预测^[33-34]等区域发展研究中得到了广泛应用。本文应用系统动力学模拟和分析鄱阳湖区多维福祉系统演变趋势,步骤如下:

(1) 确定福祉系统边界,建立因果关系图。鄱阳湖区福祉系统由人力资本、经济资本、社会资本以及自然资本四个子系统构成,其中,人力资本提升能拓展人的可行能力,为地区经济发展提供智力支撑,并通过推动技术进步改进生产效率从而提高经济资本;社会资本、自然资本为福祉提升提供了社会保障与物质基础;经济资本既有助于提高人们的收入,也会促进社会建设和人力资本投资,但同时经济发展也会消耗或破坏原有的自然资本。基于以上分析绘制鄱阳湖区福祉系统流图(图 2)。

(2) 建立 SD 仿真模型方程。采用文献查阅、专家咨询、统计分析等方法确定系统参数。人口增长率、邮电业务增长率表函数采用线性拟合与移动平均方法进行拟合估算,经济增长的教育效应、公路网密度变化率等应用回归拟合等方法确定变量之间的作用关系,主要变量方程见表 3,仿真起止时间为 2006—2030 年。

(3) 模型检验。首先检查模型方程完整性以及表函数设定范围,调试直至模型正常运行;其次以 2006 年流位变量初始值为输入进行模型的历史性检验^[34-35],模拟值与真实值的相对误差均小于 5%,表明模型拟合较好。

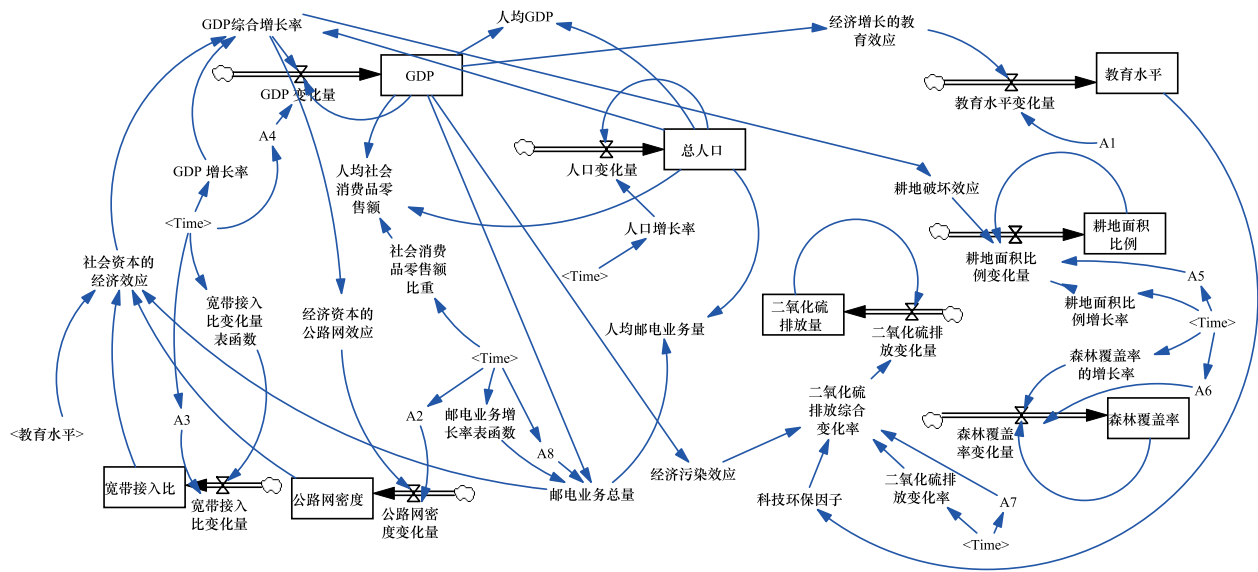


图2 福祉系统流图

Fig.2 Flow diagram of well-being system in Poyang Lake area

表3 SD 仿真模型中的变量类型及其方程

Table 3 Types of variables and equation of SD simulation model

变量类型 Variable types	方程 Equations	单位 Units
流位变量 Level variables	$GDP = INTEG (GDP \text{ 变化量}, 2531.62)$ $总人口 = INTEG (人口变化量, 1864.46)$ $教育水平 = INTEG (教育水平变化量, 0.0536)$ $耕地面积比例 = INTEG (耕地面积比例变化量, 0.1893)$ $森林覆盖率 = INTEG (森林覆盖率变化量, 0.3894)$ $二氧化硫排放量 = INTEG (二氧化硫排放变化量, 32287)$ $公里网密度 = INTEG (公路网密度变化量, 0.5741)$ $互联网接入比 = INTEG (互联网接入比变化量, 0.0863)$	亿元 万人 无量纲 无量纲 无量纲 t km/km^2 无量纲
速率变量 Rate variables	$GDP \text{ 变化量} = GDP \times GDP \text{ 综合增长率}$ $人口变化量 = 总人口 \times 人口增长率$ $教育水平变化量 = 教育水平变化量 = 经济增长的教育效应 \times 教育政策因子$ $耕地面积比例变化量 = (耕地面积比例增长率 - 耕地破坏效应 - 耕地政策因子) \times 耕地面积比例$ $森林覆盖率变化量 = 森林覆盖率 \times (森林覆盖率的增长率 - 森林政策因子)$ $二氧化硫排放变化量 = 二氧化硫排放量 \times 二氧化硫排放综合变化率$ $公路网密度变化量 = 公路网密度 \times (公路网密度变化率 + 公路网政策因子)$ $互联网接入比变化量 = 互联网接入比变化量表函数 \times 互联网接入政策因子$	亿元 万人 无量纲 % % t km/km^2 %
辅助变量 Instrumental variables	$GDP \text{ 综合增长率} = GDP \text{ 增长率} + \text{社会资本的经济效应} + LN(总人口) \times 0.0005$ $二氧化硫排放综合变化率 = 经济污染效应 + 科技环保因子 + 二氧化硫排放变化率 + 环境政策因子$ $\text{社会资本的经济效应} = 宽带接入比 \times 0.01 + 公路网密度 \times 0.01 + 教育水平 \times 0.1 + LN(邮电业务总量) \times 0.0005$ $\text{经济增长的教育效应} = 0.0184 \times LN(LN(GDP)) - 0.039$ $\text{耕地破坏效应} = IF \text{ THEN ELSE}(GDP \text{ 综合增长率} > 0.12, 0.0015, 0)$ $\text{科技环保因子} = WITH \text{ LOOKUP}(教育水平, ((0, -0.04) - (0.1, 0.1)), (0.05, -0.001), (0.1, -0.004))$ $\text{经济资本的公路网效应} = 0.0116 \times EXP(9.4498 \times GDP \text{ 综合增长率} + 0.2)$ $\text{耕地面积比例增长率} = WITH \text{ LOOKUP}(Time, ((2006, -0.006) - (2030, 0.2)))$	无量纲 无量纲 无量纲 无量纲 无量纲 无量纲 无量纲 无量纲 无量纲 无量纲 无量纲

续表

变量类型 Variable types	方程 Equations	单位 Units
增补变量 Supplementary variables	二氧化硫排放变化率=WITH LOOKUP (Time, ([(2006,-0.1)-(2030,0.07)]))	无量纲
	森林覆盖率的增长率=WITH LOOKUP (Time, ([(2006,0.001)-(2030,0.1)]))	无量纲
	互联网接入比变化量表函数=WITH LOOKUP (Time, ([(2006,0.006)-2030,0.06)]))	无量纲
	人均社会消费品零售额=((GDP×社会消费品零售额比重)/总人口)×10000	元
Supplementary variables	人均 GDP=(GDP/总人口)×10000	元
	人均邮电业务量=邮电业务总量/总人口×10000	元

(4) 设定情景。鄱阳湖区大部分区县属于经济欠发达地区,因而到 2020 年乃至 2030 年都会注重经济资本的培育,但同时鄱阳湖区也被列为国家生态文明试验区,力求在生态优先、绿色发展上有率先之举,十分注重对生态环境的保护。为此,本文基于四种资本组合的思路,在经济资本主导基础上依次纳入生态资本、社会资本和人力资本,从而设定如生态经济模式、协调发展模式、可持续发展模式等不同发展情景,分别对应不同的发展模式。

原始情景:假定现有政策惯性不变,维持当前发展趋势下的一种情景,该情景以 2006 年为起始年份,通过福祉系统中变量的相互作用,得到鄱阳湖区福祉系统主要指标的变化趋势。

情景一:经济增长模式。GDP 增长率将在原始情景基础上提高 15%;这种情景重点关注经济的较快增长,将会降低原本用于自然资本等的投资,因而也会加大环境压力,对耕地面积、森林覆盖率等产生影响。

情景二:生态经济模式。该模式较为注重经济增长与自然资本的培育,GDP 增长率将在原始情景基础上提高 10%,追求经济增长与生态环境平衡发展。

情景三:协调发展模式。该情景下不只单纯地追求经济与生态协调发展,还将重视社会资本在地区发展中的作用,寻求经济资本、社会资本与自然资本的协调发展。GDP 增长率将在原始情景基础上提高 5%,社会资本主要指标的增长率将比原始情景提高 10%。

情景四:可持续发展模式。鄱阳湖区将开始重视人力资本培育,以促进经济资本、社会资本、人力资本、自然资本的协同提升为目标,在情景三的基础上,增加了对人力资本的投入,人力资本指标将比原始情景提高 20%。

3 结果分析

3.1 鄱阳湖区多维福祉指数的时空格局演变分析

2006—2018 年鄱阳湖区福祉水平明显提升,多维福祉指数由 2006 年的 0.3200 提升至 2018 年的 0.6805,年平均增长率为 6.49%(表 4);其中,伴随着 2009 年鄱阳湖生态经济区上升为国家战略,鄱阳湖区各区县福祉水平较 2008 年呈现出跃升态势,近年来鄱阳湖区福祉水平的增长态势有所放缓,但分布结构趋于合理(图 3)。

鄱阳湖区各区县福祉水平整体不断提升的同时,其空间分布表现出较强的稳定性,即高者恒高,低者恒低。中部的西湖区、东湖区、青山湖区、青云谱区,北部的濂溪区、浔阳区,西南部的渝水区,东部的昌江区与月湖区等福祉水平相对较高,这些地区基础设施普遍较好,经济发展水平相对较高。余干县、九江县、都昌县、庐山市等环湖分布的区县经济与社会基础相对较差,受高福社区域的辐射带动效应较弱;加之近年来鄱阳湖水旱灾害频发,严重影响周边地区人们的生产生活,从而使得滨湖区县多维福祉水平一直相对较低(图 4)。

从地理空间上看,鄱阳湖区北部区县福祉水平的提升速度普遍高于南部(表 4),其中,万年县、都昌县以及庐山市等地区的福祉后进优势明显。一方面北部区县早期福祉水平相对较低,根据后发优势理论,其福祉水平更易产生大幅增长;另一方面,北部区县多属九江市,随着昌九一体化战略深入推进,南昌与九江在人员往来、经济互动、政治文化交流等方面的联系不断加强,带动了都昌县、庐山市等区县福祉水平提升。昌九一

体化一直是江西省区域战略的发展重点,在《大南昌都市圈发展规划(2019—2025年)》中,首次将九江全境纳入“大南昌都市圈”发展规划,鄱阳湖区北部区县福祉水平的提升空间将会日益显现。从福祉水平的相对变化来看,万年县、湖口县、德安县、永修县等地区的多维福祉指数排名明显前移,但其驱动力存在差异,永修县、万年县多维福祉指数的提高主要由经济资本驱动,德安县多维福祉指数的提高主要由社会资本驱动,湖口县多维福祉指数提升则主要由经济资本与社会资本共同驱动。

表 4 2006—2018 年鄱阳湖区各区县多维福祉指数变化

Table 4 Multi-dimensional well-being index about countries and district of Poyang Lake area during 2006—2018

地区 Region	2006	排名 Rank	2010	排名 Rank	2014	排名 Rank	2018	排名 Rank	2006—2018 年均增长率/% Average annual growth rate
东湖区	0.6904	3	0.7735	4	0.8121	5	0.8517	4	1.76
西湖区	0.7203	1	0.7937	1	0.8367	2	0.8649	2	1.54
青云谱区	0.6469	4	0.7244	6	0.8270	3	0.8536	3	2.34
湾里区	0.3119	19	0.3644	32	0.4507	36	0.5477	35	4.80
青山湖区	0.6924	2	0.7853	2	0.8472	1	0.8692	1	1.91
南昌县	0.3839	14	0.5908	11	0.7168	10	0.7792	10	6.08
新建县	0.3536	18	0.4908	16	0.6265	14	0.6858	17	5.68
安义县	0.2996	22	0.3611	33	0.4415	38	0.5069	38	4.48
进贤县	0.3755	16	0.5206	14	0.6178	16	0.6985	15	5.31
昌江区	0.4962	9	0.6674	8	0.7485	8	0.7931	8	3.99
珠山区	0.5148	8	0.6354	9	0.7136	11	0.7506	12	3.19
浮梁县	0.2491	31	0.4317	26	0.5602	24	0.6598	22	8.46
乐平市	0.3657	17	0.4887	17	0.6034	18	0.6776	18	5.27
濂溪区	0.5595	6	0.7020	7	0.7737	7	0.8225	6	3.26
浔阳区	0.4523	10	0.7657	5	0.8130	4	0.8425	5	5.32
九江县	0.2618	28	0.3450	35	0.4692	34	0.5424	37	6.26
武宁县	0.2475	32	0.4035	28	0.4830	31	0.6124	27	7.84
永修县	0.2782	27	0.4415	21	0.5691	21	0.6737	19	7.65
德安县	0.2823	25	0.4370	24	0.6070	17	0.6868	16	7.69
庐山市	0.1842	37	0.3313	37	0.4505	37	0.5560	34	9.64
都昌县	0.1850	36	0.3122	38	0.4734	33	0.5999	31	10.30
湖口县	0.2592	29	0.4473	19	0.6179	15	0.7004	14	8.64
彭泽县	0.2332	33	0.3552	34	0.4808	32	0.5676	33	7.69
瑞昌市	0.2798	26	0.3996	29	0.5652	22	0.6657	21	7.49
共青城市	0.2541	30	0.3957	31	0.5631	23	0.6385	25	7.98
渝水区	0.6138	5	0.7739	3	0.7856	6	0.7804	9	2.02
月湖区	0.4191	11	0.5918	10	0.7246	9	0.8091	7	5.64
余江县	0.2957	24	0.4390	22	0.5711	20	0.6296	26	6.50
贵溪市	0.5211	7	0.5693	12	0.6628	13	0.7345	13	2.90
新干县	0.2970	23	0.4456	20	0.5424	27	0.6405	24	6.61
丰城市	0.3956	12	0.5197	15	0.5966	19	0.6535	23	4.27
樟树市	0.3890	13	0.5572	13	0.6689	12	0.7615	11	5.76
高安市	0.3091	20	0.4063	27	0.5152	29	0.5869	32	5.49
临川区	0.3796	15	0.4697	18	0.5418	28	0.6057	28	3.97
东乡县	0.3072	21	0.4319	25	0.5435	26	0.6023	30	5.77
余干县	0.1991	35	0.3339	36	0.4657	35	0.5456	36	8.76
鄱阳县	0.2239	34	0.3969	30	0.5148	30	0.6046	29	8.63
万年县	0.1629	38	0.4386	23	0.5513	25	0.6666	20	12.46
鄱阳湖区	0.3200		0.4962		0.6062		0.6805		6.49

3.2 鄱阳湖区多维福祉指数的空间差异变化分析

2006—2018 年,鄱阳湖区各区县多维福祉指数在不断提高的同时,福祉水平最高与最低的区县之间的福祉差距明显缩小。2006 年,西湖区的多维福祉水平明显高于其他区县,且福祉水平排名前 50% 的区县福祉指数分布范围较广,区县间福祉水平差异较大;福祉水平排名后 50% 的区县的福祉指数集中在较低水平。到 2018 年 38 个区县的福祉水平分布范围明显缩小,分布更加均衡(图 3)。这一现象在空间差异测度指标的变化上也得到了印证,鄱阳湖区福祉指数的空间基尼系数从 2006 年的 0.216 降至 2018 年的 0.077,沃尔夫森指数从 2006 年的 0.172 降至 2018 年的 0.093(表 5)。可见,在鄱阳湖生态经济区与环鄱阳湖城市群建设等相关战略的推动下,区县间的福祉差距明显缩小,福祉水平的空间极化现象得到有效改善,区域内总体福祉状况得到显著提升。

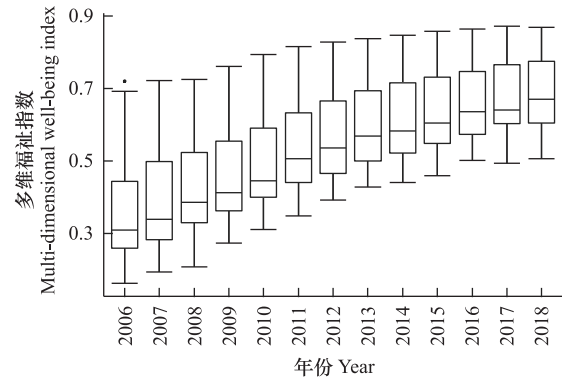


图 3 2006—2018 年鄱阳湖区各区县多维福祉指数箱线图

Fig.3 Boxplot of multi-dimensional well-being index in Poyang Lake area from 2006 to 2018

箱线图中 2006 年的异常值为西湖区,表明西湖区的多维福祉水平显著高于其他区县;箱底部和顶部分别代表下四分位数与上四分位数,箱内横线代表中位数

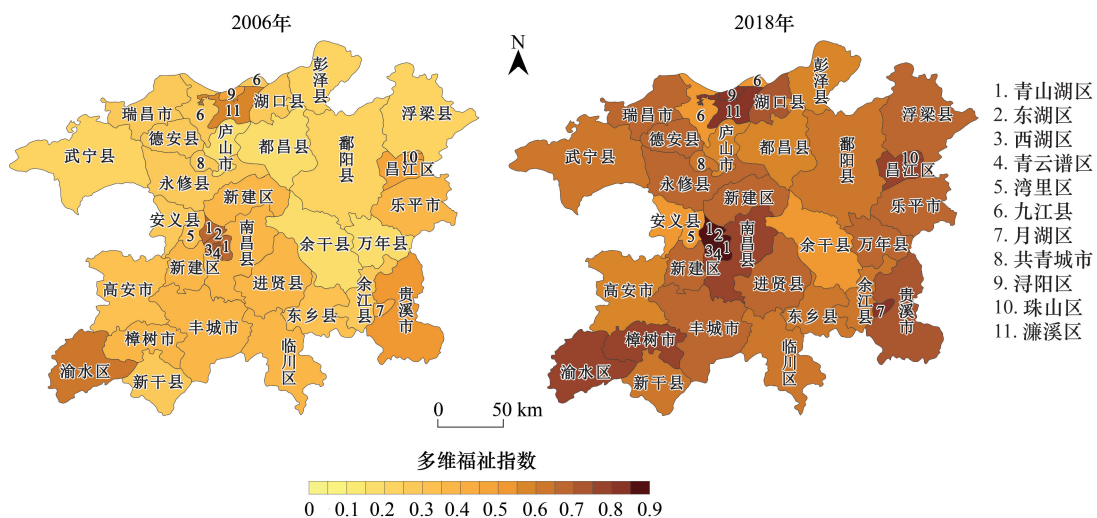


图 4 2006—2018 年鄱阳湖区多维福祉指数空间分布

Fig.4 Spatial distribution of multi-dimensional well-being index in Poyang Lake area from 2006 to 2018

进一步应用 Geoda 软件进行全局空间自相关分析可知,2006—2018 年鄱阳湖区多维福祉指数的 Moran's I 均显著为正,表明鄱阳湖区各区县福祉水平在空间上表现出明显的正相关性。由莫兰指数的变化可以看出,鄱阳湖区多维福祉指数的空间集聚程度不断降低(表 5)。进行局域空间自相关分析可知(图 5),2006 年鄱阳湖区形成了包含西湖区、东湖区、青云谱区、青山湖区、南昌县的福祉高一高集聚区,其多维福祉指数明显高于周边区县;低—低集聚区由永修县、德安县、都昌县、彭泽县、共青城市、庐山市、鄱阳县 7 个市县构成,位于鄱阳湖区北部。可见,2006 年鄱阳湖区北部的昌九地区存在福祉高一高集聚与低—低集聚共存的特征,较大的福祉水平差距影响昌九一体化进程。到 2018 年,鄱阳湖区福祉高一高集聚区依然集中于南昌市辖区,鄱阳县、都昌县、庐山市等退出了福祉低—低集聚区,福祉低—低集聚区仅有永修县(图 5)。在高福祉水平区域的带动下,当前鄱阳湖区福祉水平基本实现了同步发展,区域福祉水平朝向均衡发展。

表 5 鄱阳湖区多维福祉的空间基尼系数、沃尔夫森指数与空间自相关指标

年份 Year	空间基尼系数 Gini coefficient	沃尔夫森指数 Wolfson index	空间自相关 Spatial autocorrelation	
			Moran's <i>I</i>	<i>P</i> 值
2006	0.216	0.172	0.403	0.001
2007	0.211	0.202	0.375	0.001
2008	0.196	0.193	0.368	0.001
2009	0.162	0.168	0.370	0.002
2010	0.150	0.154	0.362	0.002
2011	0.136	0.136	0.342	0.005
2012	0.124	0.131	0.343	0.003
2013	0.112	0.129	0.339	0.002
2014	0.104	0.131	0.332	0.002
2015	0.097	0.126	0.314	0.005
2016	0.088	0.099	0.274	0.006
2017	0.080	0.098	0.325	0.004
2018	0.077	0.093	0.300	0.003

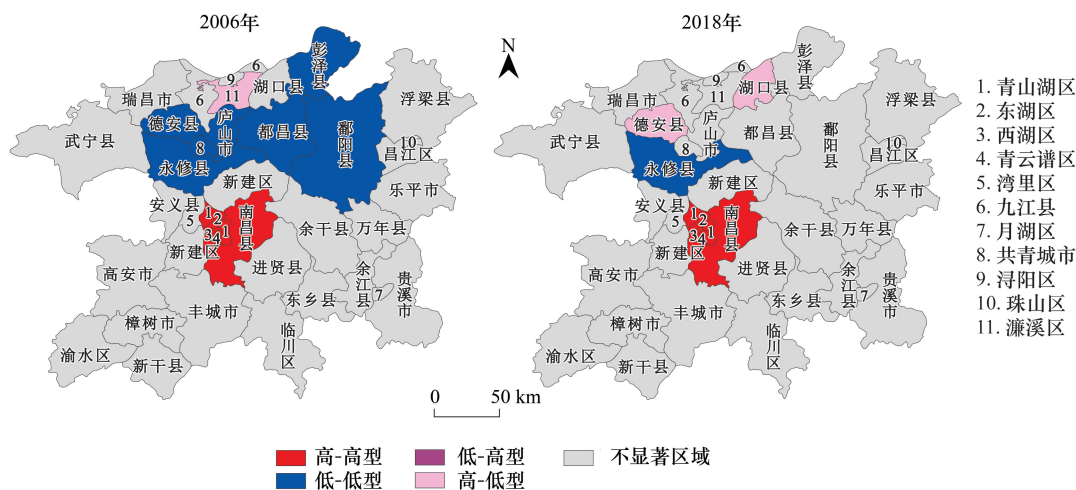


图 5 2006—2018 年鄱阳湖区各区县多维福祉指数空间自相关四分位图

Fig.5 LISA cluster map of multi-dimensional well-being index about the districts and counties in Poyang Lake area from 2006 to 2018
LISA:Local indicators of Spatial association 局域空间自相关

3.3 鄱阳湖区多维福祉系统变化趋势情景模拟

3.3.1 原始情景下鄱阳湖区福祉系统主要指标变化趋势模拟

应用系统动力学软件 VENSIM V6.0,依据原始情景的发展变化趋势,对鄱阳湖区多维福祉系统的主要指标进行模拟,可以看出(图 6):2020 年鄱阳湖区的人均 GDP 可达到 55574 元/人,将是 2010 年的 2.18 倍,恰好实现江西省“十三五”规划提出的“实现与 2010 年相比人均收入翻一番”的目标。到 2030 年,鄱阳湖区的地区生产总值与人均 GDP 将分别达到 22087 亿元和 92208 元/人,人均社会消费品零售额将达到 30512 元;预计 2030 年鄱阳湖区总人口将达到 2395 万人,教育水平也将实现明显提升。在社会资本维度,2030 年人均邮电业务量将平稳增加,公路网密度与互联网接入户比例的增势将逐步放缓。2030 年鄱阳湖区二氧化硫排放量会得到有效控制,森林覆盖率与耕地面积均有所提高,耕地面积比重明显增加。江西省“十三五”规划指出,“到 2020 年,实现地区生产总值年均增长 8.5%,二氧化硫排放量比 2015 年下降 12%,耕地保有量不低于 4391 万亩”,根据图 6 模拟结果,到“十三五”末,鄱阳湖区耕地面积占比与二氧化硫排放量均可达到目标值,

鄱阳湖区生态环境将得到进一步改善。

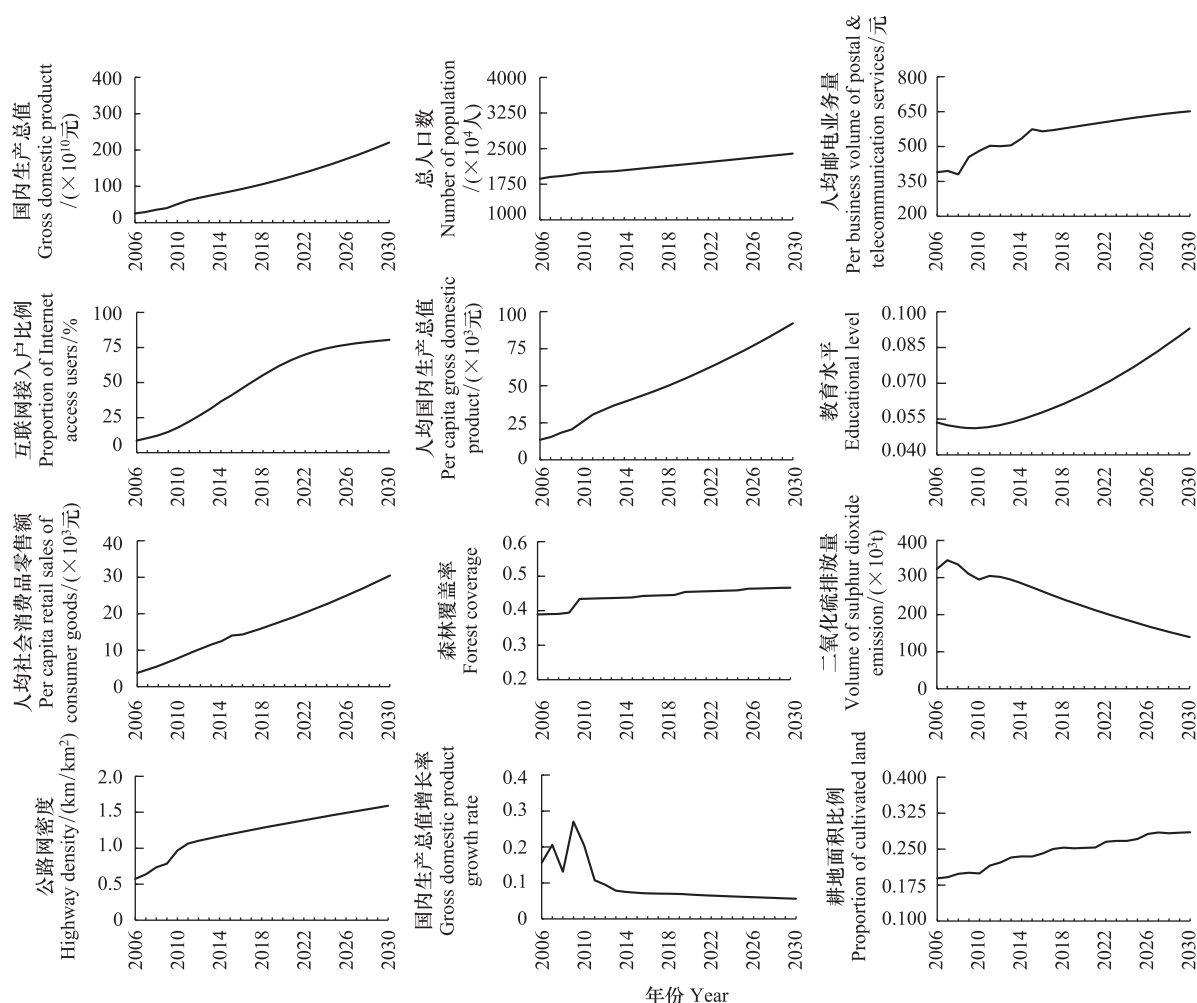


图6 当前发展趋势下2006—2030年鄱阳湖区福祉系统主要指标仿真结果

Fig.6 Simulation results of main indicators of well-being system in Poyang Lake area from 2006 to 2030: current development trend

3.3.2 不同情景下鄱阳湖区福祉系统变化趋势模拟比较

(1) 不同情景下鄱阳湖区福祉系统主要指标变化趋势比较

五种情景下鄱阳湖区多维福祉系统指标的模拟结果如图7所示,人均GDP、人均社会消费品零售额指标的发展变化呈现出情景一>情景二>情景四>情景三>原始情景的态势。情景一下鄱阳湖区经济资本指标提升最快,其次是情景二;由于人力资本的促进作用,情景四下经济资本提升快于情景三。耕地面积比例、森林覆盖率指标变化表现为原始情景>情景四=情景三>情景二>情景一。情景一由于经济较快增长,造成对自然资源的过度利用,耕地面积占比与森林覆盖率增速会显著降低,2030年鄱阳湖区森林覆盖率将降为43.32%;情景二下2030年鄱阳湖区耕地面积占比与森林覆盖率均优于情景一;情景三与情景四由于更加注重资本间的协同发展,因而使得自然资源的发展状况较好。从二氧化硫排放量指标变化趋势来看,情景一>情景二>情景三>情景四>原始情景;尽管技术的改进能有效进行污染物的处理,但工业化进程的不断加快,仍会产生大量的污染物,情景一下2020年鄱阳湖区二氧化硫排放量预计将较2010年下降7%,难以实现江西省“十三五”规划提出的二氧化硫排放控制性目标值(12%);情景四重视四个资本协同发展,通过社会资本与人力资本的提升,在一定程度上减少了经济增长带来的二氧化硫排放的增加,有望实现江西省“十三五”规划的控制性目标值。公路网密度、人均邮电业务量指标变化表现为情景四>情景三>情景一>情景二>原始情景。由于社会

联系网络建设不仅以经济与科技发展为基础,还需要社会制度与政策的支持,因而在以经济、社会、人力与自然资本协同发展为目标的情景四下社会资本的发展更加高效。

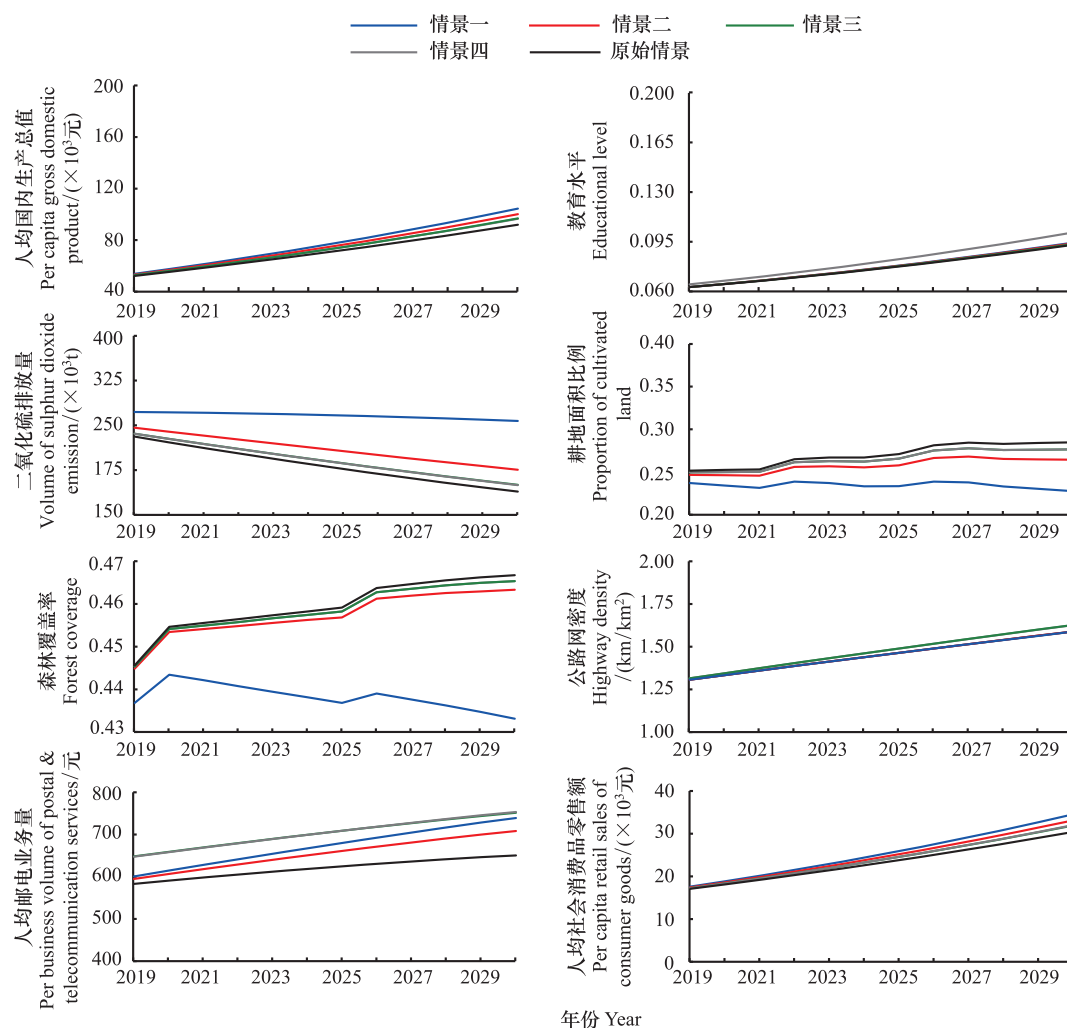


图7 不同情景下鄱阳湖区福祉系统主要指标变化趋势

Fig.7 Trends of various variables in different scenario

(2) 不同情景下鄱阳湖区福祉系统变化趋势比较

通过系统动力学仿真结果计算鄱阳湖区多维福祉指数(表6),可以看出,设定情景下鄱阳湖区多维福祉指数和年均增长率都高于原始情景,表明鄱阳湖区福祉水平有较大提升空间。根据鄱阳湖区五种发展情景下多维福祉指数及其变化趋势可知:原始情景下,2030年鄱阳湖区多维福祉指数将提升为0.7930;情景一、二、三、四下,2030年鄱阳湖区多维福祉指数将分别达到0.8116、0.8066、0.8101、0.8106,年平均增长率分别为1.48%、1.43%、1.46%、1.47%。从鄱阳湖区多维福祉指数得分的排序及年平均增长率来看,情景四>情景三>情景二。尽管情景一下鄱阳湖区多维福祉指数高于其他三种情景,且其年均增长率最高,但其发展模式有悖江西省建设生态文明国家示范区的根本要求以及可持续发展理念,其设定的经济增长模式势必造成对自然资源的过度利用,长远来看该发展模式不可取。资本协同作用会促进鄱阳湖区福祉水平的提升,可持续发展模式下2030年鄱阳湖区多维福祉水平提升最高最快,情景四是鄱阳湖区健康发展的优选方案。继续践行绿水青山就是金山银山的理念、持续加大社会资本与人力资本投入是鄱阳湖区进一步提升福祉水平的有效途径,促进四个资本的协同发展也是提升鄱阳湖区福祉水平和实现协调可持续发展的必然趋势。

表 6 不同情景下鄱阳湖区多维福祉指数演进趋势:2018—2030 年

Table 6 The evolution trend of multi-dimensional well-being Poyang Lake area under different scenarios: 2018—2030

年份 Year	原始情景 Original scenario simulation	情景一 Scenario simulation one	情景二 Scenario simulation two	情景三 Scenario simulation three	情景四 Scenario simulation four
2018	0.6805	0.6805	0.6805	0.6805	0.6805
2019	0.6995	0.7048	0.7034	0.7126	0.7125
2020	0.7109	0.7179	0.7160	0.7246	0.7245
2021	0.7215	0.7301	0.7277	0.7357	0.7356
2022	0.7317	0.7417	0.7390	0.7464	0.7463
2023	0.7409	0.7523	0.7492	0.7560	0.7560
2024	0.7495	0.7621	0.7587	0.7649	0.7650
2025	0.7577	0.7714	0.7677	0.7734	0.7735
2026	0.7657	0.7805	0.7765	0.7817	0.7819
2027	0.7731	0.7890	0.7846	0.7894	0.7897
2028	0.7800	0.7969	0.7923	0.7966	0.7970
2029	0.7867	0.8044	0.7996	0.8035	0.8040
2030	0.7930	0.8116	0.8066	0.8101	0.8106
2018—2030 年年平均增长率 Average annual growth rate	1.28%	1.48%	1.43%	1.46%	1.47%

4 结论与政策启示

本文基于资本框架构建了鄱阳湖区多维福祉指数,在测度 2006—2018 年鄱阳湖区 38 个区县多维福祉水平的基础上对多维福祉指数的时空演化特征及其空间分异进行研究,并借助系统动力学方法构建鄱阳湖区多维福祉系统,模拟了不同发展情景下鄱阳湖区福祉系统的变化态势,主要结论和政策启示如下:

(1)2006—2018 年鄱阳湖区 38 个区县的福祉水平都得到了明显提升,南昌市的西湖区、东湖区、青山湖区、青云谱区以及濂溪区、渝水区、昌江区等一直是鄱阳湖区的福祉水平高值区,其在周边区县福祉水平提升过程中起到重要的带动作用。余干县、九江县、都昌县、庐山市等滨湖地区的福祉水平相对较低,但后进优势明显。低福祉水平区县福祉水平的快速提升是“以人民为中心”发展思想下新区域协调发展战略的重要体现,也是鄱阳湖区脱贫攻坚和小康社会建设等政策有效性的全面反映,不仅推动了鄱阳湖区福祉水平的整体向好发展,也缩小了其与高福祉地区的福祉水平差距。

(2)2006—2018 年鄱阳湖区各区县间福祉水平空间差异持续缩小,区域福祉状况明显改善。2006—2018 年鄱阳湖区福祉水平高一高集聚区未有明显变化,但低—低集聚区的范围明显缩小,南昌市辖区一直是鄱阳湖区的福祉高地,以南昌市为中心,大力推动大南昌都市圈建设,是发挥鄱阳湖区福祉高地辐射带动作用的关键。福祉水平低—低集聚区的缩小反映了江西省全面建成小康社会的成效,目前的福祉水平低—低集聚区是后小康社会鄱阳湖区需要给予关切的地区,特别要提高福祉水平低—低集聚区在人力资本、经济资本、社会资本、自然资本的协同发展。此外,也要从福祉高一低集聚区入手,逐步消除高福社区域福祉空间溢出效应的障碍。

(3)鄱阳湖区福祉系统的情景模拟结果显示,鄱阳湖区多维福祉水平仍有较大的提升空间。可持续发展模式下鄱阳湖区福祉水平最高,促进四种资本的协同增长是提升鄱阳湖区福祉水平的优选途径。社会资本与人力资本的投入是提升鄱阳湖区福祉最有效的手段,有助于鄱阳湖区福祉水平的短期提升;经济资本是鄱阳湖区福祉水平长期发展的不竭动力。

经济增长并不必然带来福祉水平的改善,福祉水平的提升需要人力资本、经济资本、社会资本与自然资本的协同发展。长期以来,经济发展与生态环境保护曾被视为相互对立的两个方面。鄱阳湖区既是江西省乃至

全国重要的自然资源宝库,又是江西经济发展的“重镇”,经济发展需要与生态保护需求之间的矛盾备受关注。“两山理论”为鄱阳湖区发展指明了方向,在可持续发展思想的指导下,四大资本的协同发展是对“两山理论”指导区域发展的实践探索。未来鄱阳湖区一方面应注重发挥高福祉集聚区的带动作用,提升福祉低—低集聚区的福祉能力,释放福祉高—低集聚区的发展潜力,激发低福社区县的福祉后发优势,进一步推动鄱阳湖区福祉空间均衡发展。另一方面仍需加强四大资本间的协同提升,深刻践行“绿水青山就是金山银山”这一科学论断,合理利用鄱阳湖区自然资本的优势,坚持走一条强可持续发展道路,充分发挥社会资本、人力资本的短期效应与经济资本的长期驱动效应,促进鄱阳湖区生态发展、经济富裕与人民福祉稳步提升。

参考文献 (References):

- [1] 胡振鹏,葛刚,刘成林,陈伏生,李述. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水水位对其影响研究. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 597-605.
- [2] 青连斌. 为人民谋幸福: 坚持和发展中国特色社会主义的根本目的. 国家治理, 2017, (48): 5-12.
- [3] 王圣云. 区域发展空间均衡的福祉地理学研究——以鄱阳湖区为例. 北京: 科学出版社, 2017.
- [4] 罗玉婷. 鄱阳湖区居民福祉空间差异测度及空间均衡的动力机制研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2017.
- [5] 马亚亚, 刘国彬, 张超, 王杰. 陕北安塞县生态与经济系统耦合协调发展. 生态学报, 2019, 39(18): 6840-6849.
- [6] 佩德罗·孔塞桑, 罗米娜·班德罗. 主观幸福感研究文献综述. 卢艳华, 译. 国外理论动态, 2013, (7): 10-23.
- [7] Gasper D. 人类福利: 概念和概念化. 陆丽娜, 译. 世界经济文汇, 2005, (3): 65-91.
- [8] United Nations Development Programme. Human Development Report 1990. New York: Oxford University Press, 1990.
- [9] 陈明星, 周园, 汤青, 刘晔. 新型城镇化、居民福祉与国土空间规划应对. 自然资源学报, 2020, 35(6): 1273-1287.
- [10] 世界银行. 扩展衡量财富的手段: 环境可持续发展的指标. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [11] Bebbington A, Hinojosa-Valencia L, Muñoz D, Lizarazú R E R. Livelihoods and resource accessing in the Andes: desencuentros in theory and practice//Gough I, McGregor J A, eds. Wellbeing in Developing Countries: from Theory to Research. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 176-198.
- [12] 张永民. 生态系统与人类福祉: 评估框架. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [13] 马克·安尼尔斯基. 幸福经济学: 创造真实财富. 林琰, 译. 北京: 社会科学文献出版社, 2010.
- [14] 蔡海生. 大湖区域土地利用变化与生态管理——以鄱阳湖区为例. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [15] Tian Q, Brown D G, Bao S M, Qi S H. Assessing and mapping human well-being for sustainable development amid flood hazards: Poyang Lake Region of China. Applied Geography, 2015, 63: 66-76.
- [16] 吴威, 吴松, 陈爽. 基于 SD 模型分析的环鄱阳湖地区发展模式探讨. 湖泊科学, 2012, 24(2): 252-258.
- [17] 朱杰, 卢春天, 石金莲, 张丽荣, 潘哲. 自然保护区居民福祉的历时性——以陕西佛坪国家级自然保护区为例. 生态学报, 2019, 39(22): 8299-8309.
- [18] 王圣云, 翟晨阳. 国民福祉供需匹配及其空间均衡——以鄱阳湖区为例. 北京: 经济科学出版社, 2020.
- [19] Gundelach P, Kreiner S. Happiness and life satisfaction in advanced European countries. Cross-Cultural Research, 2004, 38(4): 359-386.
- [20] Brehm J, Rahn W. Individual-level evidence for the causes and consequences of social capital. American Journal of Political Science, 1997, 41(3): 999-1023.
- [21] Bruni L, Stanca L. Income aspirations, television and happiness: evidence from the world values survey. Kyklos, 2006, 59(2): 209-225.
- [22] Isham J, Kelly T, Ramaswamy S. Social Capital and Economic Development: Well-Being in Developing Countries. Northampton: Edward Elgar, 2002.
- [23] 吴士炜, 汪小勤. 基于 Sen 可行能力理论测度中国社会福利指数. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(8): 49-55.
- [24] 孙才志, 于广华, 王泽宇, 刘锴, 刘桂春. 环渤海地区海域承载力测度与时空分异分析. 地理科学, 2014, 34(5): 513-521.
- [25] 杨爱婷, 宋德勇. 中国社会福利水平的测度及对低福利增长的分析——基于功能与能力的视角. 数量经济技术经济研究, 2012, 29(11): 3-17, 148-148.
- [26] 赵克勤. 基于集对分析的方案评价决策矩阵与应用. 系统工程, 1994, 12(4): 67-72.
- [27] 万广华. 不平等的度量与分解. 经济学, 2008, 8(1): 347-368.
- [28] 孙平军, 修春亮, 丁四保, 魏冶. 东北地区发展的非均衡性与空间极化研究. 地理科学进展, 2011, 30(6): 715-723.
- [29] 王庆喜, 蒋烨, 陈卓咏. 区域经济研究实用方法: 基于 ArcGIS, GeoDa 和 R 的运用. 北京: 经济科学出版社, 2014.
- [30] 李恩康, 陆玉麒, 黄群芳, 文玉钊. 泛珠江—西江经济带经济差异时空演变及其驱动因素. 经济地理, 2017, 37(5): 20-27.
- [31] Haghshenas H, Vaziri M, Gholamialam A. Evaluation of sustainable policy in urban transportation using system dynamics and world cities data: a case study in Isfahan. Cities, 2015, 45: 104-115.
- [32] 贾仁安, 刘静华, 邓群钊, 涂国平, 张南生. 反馈系统发展规划的对策实施效应仿真评价. 系统工程理论与实践, 2011, 31(9): 1726-1735.
- [33] Saisel A K, Barlas Y, Yenigün O. Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach. Journal of Environmental Management, 2002, 64(3): 247-260.
- [34] Fong W K, Matsumoto H, Lun Y F. Application of system dynamics model as decision making tool in urban planning process toward stabilizing carbon dioxide emissions from cities. Building and Environment, 2009, 44(7): 1528-1537.
- [35] 顾朝林, 管卫华, 刘合林. 中国城镇化 2050: SD 模型与过程模拟. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(7): 818-832.