

基于 DPSIR-灰色关联分析法的合肥市生态可持续发展研究及动态预测

熊鸿斌, 熊倩 (合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230009)

摘要 [目的]基于 DPSIR 和灰色关联法,探究生态可持续发展变化并提出一种动态预测模型。[方法]结合案例城市合肥市,采用 DPSIR 模型构建评价指标体系,利用灰色关联法计算生态可持续发展;此外,考虑到新旧历史数据对预测结果影响程度不同,引入时间权重,构建动态预测模型。[结果]2008—2016 年合肥市生态可持续发展能力分别为 0.625、0.647、0.659、0.672、0.718、0.740、0.777、0.809、0.897,呈上升的趋势;经济发展水平与产业结构、自然资源与生态环境、污染控制与科技创新为重要影响因子;动态预测模型平均相对误差为 0.009 1,最大误差不超过 2.4%,满足预测精度要求;利用动态预测模型与传统曲线模拟预测合肥市 2017 年生态可持续发展能力的结果分别为 0.973 和 1.050。[结论]该研究建立的动态预测模型具有更强的可行性与可操作性。

关键词 DPSIR;灰色关联法;生态可持续发展;动态预测;合肥市

中图分类号 X 820.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)18-0065-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.18.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Ecological Sustainable Development and Dynamic Prediction of Hefei City Based on DPSIR-Gray Correlation Analysis
XIONG Hong-bin, XIONG Qian (School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009)

Abstract [Objective] Based on DPSIR and grey correlation method, this paper explores the changes of ecological sustainable development and proposes a dynamic prediction model. [Method] Combined with the case city of Hefei, the DPSIR model was used to construct the evaluation index system, and the grey-relational analysis was used to calculate the level of ecological sustainable development; in addition, taking into account the impact of the old and new historical data on the prediction results, this paper introduced the time weights and built a dynamic forecasting model for the ecological sustainable development. [Result] The level of ecological sustainable development in Hefei from 2008 to 2016 was 0.625, 0.647, 0.659, 0.672, 0.718, 0.740, 0.777, 0.809 and 0.897 respectively, which showed an upward trend; economic development level and industrial structure, natural resources and ecological environment, pollution control and technological innovation were important influence factors; the average relative error was 0.009 1, and the maximum error did not exceed 2.4%, which met the forecasting accuracy requirements; dynamic forecasting model and traditional curve simulation were used to predict the ecological sustainable development of Hefei in 2017, and results were 0.973 and 1.050 respectively. [Conclusion] The dynamic forecasting model established in this paper has stronger feasibility and operability.

Key words DPSIR; Grey relational analysis; Ecological sustainable development; Dynamic prediction; Hefei City

近年来,安徽省城市化与工业化发展迅速,水污染和雾霾天气等环境问题也接踵而至。为在追求经济快速发展的同时提高生态环境的承载力,走可持续发展之路,安徽省提出了“生态强省”和“美好安徽”的战略目标。合肥市作为安徽省的政治、文化、经济中心,对合肥市生态可持续发展的研究具有一定意义。

目前学术界对生态综合评价指标构建和评价方法没有形成一个统一适用的标准,且对生态评价动态预测的相关研究很少;相关理论与研究方法还在不断探索之中。夏业领等^[1]利用 DPSIR-加权 TOPSIS 模型对安徽省的生态承载力进行评价;吴涛^[2]基于可变世界产量法和时间序列数据计算安徽省人均生态足迹和人均生态承载力;曹慧等^[3]利用层次分析、线性隶属等方法对南京生态系统进行了评价;巩芳等^[4]运用能值理论对内蒙古农业生态系统可持续发展进行了评价;蒋志华等^[5]从经济-社会-自然复合系统出发,构建生态可持续发展评价指标体系,并运用因子分析法对成都市生态系统可持续发展能力进行了综合评价。笔者拟在前人研究成果的基础上,结合案例城市合肥市,运用 DPSIR 模型建立生态可持续发展评价指标体系,运用灰色关联分析法探

究生态可持续发展的变化,并引入时间权重构建动态预测模型。

1 材料与方法

1.1 数据来源 研究对象为合肥市,样本区间为 2008—2016 年。数据来自 2009—2017 年《安徽省统计年鉴》部分数据以及统计局官方网站公布的统计公报相关数据。

1.2 DPSIR 模型 DPSIR 是一种由 PSR 模型演化而来的概念模型,其将环境系统指标分为驱动力、压力、状态、影响和响应 5 个部分,根据不同评价体系的需求各个部分又被分成若干个评价指标^[6]。

1.2.1 指标选取。参考前人建立的生态综合评价指标体系^[7-8],基于 DPSIR 概念模型,重点立足生态环境与自然资源的角度选取评价指标来构建生态可持续发展评价指标体系,详情如表 1 所示。

1.2.2 指标体系权重。因 DPSIR 模型中每个指标的量纲重要程度不同,该研究采用主观层次分析法、客观熵值法进行评价且计算综合权重时主观与客观评价系数均为 0.5。

1.3 灰色关联度分析法 该研究采用灰色关联法计算生态可持续发展,该方法能够较好地反映城市生态可持续发展的实际情况,对明确下一步城市发展规划的方向具有较好的参考意义^[9]。

1.3.1 建立指标分析数列和参考数列。分析数列是根据相应指标收集的数列,其中, m 为综合评价指标的数目, n 为进

基金项目 安徽省重大科技攻关课题(08010302114)。

作者简介 熊鸿斌(1963—),男,安徽合肥人,教授,博士,从事水污染与噪声污染控制、环境影响评价研究。

收稿日期 2019-05-07;修回日期 2019-05-22

行评价的年数。记 $Y_i(K) i=1,2,\dots,m$ 为分析数列; $Y_0(K)$ 为参考数列。

表1 生态可持续发展评价指标体系

Table 1 The comprehensive indicator system of ecological sustainable development

准则层 Criteria layer	指标 Index	性质 Property	序号 No.		
驱动力 Driving force	人均 GDP // 元	正向	X_1		
	城镇居民可支配收入 // 元	正向	X_2		
	常住人口城镇化率 // %	正向	X_3		
	人口密生态可持续发展 // 人/km ²	正向	X_4		
压力 Pressure	资源消耗压力	单位地区 GDP 能耗(标准煤) // t/10 ⁴ 元	逆向	X_5	
		人均日用水量 // L	逆向	X_6	
		人均社会用电情况 // kW · h	逆向	X_7	
		生态破坏压力	工业废水排放量 // t	逆向	X_8
			工业固废排放量 // t	逆向	X_9
	工业废气排放量 // t		逆向	X_{10}	
	城市污水处理率 // %		正向	X_{11}	
	生活垃圾无害化处理率 // %		正向	X_{12}	
	状态 Status	第二产业占生产总值比重 // %	逆向	X_{13}	
		第三产业占生产总值比重 // %	正向	X_{14}	
规模以上工业企业工业增加值 // 10 ⁸ 元		正向	X_{15}		
受过高等教育人口比例 // %		正向	X_{16}		
绿化覆盖面积 // m ²		正向	X_{17}		
城市空气优良天数比例 // %		正向	X_{18}		
影响 Influences		城镇登记失业率 // %	逆向	X_{19}	
		人均住房建筑面积 // m ²	正向	X_{20}	
	人均城市道路面积 // m ²	正向	X_{21}		
	拥有医院床位数 // 张	正向	X_{22}		
	每万人拥有公共汽车数 // 辆	正向	X_{23}		
	响应 Response	投资建设响应	科学技术支出 // 10 ⁸ 元	正向	X_{24}
一般公共服务支出 // 10 ⁸ 元			正向	X_{25}	
教育支出 // 10 ⁸ 元			正向	X_{26}	
污染控制响应			工业废气治理设施数 // 套	正向	X_{27}
		废水治理设备数 // 套	正向	X_{28}	

(1) 标准化处理。

$$\text{正向指标: } X_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max\{x_j\}} \quad (1)$$

$$\text{逆向指标: } X_{ij} = \frac{\min\{x_j\}}{x_{ij}} \quad (2)$$

(2) 计算标准化数列与其最优数列的绝对值。构成的新数列计算公式是:

$$x_i(k) = \max\{y_i(k)\} - y_i(k) \quad (3)$$

1.3.2 计算灰色关联系数。对于灰色关联度的计算用以下公式^[10-11]:

$$\zeta_i = \frac{\min \min |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max \max |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max \max |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (4)$$

式中, ρ 为分辨系数, 取值为 0 ~ 1, 一般取值是 0.5。该研究取值为 0.6。

1.3.3 计算加权灰色关联度(即生态可持续发展能力)。分别计算 2008—2016 年的加权灰色关联度, 以反映各年份的生态可持续发展。加权灰色关联度为:

$$d_j = \sum_{i=1}^m w_i \zeta_{ij} \quad (5)$$

1.4 动态预测模型

1.4.1 时间权重的确定。考虑到历史数据距离预测时间点越近, 对于数据在预测过程中的时间权重越大, 该研究引入时间权重并参考时间权重计算方法计算各年份的时间权重^[12]:

$$W_t = \frac{2 \arctan(t)}{\pi} \quad (t=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

1.4.2 动态预测模型的计算方法。设生态可持续发展能力的历史数据为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 根据数据变化趋势选择相应的拟合阶数, 设最终的预测模型为

$$y_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \dots + a_m t^m \quad (7)$$

其中, y_t 为 t 时刻的回归预测值, t 为时刻, a_0, a_1, \dots, a_m 为未知参数, m 为回归预测阶数。

动态回归预测模型未知参数计算公式:

$$a = (W \cdot B \cdot D) \cdot (D^T \cdot B \cdot C \cdot B \cdot D)^{-1} \quad (8)$$

其中, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$W^T = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & x_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & x_n \end{bmatrix}^{-1}$$

$$C = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_n \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 1^0 & 1^1 & \cdots & 1^m \\ 2^0 & 2^1 & \cdots & 2^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n^0 & n^1 & \cdots & n^m \end{bmatrix}$$

通过以上分析,得到动态预测模型为:

$$y_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \cdots + a_m t^m \quad (9)$$

为检测预测模型的实用性,需对模型的精度进行检测。

常用的检验指标有相对误差和平均相对误差:

$$\text{相对误差: } e_i = (x_i - \hat{x}_i) / x_i \quad (10)$$

$$\text{平均相对误差: } e(\text{avg}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (11)$$

一般平均相对误差小于可接受程度阈值,则认为该模型是满足精度的,可作为预测工具。

2 结果与分析

2.1 合肥市生态可持续发展

2.1.1 生态可持续发展能力的计算。基于指标原始数据计算合肥市生态可持续发展评价指标权重,结果如表2所示。根据公式(1)、(2)进行指标的标准化处理,并按照上述相应指标收集分析数列,最优数列则是选取每个指标的最优值得

表 2 生态可持续发展评价指标的权重

Table 2 Evaluation index weight of ecological sustainable development

指标 Index	主观 Subjective	客观 Objective	综合 Comprehensive
X ₁	0.50	0.20	0.35
X ₂	0.05	0.25	0.15
X ₃	0.15	0.35	0.25
X ₄	0.30	0.20	0.25
X ₅	0.60	0.40	0.50
X ₆	0.25	0.25	0.25
X ₇	0.15	0.35	0.25
X ₈	0.10	0.20	0.15
X ₉	0.10	0.20	0.15
X ₁₀	0.05	0.20	0.10
X ₁₁	0.45	0.20	0.30
X ₁₂	0.30	0.20	0.30
X ₁₃	0.05	0.15	0.10
X ₁₄	0.30	0.20	0.20
X ₁₅	0.15	0.15	0.15
X ₁₆	0.25	0.15	0.20
X ₁₇	0.25	0.15	0.20
X ₁₈	0.10	0.20	0.15
X ₁₉	0.50	0.20	0.35
X ₂₀	0.15	0.25	0.20
X ₂₁	0.15	0.15	0.15
X ₂₂	0.10	0.20	0.15
X ₂₃	0.10	0.20	0.15
X ₂₄	0.65	0.25	0.45
X ₂₅	0.15	0.35	0.25
X ₂₆	0.20	0.40	0.30
X ₂₇	0.50	0.45	0.45
X ₂₈	0.50	0.55	0.55

到的数据列,根据公式(3)、(4)、(5)计算出合肥市生态可持续发展各评价指标关联系数和加权灰色关联度,其中加权灰色关联度即为生态可持续发展能力,合肥市各年份生态可持续发展能力如表3所示。

表 3 2008—2016 年合肥市各年份生态可持续发展能力

Table 3 Ecological sustainable development capability of Hefei during 2008-2016

年份 Year	d(C)	d(D)	d(P1)	d(P2)	d(S)	d(I)	d(R1)	d(R2)
2008	0.625	0.573	0.701	0.886	0.700	0.647	0.374	0.493
2009	0.647	0.656	0.686	0.925	0.751	0.701	0.385	0.490
2010	0.659	0.685	0.685	0.853	0.732	0.730	0.409	0.519
2011	0.672	0.691	0.628	0.774	0.737	0.781	0.479	0.615
2012	0.718	0.798	0.699	0.768	0.778	0.731	0.615	0.633
2013	0.740	0.772	0.668	0.757	0.824	0.803	0.692	0.665
2014	0.777	0.827	0.694	0.767	0.907	0.894	0.657	0.696
2015	0.809	0.827	0.771	0.781	0.903	0.948	0.639	0.797
2016	0.897	0.908	0.830	0.780	0.958	0.922	0.880	1.000

注:d(C)为关联度综合值即生态可持续发展能力;d(D)为驱动层贡献值;d(P1)为资源消耗层贡献值;d(P2)为生态破坏层贡献值;d(S)为状态层贡献值;d(I)为影响层贡献值;d(R1)为建设层贡献值;d(R2)为污染控制层贡献值

Note:d(C) is the comprehensive value of correlation degree, that is, ecological sustainable development capability; d(D) is the contribution value of the driving layer; d(P1) is the contribution value of the resource consumption layer; d(P2) is the contribution value of the ecological damage layer; d(S) is the contribution value of the state layer; d(I) is the contribution value of the influence layer; d(R1) is the contribution value of the investment construction layer; d(R2) is the contribution value of the pollution control layer

由表3可知,关联度d为0.62~0.90,参考相关文献,最终将合肥市生态可持续发展能力划分为4个等级:d<0.63,级别为差;0.63≤d<0.73,级别为中;0.73≤d<0.83,级别为良;d≥0.83,级别为优。

由分级标准并结合表3得到合肥市生态可持续发展水平如表4所示。

2.1.2 数据分析与评价。

由表3~4可见,近9年合肥市生态可持续发展能力呈现上升的趋势,基本处于中或良水平,2016年达到峰值优级别,与实际情况较为符合。

(1)驱动力(D)。经济发展水平为生态可持续发展提供动力。D值由2008年0.573的差级别上升到2016年0.908的优级别,其中2011—2012年增长率最快,达15.5%,说明合肥市经济实力明显增强,为合肥市生态可持续发展提供充足的动力;2008—2016年人均GDP由34482元上升至80138

元,增长率为 132.4%,城镇居民可支配收入与城镇化率也逐年上升,人口密度的增加也为合肥市生态可持续发展承载更

多的人口奠定了基础。

表 4 2008—2016 年合肥市生态可持续发展水平

Table 4 Ecological sustainable development level of Hefei City during 2008—2016

年份 Year	d(C)	d(D)	d(P1)	d(P2)	d(S)	d(I)	d(R1)	d(R2)
2008	差	差	中	优	中	中	差	差
2009	中	中	中	优	良	中	差	差
2010	中	中	中	优	良	良	差	差
2011	中	中	差	良	良	良	差	差
2012	中	良	中	良	良	良	差	中
2013	良	良	中	良	良	良	中	中
2014	良	良	中	良	优	优	中	中
2015	良	良	中	良	优	优	中	良
2016	优	优	优	良	优	优	优	优

注:d(C)为关联度综合值即生态可持续发展能力;d(D)为驱动层贡献值;d(P1)为资源消耗层贡献值;d(P2)为生态破坏层贡献值;d(S)为状态层贡献值;d(I)为影响层贡献值;d(R1)为投资建设层贡献值;d(R2)为污染控制层贡献值

Note:d(C) is the comprehensive value of correlation degree, that is, ecological sustainable development capability; d(D) is the contribution value of the driving layer; d(P1) is the contribution value of the resource consumption layer; d(P2) is the contribution value of the ecological damage layer; d(S) is the contribution value of the state layer; d(I) is the contribution value of the influence layer; d(R1) is the contribution value of the investment construction layer; d(R2) is the contribution value of the pollution control layer

(2)压力。生态可持续发展与资源、生态环境及污染控制密切相关。资源消耗层总体变化幅度较小,2016年最高,为0.830,2011年最低,为0.628,总体呈现“V”字型变化,且大部分处于中良级别;从系统内部看,资源消耗层的单位地区GDP能耗、人均日用水量、人均社会用电情况均起到负向作用,单位地区GDP逐年降低,极大程度减轻了资源消耗压力,而人均日用水量及社会用电量与人们的生活质量和生活水平相关,但变化幅度较小,因此单位地区GDP能耗对资源消耗层变化影响较大。

生态破坏整体处于优良级别,2008—2009年处于上升状态并于2009年达至峰值0.925,然后开始下降,直至2014年才开始回升;2008—2013年安徽省第二产业比重增加,三废排放量大且环保意识淡薄、污染控制水平不高,导致生态破坏严重;2013年后生态破坏好转,这得益于新型城镇化建设、产业结构调整,污染治理及废物利用方面技术的进步。

(3)状态。产业结构与城市绿化影响生态可持续发展。除2009、2015年外,状态的贡献值逐年上升且大部分处于优良水平。从系统内部看,2008—2013年第二产业占比增至55.3%,2013—2016年下调至50.7%,仍为支柱产业;第三产业占比呈“V”型变化,2009—2013年从43.5%降至39.3%,而后回升至2016年的45.0%;城市空气优良天数比例波动起伏,但整体呈现下降趋势;绿化覆盖面积逐年上升,由0.92万 hm^2 增至1.95万 hm^2 ,增长率为111.96%;系统各指标共同作用影响生态可持续发展,其中产业结构变化与绿化覆盖面积为状态层的显著影响因素。

(4)影响。城市建设水平与居民生活质量的提高减轻资源消耗压力。除2012与2015年之外,影响层贡献值逐年平缓增长且大部分处于优良水平,2016年达到峰值0.922;城镇登记失业率由2008年的3.92%下降至3.00%;人均住房面积由19.36 m^2 上升至35.75 m^2 ,增长率为84.7%;每万拥有公交车数与人均城市道路面积呈波动起伏状态,但幅度较小,是人口数量和城市市政建设共同作用的结果;拥有医院床位数反映居民社会医疗保障水平,仅9年由15485张增至30775

张,增长率约100%;从某种程度上讲,城市建设水平与居民生活质量的提高能够合理分配社会资源,减少浪费,从而减轻资源消耗的压力。

(5)响应。污染控制与科学技术投入促进生态可持续发展提升。响应反映了政府在推动城市生态可持续发展过程中采取的对策和制定的积极政策。从整体看,污染控制与投资建设逐年上升且增幅较大,但是大部分处于差级别;从局部看,两者起初贡献值很低,直至2013年左右才达到中等水平,2016年达到优级别;从系统内部看,2008—2016年科学技术投入由4.81亿元上升至101.7亿元,翻了20多倍,教育支出由24.8亿元上升至119.1亿元,翻了约4倍,大气与废水治理设备也约为2008年的3倍;说明合肥市对科技创新与环境保护的重视程度大幅度提高,科技成果创新、生态文明建设和环保工程实施也落到实处。

综上所述,驱动力、压力、状态、影响、响应5个部分的因子相互作用,且正向因子贡献值大于负向因子,推动生态可持续发展的提升;其中经济发展水平与产业结构、自然资源与生态环境、污染控制与科技创新为主要影响因素。

2.1.3 政策建议。通过对合肥市生态可持续发展能力变化的分析,提出以下几点建议:协调发展第一、第二、第三产业,积极促进第三产业发展,优先推动自然资源消耗少、生态破坏小的产业,争取发展成为以第三产业为主导的城市;淘汰落后的技术与工艺,同时大力发展先进制造业和高新技术产业,改善能源结构,提高废物综合利用率和处理率,实现资源可持续利用、降低环境破坏力度;节能减排、增加环保投入、提高污染物处理技术和监管力度。

2.2 生态可持续发展能力动态预测模型

2.2.1 动态预测模型的计算。利用公式(6),分别令时间 $t=1,2,\dots,9$,依次计算可得到时间权重向量为: $W^T = \{0.500, 0.705, 0.795, 0.844, 0.874, 0.895, 0.910, 0.921, 0.930\}$ 。

通过对生态可持续发展变化趋势的分析,以及实际计算过程中不断拟合与精度检验,最终选择阶数为5的动态回归预测模型,并利用公式(7)、(8)、(9)建立动态预测模型。将

时间权重和 $n=9, m=5$ 以及时间权重向量带入动态预测模型中,可以计算出未知参数 $= (0.612\ 725\ 0.174\ 312\ 0\ -0.000\ 158\ 3\ 0.000\ 051\ 7\ -0.000\ 001\ 7)$ 。

通过以上的计算,得到动态预测模型为:

$$y_t = 0.162\ 725 + 0.171\ 312t - 1.583 \times 10^{-4} t^3 + 5.174 \times 10^{-5} t^4 - 1.723 \times 10^{-6} t^5$$

表 5 2008—2016 年合肥市生态可持续发展动态模拟分析

Table 5 Dynamic simulation analysis of ecological sustainable development of Hefei City during 2008—2016

年份 Year	时间权重 Time weight	实际值 Actual value	模拟值 Analog value	相对误差 Relative error	平均相对误差 Average relative error
2008	0.500	0.625	0.630 0	0.008 3	0.009 1
2009	0.705	0.647	0.647 1	0.000 4	
2010	0.795	0.659	0.664 5	0.008 5	
2011	0.844	0.672	0.683 8	0.017 6	
2012	0.874	0.718	0.707 1	0.014 3	
2013	0.895	0.740	0.736 8	0.003 6	
2014	0.910	0.777	0.775 7	0.000 8	
2015	0.921	0.809	0.826 6	0.023 7	
2016	0.930	0.897	0.892 0	0.001 9	

由表 5 可知,动态预测模型的预测值与实际值非常接近,模型拟合程度高。因此,该研究所建立的带时间权重的动态预测模型是满足预测精度的,可用来作为生态可持续发展能力预测模型。令时间 $t=10$ 代入预测模型可得到 2017 年合肥市生态可持续发展能力为 0.973。

2.2.2 动态预测模型与传统曲线拟合的比较。2008—2016 年合肥市生态可持续发展的数据为 $X = \{0.625, 0.647, 0.659, 0.672, 0.718, 0.740, 0.777, 0.809, 0.897\}$,运用传统曲线拟合对数据变化趋势进行 5 次项模拟,得到以下公式:

$$y = 1.198 \times 10^{-4} x^5 - 0.002\ 9x^4 + 0.025\ 6x^3 - 0.098\ 4x^2 + 0.178\ 8x + 0.521\ 5$$

用该公式对 2008—2016 年合肥市生态可持续发展能力进行模拟,并对 2017 年的生态可持续发展进行预测,动态预测与传统拟合模拟对比分析如表 6 所列。由表 6 可知,2 种方法对合肥市生态可持续发展的模拟精度都较高,而通过对比 2017 年的模拟值,动态预测模型明显比传统线性拟合更符合实际情况。该动态预测模型通过给予距离预测时间点越近的历史数据越大的时间权重,使得近期模拟数值越符合实际情况。因此,在对城市生态可持续发展进行测度时,动态预测模型的可行性与可操作性更强。

表 6 动态预测与传统拟合模拟值对比分析

Table 6 Comparison of dynamic prediction and traditional fitting simulation

年份 Year	实际值 Actual value	动态模型模拟值 Dynamic model simulation value	传统曲线模拟值 Traditional curve analog value
2008	0.625	0.630 0	0.624 7
2009	0.647	0.647 1	0.647 7
2010	0.659	0.664 5	0.657 7
2011	0.672	0.683 8	0.681 0
2012	0.718	0.707 1	0.717 4
2013	0.740	0.736 8	0.754 7
2014	0.777	0.775 7	0.782 9
2015	0.809	0.826 6	0.808 7
2016	0.897	0.892 0	0.869 9
2017	—	0.973 0	1.050 0

利用动态预测模型对 2008—2016 年合肥市生态可持续发展能力进行模拟,得到模拟值,并利用公式(10)、(11)计算相对误差和平均相对误差。结果发现(表 5),平均相对误差为 0.009 1,在所有相对误差计算中,只有 2015 年的相对误差较大,为 2.37%,但依然满足预测精度。

3 结论

该研究针对城市的生态可持续发展,运用 DPSIR 模型构建生态可持续发展评价指标体系,用灰色关联度分析法对合肥市生态可持续发展进行评价并构建了动态预测模型。结果表明,合肥市生态可持续发展能力逐年上升,大部分处于中良水平,其中经济发展水平与产业结构、自然资源与生态环境、污染控制与科技创新为重要影响因子;该研究建立的动态预测模型符合实际情况,可行性与可操作性强,为生态可持续发展研究提供新的方法与思路;动态预测过程中,该研究所建立的模型只能短期预测,因此,在实际预测过程中,要形成一种长期的建模机制,需要不断更新建模数据,对模型进行调整,这样所建的模型利用最新数据,才能客观反映城市生态可持续发展的趋势。

参考文献

- [1] 夏业朱,朱艳娜,何刚,等.基于 DPSIR-加权 TOPSIS 模型的安徽省生态承载力评价[J].淮南师范学院学报,2018,20(1): 65-70.
- [2] 吴涛.安徽省生态足迹与可持续发展研究[D].合肥:中国科学技术大学,2014.
- [3] 曹慧,胡峰,李辉信,等.南京市城市生态系统可持续发展评价研究[J].生态学报,2002,22(5): 787-792.
- [4] 巩芳,庞雪倩.基于能值理论的内蒙古农业生态系统可持续发展评价研究[J].内蒙古统计,2018(6): 25-28.
- [5] 蒋志华,漆宇,彭强军.成都城市生态系统可持续发展能力评价[J].合作经济与科技,2018(24): 12-14.
- [6] 熊鸿斌,刘进.DPSIR 模型在安徽省生态可持续发展评价中的应用[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2009,32(3): 305-309.
- [7] 陈楚琳,石磊.基于 AHP 的湘西自治州绿色生态小城镇可持续发展评价指标体系研究[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2017,11(5): 8-13.
- [8] 李文勇.基于能值分析的湖南省种植业生态系统评价及可持续发展预测研究[D].长沙:中南林业科技大学,2016.
- [9] 张凤太,苏维词,周继霞.基于熵权灰色关联分析的城市生态安全评价[J].生态学杂志,2008,27(7): 1249-1254.
- [10] 甘小文,毛小明.基于 AHP 和灰色关联的产业承接地工业园区产城融合测度研究:以江西 14 个国家级工业园区为例[J].南昌大学学报(人文社会科学版),2016,47(5): 88-95.
- [11] 刘奔.基于灰色关联法的生态文明指标分析与评价[D].西安:长安大学,2017.
- [12] 殷春武.基于时间权重的回归预测模型[J].决策与统计,2011(7): 161-162.