

广东省城镇化与生态环境耦合水平分析与预测

凌立文,余平祥

(华南农业大学 数学与信息学院,广州 510642)



摘要:协调快速城镇化过程与生态环境之间的矛盾关系是我国下一阶段城镇化工作中的重点。基于广东省2005—2013年所构建的城镇化和生态环境的评价指标体系,进行实证分析,结果显示城镇化水平呈现快速上升趋势,而生态环境水平则存在区域间的发展差异。运用耦合协调度模型计算表明,广东省及各研究对象于2009年进入基本协调区间;结合灰色预测模型对2014—2018年的耦合协调度进行预测,结果显示广东省将率先进入高度协调区间,但粤西地区则呈现明显的落后趋势。该地区需重视对生态环境的保护,加大资金投入与政策倾斜,使城镇化进程与环境建设相协调,防止逐渐恶化的生态环境成为经济建设与社会发展的制约因素。

关键词:城镇化;生态环境;耦合关系;灰色预测;广东省

中图分类号:F323.22

文献标识码:A

文章编号:1009-9107(2016)04-0138-08

引言

改革开放以来,我国经历了世界历史上规模最大并且速度最快的城镇化进程,城镇化率从1980年的19.5%增长至2013年的53.7%。国家新型城镇化规划(2014—2020年)中明确指出城镇化是保持我国经济持续健康发展的强大引擎,是促进社会全面进步的必然要求。然而,快速城镇化引发的资源耗竭、环境污染、人居环境恶化、居民健康等问题以及对城市生态基础设施和区域生态系统服务功能的胁迫^[1],却成为我国实现可持续发展所面临的重大挑战。一系列诸如耕地面积减少、耕地质量下降、濒危动植物种类增加、河流湖泊水质恶化、垃圾围城、雾霾锁城等的生态环境问题频发,不仅严重降低了国民的生活质量,也在一定程度上制约了经济建设的开展。在此背景下,党的十八大报告和中央经济工作会议连续提出要积极稳妥推进城镇化,着力提高城镇化质量,把生态文明理念和原则全面融入城镇化全过程。可见,能否在快速城镇化的进程中解决资源环境保障问题,使城镇化建设与资源环境承

载能力相适应,协调经济发展与生态环境保护之间的矛盾关系,是决定我国未来几十年新型城镇化发展前景的基础性科学问题^[2]。

城镇化是具有中国特色的产物,自20世纪80年代起,马世骏教授和王如松院士开创性地开展了对城镇化与生态环境互动关系的理论研究,并提出了“社会—经济—自然复合生态系统”的研究框架^[3];发展到21世纪初,针对城镇化与生态环境之间相互作用关系及机理的定量研究逐渐增多^[4-6]。在相关研究中,存在“城镇化”与“城市化”概念混用的现象,有的学者以城市规模为划分界限,百万人口以上的为城市化,以下的则为城镇化^[7]。我们认为,城镇化与城市化之间并没有本质的差异,都是反映了以传统农牧业为主的乡村社会向以第二、三产业为主的现代社会转变的过程,因此在本研究中统一使用城镇化这一概念,以与国家相关文件保持一致。在当前研究中较为常见的是对城镇化与生态环境之间的耦合度及协调度进行测度研究^[8]以及运用EKC曲线验证两者之间的关系^[9],研究方法主要有系统分析法、计量经济法和预测法,研究尺度涵盖了

收稿日期:2016-01-08 DOI:10.13968/j.cnki.1009-9107.2016.04.20

基金项目:广东省哲学社会科学规划共建项目(GD14XGL27)

作者简介:凌立文(1983—),女,华南农业大学数学与信息学院讲师,博士研究生,主要研究方向为城市经济与生态文明。

国家、区域^[10]及城市^[11],其中又以城市为研究重点。总体而言,当前研究呈现出由静态、定性分析转向动态、定量评价的趋势,为人们进一步研究城镇化与生态环境的关系奠定了基础。

广东省是我国快速城镇化地区的典型代表。针对广东省在经济社会建设过程中出现的各种环境问题,省政府自2005年以来制定了一系列有关环境保护、节能减排、产业升级等的文件及行动纲领,以实际行动建设和谐广东、绿色广东,最终实现统筹人与自然和谐发展,促进经济、社会与环境全面、协调、可持续发展的终极目标。本文借助物理学中的耦合概念,对广东省2005—2013年间城镇化与生态环境之间的关系展开分析,并运用灰色预测理论对其耦合协调度进行预测,为政府相关部门制定城镇化战略提供参考与借鉴。

一、城镇化与生态环境评价及耦合模型构建

(一)城镇化与生态环境之间的相互作用关系

目前人们惯用城镇化率来衡量某一地区的城镇化进程,在政府的工作报告中常以此作为度量指标。然而,城镇化过程并不简单地表现为城镇人口占常住人口比重的增加,更多的是一个多要素综合变化、发展的过程。由于城镇人口的增加,伴随着城镇自然、人文景观的改变,产业结构的调整与升级,人民生活方式及观念的改变。基于此认识,我们用人口城镇化、空间城镇化、经济城镇化、社会城镇化这四个子要素来描绘城镇化的内涵^[12]。其中,人口城镇化是其基础,在快速城镇化的进程中,迅速扩张的城镇人口会对生态环境产生严重的胁迫效应,主要体现为对自然资源的消耗及废弃物的过量排放。经济城镇化是其核心,正是由于城乡之间存在经济发展的差异,才导致越来越多的人口从农村地区流向城镇地区。经济城镇化存在正、负两方面的外部性,通常在经济发展的初级阶段表现为负外部性,意味着经济建设需要以牺牲环境为代价;当经济发展到一定程度时,充分的资金又可用于对环境的保育及建设,此为正外部性。空间城镇化是其外在表现,随着城镇区域面积的扩大及土地利用性质的改变导致人地矛盾日益突出,并进一步衍生出自然人文景观的破坏及交通拥堵等问题。社会城镇化是其终极目标,意图通过人们生活方式及消费观念的改变以确保经济建设与生态环境之间能保持和谐、可持续

的良性发展关系,并且将城市现代文明的理念渗透到农村地区,使城乡协调均衡发展,是较高层次生态文明的追求,对城镇化过程有正向提升作用^[13]。

总体而言,城镇化进程对生态环境会产生一定的胁迫作用,而生态环境也会对城镇化进程形成一定的约束作用。如果不对持续恶化的生态环境加以适当管治,则必然会出现资金外流及人口迁出等的“逆城市化”现象^[14]。因此,对城镇化与生态环境之间的相互作用关系进行定量分析,有助于指导城镇化进程的健康、持续开展。

(二)城镇化与生态环境评价模型构建

为了对城镇化与生态环境之间的相互作用关系进行分析,首先需要构建城镇化及生态环境的评价模型。本文采取频度统计法及专家咨询法进行模型的指标筛选,在中国知网中检索近10年间所有相关的文献,对其中出现的指标进行频度统计,选取高频指标构成初步的评价模型,再根据专家咨询的意见对指标进行调整,以形成最终的评价模型。其中,城镇化水平评价模型包含人口、经济、空间、社会城镇化4个子系统;生态环境水平评价模型借助PSR(pressure-state-response)理论进行构建,包括系统压力、系统状态、系统反应3个子系统。其中,压力指标表征人类活动给环境造成的压力,例如人口数量及各种污染物排放量等;状态指标表征特定时间阶段的环境状态和环境变化情况,包括生态系统与自然环境现状,人类的生活质量和健康状况等;响应指标指社会和个人如何行动来减轻、阻止、恢复和预防人类活动对环境的负面影响,以及对已经发生的不利于人类生存发展的生态环境变化进行补救的措施^[15,16]。

(三)权重的确定及无量纲化

权重是权衡被评价事物中若干因素相对重要程度的量值,唯有科学合理确定权重,才能使评价指标体系更科学、使评价更合理。常用的指标赋权方法有:主观赋权法、客观赋权法和组合赋权法。主观赋权法是指根据专家的知识、经验对指标赋予相应的权重,操作简单,但主观性大、数据的可重复性差;客观赋权法是指根据指标的原始数据计算处理后得到的各指标对应权重系数,但权重的分配受到样本数据的影响,导致数据的不可继承性。鉴于不同方法各自具有优缺点,有学者提出使用主观赋权法和客观赋权法的结合,即组合赋权法来确定权重^[17]。本文同样采取组合赋权法来确定权重,首先向专家发放问卷,将各级评价指标的相对重要程度分为5个

等级:非常重要(5 分),重要(4 分),一般(3 分),不重要(2 分),非常不重要(1 分),在专家打分后,通过简单的计算以得到主观权重^[18];然后使用变异系数法并结合统计年鉴的数据以确定客观权重^[19]。最终组合权重的计算公式为: $W_{\text{组合}}(i)=\lambda W_{\text{主}}(i)+(1$

$-\lambda)W_{\text{客}}(i)$ 。其中, $W_{\text{组合}}(i)$ 表示第 i 个指标的组
合权重, $W_{\text{主}}(i)$ 表示使用德尔菲法得到的第 i 个指
标的主观权重, $W_{\text{客}}(i)$ 表示使用变异系数法得到的第 i
个指标的客观权重, λ 为偏好系数,且 $\lambda \in (0,1)$,在
本研究中, λ 取值 0.5,计算结果如表 1 所示。

表 1 广东省城镇化与生态环境水平综合评价指标体系及权重

目标层	准则层	指标层	主观权重	客观权重	组合权重
城 镇 化 水 平	人口城镇化 (0.159 9)	户籍非农业人口比重	0.050 5	0.003 9	0.027 2
		城镇人口比重	0.058 3	0.012 3	0.035 3
		第三产业就业人口比重	0.049 7	0.028 3	0.039 0
		非农产业就业人口比重	0.051 3	0.014 7	0.033 0
		城镇登记失业率	0.042 8	0.008 1	0.025 4
	经济城镇化 (0.358 1)	人均 GDP(元/人)	0.049 5	0.092 6	0.071 1
		第二产业产值比重	0.040 1	0.007 2	0.023 7
		第三产业产值比重	0.044 8	0.010 3	0.027 6
		人均地方财政收入(元/人)	0.044 1	0.131 4	0.087 8
		城镇居民人均可支配收入(元/人)	0.047 5	0.092 6	0.070 0
	空间城镇化 (0.190 3)	人均社会消费品零售总额(元/人)	0.044 1	0.111 8	0.078 0
		人口密度(人/平方公里)	0.055 4	0.017 6	0.036 5
		人均公园绿地面积(平方米/人)	0.052 2	0.058 4	0.055 3
		人均房屋建筑施工面积	0.048 9	0.058 8	0.053 9
		人均通车里程(米/人)	0.050 5	0.038 8	0.044 7
	社会城镇化 (0.291 6)	每万人口拥有医生人数	0.047 7	0.048 8	0.048 3
		每万人口拥有医疗床位数	0.048 4	0.057 8	0.053 1
		每千万人口拥有公共图书馆数	0.044 4	0.005 2	0.024 8
		城镇污水处理率	0.046 4	0.103 7	0.075 0
		单位 GDP 能耗	0.041 7	0.052 3	0.047 0
生 态 环 境 水 平	系统压力 (0.402 0)	人均电力消费量	0.041 7	0.045 4	0.043 6
		人均施工建筑面积	0.040 5	0.061 6	0.051 1
		耕地单位面积化肥施用量(折纯)	0.039 1	0.042 0	0.040 5
		人均工业固体废物产生量	0.051 6	0.050 7	0.051 2
		人均工业废水排放总量	0.049 8	0.075 0	0.062 4
		人均工业废气排放总量	0.051 6	0.174 1	0.112 8
		单位 GDP 能耗	0.053 1	0.049 1	0.051 1
		人口密度	0.049 4	0.016 5	0.033 0
		第三产业占 GDP 百分比	0.078 4	0.009 7	0.044 0
		城市人均公园绿地面积	0.090 9	0.054 9	0.072 9
	系统状态 (0.215 9)	建成区绿化覆盖率	0.092 3	0.021 3	0.056 8
		人均耕地面积	0.063 0	0.021 2	0.042 1
		节能保护支出占财政支出比重	0.055 1	0.217 7	0.136 4
	系统反应 (0.382 1)	科学技术支出占财政支出比重	0.054 3	0.036 9	0.045 6
		教育事业支出占财政支出比重	0.050 0	0.035 8	0.042 9
		各市工业固体废物综合利用率	0.056 9	0.016 9	0.036 9
		工业废水处理率	0.062 0	0.019 1	0.040 6
		城市集中污水处理率	0.062 0	0.097 4	0.079 7

由于评价指标体系中各个指标的单位不一致,为方便后期数据的计算与评判,必须对每个指标进行无量纲化处理,即进行数据标准化。无量纲化处

理过程中,评价指标包括正向指标和负向指标两种类型,其取值范围皆为[0,1]。正向指标式(1)和负向指标式(2)的计算公式如下^[20]。

$$x_i' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

$$x_i' = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

其中, x_i' 表示标准化处理后第 i 个指标的值, x_i 表示第 i 个指标的原始数据值, $x_{\max}$ 表示第 i 个指标在研究范围内的最大值, $x_{\min}$ 表示第 i 个指标在研究范围内的最小值。

(四) 城镇化与生态环境耦合协调模型的构建

耦合作为一个物理学概念,是指两个系统或运动形式通过各种相互作用而彼此影响的现象,耦合度就是描述系统或要素彼此相互作用影响的程度。耦合度模型为:

$$C = \{[u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \cdots u_n] / [\prod (u_i + u_j)]\}^{1/n} \quad (3)$$

对于城镇化与生态环境耦合模型而言,存在两个系统,因此 n 取 2, 可得城镇化与生态环境耦合模型为:

$$C = \{[u_1 \cdot u_2] / [(b_1 + u_2)(b_1 + u_2)]\}^{1/2} \quad (4)$$

其中, C 为耦合度, u_1 为城镇化子系统, u_2 为生态环境子系统。为了更好地反映城镇化与生态环境的协调发展程度,减少只依靠耦合度程度分析所产生的误差,故引入耦合协调度来判断城镇化与生态环境交互过程的协调程度。耦合协调度计算方法如公式(6)所示。

$$T = au_1 + bu_2 \quad (5)$$

$$D = (C \cdot T)^{1/2} \quad (6)$$

其中, D 为耦合协调度, C 为耦合度, T 为城镇化与生态环境综合调和指数,它反映城镇化与生态环境的整体协同效应或贡献。式中 a 、 b 为待定系数,相关学者的研究表明,城镇化子系统与生态环境子系统所占贡献份额的大小对整体耦合协调度的影响不大^[21],故取 $a=b=0.5$ 。一般认为, $0 < D \leq 0.3$ 时,系统之间严重不协调; $0.3 < D \leq 0.5$ 时,系统之间基本不协调; $0.5 < D \leq 0.8$ 时,系统之间基本协调; $0.8 < D \leq 1$ 时,系统之间高度协调。此外,定义 u_1 为城镇化系统, u_2 为生态环境系统,若有 $u_1 - u_2 > 0.1$, 则说明生态环境系统的发展滞后于城镇化系统,反之亦然。 $0 < |u_1 - u_2| < 0.1$, 则说明两者协调发展。

二、实证研究

(一) 研究对象与数据来源

广东省地处中国大陆最南部,全境位于北纬 $20^{\circ}09' \sim 25^{\circ}31'$ 和东经 $109^{\circ}45' \sim 117^{\circ}20'$ 之间,省陆地

面积 17.98 万平方公里,约占全国陆地面积的 1.85%。广东是中国经济总量最大和发展最快的省份,其经济总量连续 25 年蝉联全国第一^[22],城镇化率也一直高居全国首位。据《2015 年广东统计年鉴》,全国的城镇化率为 53.7%,广东省的城镇化率为 68.0%,在所有省份中位列第一。本文以广东省为研究对象,对其 2005—2013 年间城镇化与生态环境的耦合关系进行分析;同时分别以广州、河源、汕头、阳江作为粤中、粤北、粤东和粤西地区市代表,分析广东省内不同区域的发展差异。研究数据来源于广东省统计信息网 (<http://www.gdstats.gov.cn/>)、广州统计信息网 (<http://www.gzstats.gov.cn/>)、汕头统计信息网 (<http://stjtj.shantou.gov.cn/>)、阳江统计信息网 (<http://www.yjtjj.gov.cn/>)、河源统计信息网 (<http://stats.heyuan.gov.cn/>);广东省、广州、汕头、阳江、河源统计年鉴(2006—2014 年);广东省社会统计年鉴(2006—2014 年)。

(二) 城镇化水平分析

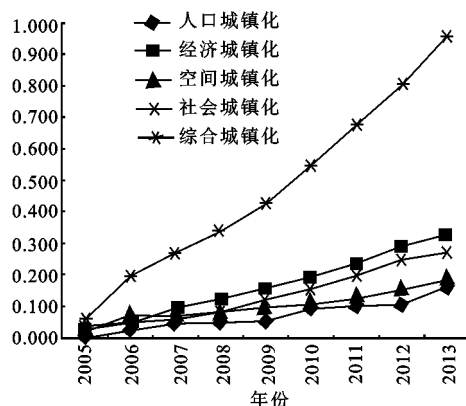


图1 广东省城镇化综合水平时序变动

由表1中可看出,在城镇化评价指标体系中,经济城镇化(0.358 1)所占比重最大,其次为社会城镇化(0.291 6)、空间城镇化(0.190 3)和人口城镇化(0.159 9)。在具体的指标中,人均地方财政收入、人均社会消费品零售总额、城镇污水处理率、人均GDP和城镇居民人均可支配收入是累计贡献度最大的指标,该5个指标在所有21个指标中所占权重接近40%。可见,经济发展以及人民生活水平的提高是广东省城镇化进程的重要动力来源,在下一阶段的城镇化进程中,政府相关部门要继续坚持以经济发展为核心,同时注重社会保障与民生服务的供给,这样方可保证城镇化有序、健康、可持续地发展。

由图1可见广东省在2005—2013年间综合城镇化水平呈快速上升态势,这与我省的发展现状相吻合。这表明广东省在研究期限内保持了经济建设

的快速增长,并逐步提高社会生活水平,城镇人口占常住人口的比例逐年增加,城市的区域范围也相应增大。在四个子系统中,经济与社会城镇化的上升速率较为一致,而人口与空间子系统的变化速率则相对平缓,与之前的权重分析相一致。在人口城镇

化曲线中存在拐点,以 2009 年为界,之前的变化速率较为平缓,之后的变化速率略有提高,表明在 2009 年之后,人口城镇化对综合城镇化的贡献度有所增加。

表 2 广东省及四个代表城市的综合城镇化水平

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
广东省	0.068	0.196	0.267	0.338	0.427	0.548	0.676	0.801	0.954
广州	0.098	0.220	0.349	0.388	0.427	0.555	0.645	0.726	0.896
汕头	0.135	0.241	0.246	0.342	0.402	0.554	0.674	0.758	0.882
阳江	0.068	0.164	0.290	0.379	0.436	0.552	0.666	0.808	0.935
河源	0.227	0.322	0.347	0.350	0.415	0.528	0.706	0.777	0.885

表 2 展示的是广东省及四个代表城市在研究期限内的综合城镇化水平,从数据的变化趋势可看出,各城市之间的差距正在逐渐缩小,2005 和 2006 这两年中各城市的得分还存在一定差距,自 2008 年起,数据则呈现较明显的集中态势,这表明尽管城市所处的区位有所不同,但都对城镇化给予了相当的重视,将其视为经济建设与社会发展的重要动力来源。

(三)生态环境水平分析

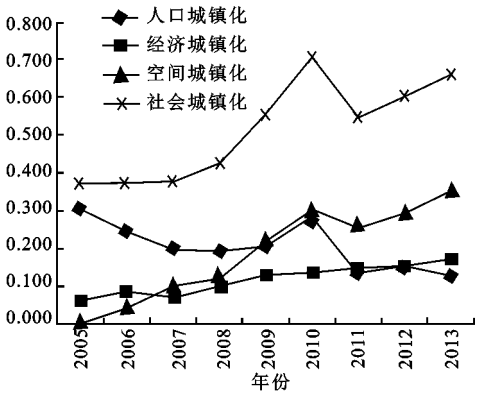


图 2 广东省生态环境水平时序变化

由表 1 可得,系统压力(0.402 0)在生态环境评价系统中所占比重最大,其次为系统反应(0.382 1)和系统状态(0.215 9)。在具体的指标中,节能保护支出占财政支出比重、人均工业固体废物排放量、城市集中污水处理率和城市人均公园绿地面积为累计贡献度最大的指标,该 4 个指标在所有 17 个指标中所占权重达到 40%。可见广东省当前所面临的生态环境压力还是较大的,但也做出了相应积极的响应措施,今后要继续增加对节能环保的资金投入、做好对工业固废及城市污水的处理工作以及加大城市绿化工程的建设,方能保证生态环境与经济建设同步、协调发展。

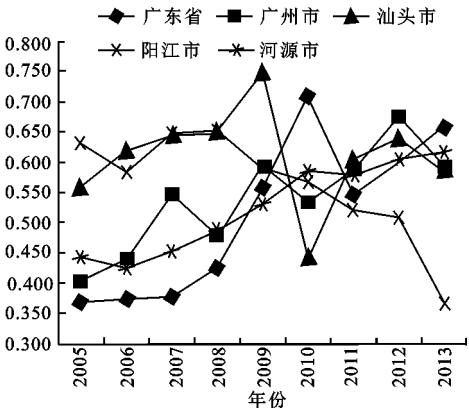


图 3 广东省及四个代表城市的生态环境总体水平时序变化

图 2 显示了广东省生态环境总体水平以及各子系统在研究期限内的变化趋势。生态环境总体水平呈现明显的波动上升态势,自 2008 年开始进入快速上升通道,到 2010 年达到顶峰,此后经过一年的回落调整后继续上升。系统反应曲线的变化趋势与总体水平的最为相似,均呈现出以 2010 年为拐点的变动形态。系统压力则呈现匀速的下降趋势,与系统反应曲线相交于 2009 年并呈现出剪刀叉的形态,说明系统反应能力的提升是促使系统压力下降的重要因素。系统现状在研究期限内则保持了稳步的上升趋势,说明在系统压力与系统反应的综合作用之下,系统的总体趋势还是向好的。

由图 3 可见,不同城市的生态环境总体水平在研究期限内呈现出不同变动趋势,其中,广东省、广州市和河源市总体呈现上升态势,广州市的波动比河源市更为明显;汕头市的总体水平无明显变化,但在 2009—2011 年间的波动剧烈;阳江市则在 2008 年后呈现急剧的下降趋势,这与广东省政府自 2008 年实施的“腾笼换鸟”产业转型升级战略有关,一些劳动密集型企业以及高能耗、高污染企业,如石化厂、造纸厂、电镀厂等从珠三角地区搬迁至粤西地

区,虽然有效促进了当地的二、三产业发展,但却给生态环境带来严重的破坏,这是政府相关部门值得警惕的。

(四)城镇化与生态环境耦合协调度及滞后程度分析

通过计算发现研究期限内所有研究对象的耦合度都落在 0.3~0.5 区间,表明广东省及各个代表城市都处于快速城镇化发展时期,需要大量的资金、资源及劳动力投入,对资源消耗需求的增加使得生态环境承载力下降。对于耦合协调度,0.5 是区分系统之间是否协调发展的转折点。

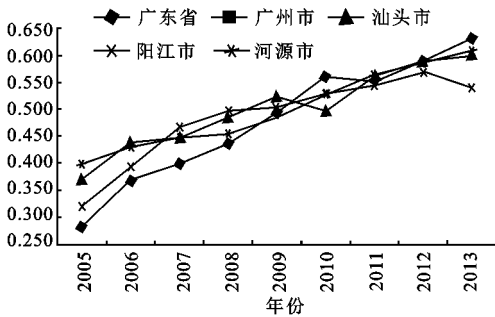


图 4 城镇化与生态环境耦合协调度时序变化

由图 4 可见,自 2009 年起,各研究对象均开始转入协调发展阶段并保持稳步增长态势,且各研究对象

的得分差距开始逐步缩小。在此过程中,阳江市耦合协调度的变动趋势有异于其他研究对象。在其他研究对象都表现出较一致的增长趋势时,阳江市却从 2008 年开始放缓了增长速率。进一步从表 2 和图 3 的原始数据看,阳江市的城镇化综合水平在研究期限内一直走高并领先于其他城市,但由于其生态环境水平的快速下降,正是由于两个系统的不同步发展导致其耦合协调度降低。此外,为进一步分析城镇化系统与生态环境系统在耦合协调过程中的相互作用,借用前面所提到的方法计算两个系统的相对滞后程度,结果如表 3 所示。由表 3 可见在 2009 年之前,城镇化系统大多滞后于生态环境系统的发展,这表明在该时期虽然城镇化一呈现快速发展的态势,但还未超出生态环境的承载范围;2009 年之后,生态环境滞后的情况有所增多,从前文对城镇化综合水平的分析也可看出,这一时期城镇化曲线的斜率要大于前一时期,表明更高强度的城镇化进程给生态环境施加了更大的压力,致使出现生态环境滞后的现象。在 5 个研究对象之中,广州市出现协调的次数最多,表明广州市的城镇化系统与生态环境系统之间具有更好地自适应、自调节能力,这与广州市的中心城市的地位相吻合。

表 3 城镇化系统与生态环境系统的相对滞后程度

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
广东省	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	协调	城镇化 滞后	城镇化 滞后	生态环境 滞后	生态环境 滞后	生态环境 滞后
广州	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	协调	城镇化 滞后	协调	协调	协调	生态环境 滞后
汕头	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	生态环境 滞后	协调	生态环境 滞后	生态环境 滞后
阳江	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	协调	生态环境 滞后	生态环境 滞后	生态环境 滞后
河源	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	城镇化 滞后	协调	生态环境 滞后	生态环境 滞后	生态环境 滞后

三、城镇化与生态环境耦合协调关系预测分析

(一)灰色预测模型

灰色预测模型适用于对小样本、贫信息、不确定性的系统进行时间序列的预测^[23],目前在社会、经济、科技等领域的决策分析中已得到广泛的应用,其中尤以 GM(1,1)模型的应用最为广泛。本文选择该模型作为预测的理论工具,其建模的步骤如下^[24]。

1. 收集原始数列为 $x^{(0)}$,对 $x^{(0)}$ 做累加处理生成 $AGOx^{(0)}$,构造矩阵 B, Y_N ;
2. 计算 $\hat{x} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n = [\partial, u]^T$,其中 $-\partial$ 为发展灰数, u 为内生控制灰数;
3. 将求得的 $\hat{x}$ 代入响应方程 $\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x_{(1)}^{(1)} - \frac{u}{\partial}]e^{-\partial k} + \frac{u}{\partial}$
4. 对 $\hat{x}^{(1)}(k+1)$ 求导还原为预测模型 $\hat{x}^{(0)}(k+1)$,并进行精度检验;
5. 若检验结果可用,则用 $\hat{x}^{(0)}(k+1)$ 作为预测模型,否则需建立残差模型对 $\hat{x}^{(1)}(k+1)$ 进行修正。

(二) 预测过程

以下以广东省 2005—2013 年的耦合协调度为例,展示 GM(1,1)模型的预测过程。令 $x^{(0)}(k) = (0.282\ 1, 0.367\ 8, 0.398\ 6, 0.435\ 5, 0.493\ 2, 0.557\ 6, 0.551\ 1, 0.589\ 2, 0.629\ 3)$, 对 $x^{(0)}$ 进行累加处理后生成 $AGOx^{(0)}(k) = (0.068, 0.264, 0.531, 0.869, 1.296, 1.844, 2.519, 3.320, 4.274)$ 。经软件运算得到时间序列响应方程:

$$\begin{cases} \hat{x}^{(1)}(k+1) = 4.953\ 2E^{0.074\ 3k} - 4.671\ 1 \\ \hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \end{cases} \quad (7)$$

接下来需对模型进行精度检验以确定模型是否能用于预测。

1. 相对误差。由响应方程得到原始数列的模拟数列:

$$\hat{x}(k) = (0.282\ 1, 0.382\ 2, 0.411\ 7, 0.443\ 4, 0.477\ 6, 0.514\ 5, 0.554\ 2, 0.596\ 9, 0.643\ 0)$$

将数列 $x^{(0)}(k)$ 与 $\hat{x}(k)$ 相减,可得相对误差数列:

$$\varepsilon(k) = (0, -0.014\ 4, -0.013\ 1, -0.007\ 9, 0.015\ 6, 0.043\ 1, -0.003\ 1, -0.007\ 7, -0.013\ 7)$$

计算出平均相对误差 $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{9} \sum_{k=1}^9 \varepsilon(k) = -0.000\ 1$ 。对照表 4,相对误差为一级。

2. 均方差比。均方差比 $C = S_2/S_1$,其中 S_2 为相对误差的均方差, S_1 为原始数据的均方差。

则有 $C = 0.018\ 7/0.115\ 0 = 0.162\ 7$ 。对照表 4,均方差比为一。

3. 小误差概率。小误差概率 p 衡量所有相对误差与其均值之差的绝对值是否小于 $0.674\ 5S_1$ 。

$P = P(|\varepsilon(k) - \bar{\varepsilon}| < 0.674\ 5S_1) = 1 > 0.95$,对照表 4,小概率误差为一级。

以上检验表明模型具有良好的精度,故可用公式(7)预测广东省城镇化与生态环境耦合协调度的变化。

表 4 灰色预测精度检验等级表^[24]

精度等级	相对误差	均方差比值	小误差概率
一级	0.01	0.35	0.95
二级	0.05	0.50	0.80
三级	0.10	0.65	0.70
四级	0.20	0.80	0.60

(三) 预测结果

结合上述的预测模型,对广东省 2014—2018 年

的城镇化与生态环境耦合协调度进行预测的结果如图 5 所示。其中 2005—2013 年的为实际数据,2014—2018 年的为预测数据。

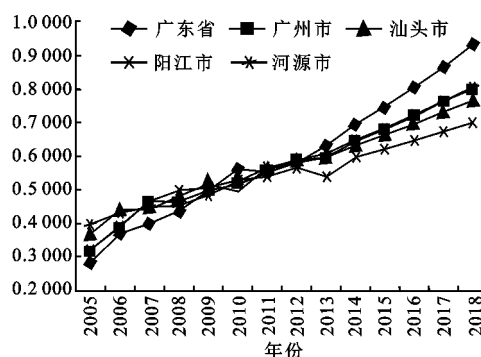


图 5 广东省城镇化与生态环境耦合协调度

由前面对耦合协调度的区间划分可知,0.8 是系统从基本协调到高度协调的区分点。从预测数据可见,在五个研究对象中,广东省将率先于 2016 年进入城镇化与生态环境高度协调的发展阶段,其次是广州市和河源市。协调度最低的是阳江市,自 2014 年起才进入基本协调区间,其后一直保持缓慢的增长幅度,从曲线的变化趋势来看,估计要到 2022 年前后才能进入高度协调区间,远远落后于其他城市。

四、结论和讨论

快速城镇化进程需要以大量的劳动力转移及资源供给为基础,势必给生态环境造成一定的负面压力,对城镇化与生态环境之间的相互作用关系进行定量度量有助于制定可持续发展的城镇化战略。本文构建了城镇化和生态环境的评价指标体系,以广东省为研究对象进行定量测度,以定量测度的结果为基础进行了城镇化与生态环境的耦合协调度分析及预测,得到结论如下:

1. 从指标体系的权重来看,经济城镇化(0.358 1)在城镇化评价系统中所占比重最大,其次为社会城镇化(0.291 6)、空间城镇化(0.190 3)和人口城镇化(0.159 9);系统压力(0.402 0)在生态环境评价系统中所占比重最大,其次为系统反应(0.382 1)和系统状态(0.215 9)。可见,经济发展作为广东省城镇化核心动力的同时也给生态环境造成了较大的压力。在下一阶段的城镇化进程中,政府相关部门要继续坚持以经济发展为核心,同时注

重社会保障与民生服务的供给,加大对生态环境保育及恢复方面的资金投入与政策倾斜,这样方可保证城镇化可持续地发展。

2. 2005—2013年间,广东省的城镇化整体水平快速提高,且地区差异不明显。生态环境水平则表现出地区差异,广东省、广州市、河源市呈现较一致的上升趋势,汕头市基本保持平稳,阳江市则急剧下降。说明阳江市在受益于产业转型升级政策的同时,也付出了巨大的生态环境代价。耦合协调度能反映区域之间城镇化与生态环境之间是否同步协调发展,结果表明,随着社会环保意识的增加,自2009年后所有研究对象均进入了基本协调的区间,且更多地表现出生态环境发展的落后。这说明目前城镇化建设的强度已超出了生态环境的承载范围,必须进一步重视对环境的保护和建设工作,如果两者之间的不均衡发展逐渐扩大,将会对经济建设形成制约作用。

3. 运用GM(1,1)模型构建的预测方程具有较好的预测精度。从对2014—2018年的预测结果来看,广东省将率先进入高度协调发展阶段,其次是广州市和河源市,阳江市则呈现明显的落后趋势,阳江市的落后源于其在生态环境子系统得分的快速下降,导致与城镇化子系统发展不同步。因此,以阳江市为代表的粤西地区应尽快将经济建设的重心转向环境保护,使经济发展与生态改善两者间同步发展、良性互动,最终形成全面发展的良好局面。

参考文献:

- [1] 刘耀彬,李仁东,宋学锋.中国城市化与生态环境耦合度分析[J].自然资源学报,2005,20(1):105-112.
- [2] 方创琳,方嘉雯.解析城镇化进程中的资源环境瓶颈[J].中国国情国力,2013(4):33-34.
- [3] 马世骏,王如松.社会—经济—自然复合生态系统[J].生态学报,1984,4(1):1-9.
- [4] 马利邦,牛叔文,李怡欣.甘肃省城市化与生态环境耦合的量化分析[J].城市发展研究,2010,17(5):52-58.
- [5] 宋超山,马俊杰,杨风,等.城市化与资源环境系统耦合研究——以西安市为例[J].干旱区资源与环境,2010,24(5):86-90.
- [6] 宋建波,武春友.城市化与生态环境协调发展评价研究——以长江三角洲城市群为例[J].中国软科学,2010(2):78-87.
- [7] 郝希,乔元波,武康平,等.可持续发展视角下的城镇化与都市化抉择——基于国际生态足迹面板数据实证研究[J].中国人口·资源与环境,2015,25(2):47-56.
- [8] 刘耀彬,宋学锋.城市化与生态环境的耦合度及其预测模型研究[J].中国矿业大学学报,2005,34(1):91-96.
- [9] 符森.我国环境库兹涅兹曲线:形态、拐点和影响因素[J].数量经济技术经济研究,2008(11):40-54.
- [10] 罗能生,李佳佳,罗富政.城镇化与生态环境耦合关系研究——以长株潭城市群为例[J].湖湘论坛,2014(1):47-52.
- [11] 戴培超,沈正平,赵娅汝,等.城镇化与生态环境耦合关系变化分析——以徐州市为例[J].江苏师范大学学报:自然科学版,2014,32(2):18-22.
- [12] 乔标,方创琳.城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用[J].生态学报,2005,25(11):3 003-3 009.
- [13] 候培.城镇化与生态环境的耦合协调发展研究——基于重庆市的面板数据[D].西南大学硕士学位论文,2014.
- [14] 陈彬.新型城镇化进程中的“逆城市化”问题研究[J].宏观经济管理,2015(7):31-33.
- [15] 彭建,吴健生,潘雅婧,等.基于PSR模型的区域生态持续性评价概念模型[J].地理科学进展,2012,31(7):933-940.
- [16] 谢花林,刘曲,姚冠荣,等.基于PSR模型的区域土地利用可持续性水平测度——以鄱阳湖生态经济区为例[J].资源科学,2015,37(3):449-457.
- [17] 杨宇.多指标综合评价中赋权方法评析[J].统计与决策,2006(7):17-19.
- [18] 薄晓明.地方医科大学生物医学科技竞争力实证研究——以某省属医科大学为例[D].山西医科大学硕士学位论文,2011.
- [19] 万年庆,吴国玺,张谦智.河南省城市化与生态环境耦合的量化分析[J].资源开发与市场,2010,26(2):116-119.
- [20] 马利邦,牛叔文,李怡欣.甘肃省城市化与生态环境耦合的量化分析[J].城市发展研究,2010,17(5):52-58.
- [21] 王少剑,方创琳,王洋.京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度[J].生态学报,2015,35(7):1-14.
- [22] 李瑛珊.广东环境质量对经济增长影响实证研究——基于库兹涅兹曲线[J].科技管理研究,2015(2):237-241.
- [23] 刘思峰,邓聚龙.GM(1,1)模型的适用范围[J].系统工程理论与实践,2010(5):121-124.
- [24] 朱卫红,苗承玉,郑小军,等.基于3S技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究[J].生态学报,2014,34(6):1 379-1 390.