

基于 STIRPAT 模型的天津市水环境污染影响因素分析

史芳¹, 包景岭¹, 李燃^{1,2*}

(1. 河北工业大学经济管理学院, 天津 300401; 2. 天津市环境保护科学研究院, 天津 300401)

摘要: 基于拓展的 STIRPAT 模型, 利用岭回归分析方法, 以天津市 2006—2016 年 COD 值及其相关社会、经济、人口数据为例, 分析人口、城市化水平、经济发展、技术水平、产业结构、用水结构对水环境污染的影响。研究表明: 工业 GDP 占比的提高是导致水环境污染的最主要原因, 人口、城市化率、人均 GDP、排放强度和生活用水占总用水比例的提升都是引起水环境污染加重的因素, 通过技术创新可以控制水污染。

关键词: 水环境污染; STIRPAT 模型; 影响因素; 天津市

中图分类号: X52 文献标志码: B 文章编号: 1006-2009(2019)06-0064-04

Analysis of Affecting Factor on Water Environment Pollution in Tianjin Based on STIRPAT Model

SHI Fang¹, BAO Jing-ling¹, LI Ran^{1,2*}

(1. School of Economics and Management, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2. Tianjin Environmental Protection Science Research Institute, Tianjin 300401, China)

Abstract: Based on extended STIRPAT model and taking COD emissions and related society, economy and population in Tianjin from 2006 to 2016 as examples, this thesis adopted the ridge regression analysis method for analyzing the impact of population, urbanization level, economic development, technical level, industrial structure and water consumption structure on water pollution. The research showed that the increase in the share of industrial GDP was the most important cause of water pollution. The increases of population, urbanization rate, per capital GDP, emission intensity and the share of domestic water in total water consumption were all the aggravating causes of water pollution, indicating that water pollution could be controlled through technological innovation.

Key words: Water environment pollution; STIRPAT model; Influence factor; Tianjin

自 20 世纪 70 年代以来, 随着经济快速发展和工业化进程加速推进, 中国经历了包括水污染在内的各类污染问题, 环境急剧恶化。目前, 国内外学者对水环境污染的影响因素采用多种模型方法进行了分析研究。冯颖等^[1]采用 EKC 模型解释经济发展与水环境质量之间的关系。文建辉等^[2]利用线性结构模型对某流域水污染状况进行了分析。Muhyminal 等^[3]采用主成分分析(PCA)和因子分析(FA)方法, 研究水质的时空变化。人类活动与环境之间的关系复杂多变, 蕴含经济发展、城市化、土地利用等多种因素, 普通模型难以全面阐述两者之间的关系。Ehrlich 率先使用 IPAT 来描述人口增长对环境的影响, 方程 IPAT 考虑了环境(I)、人

口规模(P)、富裕(A)和技术水平(T)等因素, 众多学者将 IPAT 模型广泛应用于各研究领域, 进行了大量的实践应用研究^[4-6], 然而关于水环境影响因素方面的研究尚显不足。

今以天津市为例, 将工业占 GDP 比例及用水结构引入 STIRPAT 模型。基于改进的 STIRPAT 模型, 以年 COD 值作为水环境污染指标, 综合分析社

收稿日期: 2018-09-08; 修订日期: 2019-09-10

基金项目: 国家科技重大专项水体污染控制与治理专项基金资助项目(2017ZX07107-001-001)

作者简介: 史芳(1993—), 女, 河南周口人, 硕士, 研究方向为环境管理与可持续发展。

* 通信作者: 李燃 E-mail: fire36@126.com

会经济和技术因素对水环境污染的影响,为天津市水环境污染治理提供理论支撑。

1 研究区概况

天津市地处华北平原东北部,地跨海河两岸,是连接华北、东北地区的交通枢纽,被列为首批沿海开放城市,北方重要的经济中心。2016 年末天津市 GDP 为 17 885.39 亿元,全市常住人口 1 562.12 万人,城镇居住人口 1 295.47 万人,城镇化率达到 82.93%。全市全年评价河长中,劣 V 类水河长占 70.5%。历史上天津水资源丰富,由于蓄水工程的修建、人口增加及社会经济的发展使得天津成为严重资源型缺水城市,人均水资源占有量(含外调水)仅有 370 m³,远低于世界公认的缺水警戒线。水环境污染加重了水资源短缺的矛盾,研究天津水环境污染影响因素将有利于水污染治理,促进水资源与社会经济的可持续发展。

2 方法与数据

2.1 STIRPAT 模型

STIRPAT 模型由 IPAT 模型修正而来^[7]。20 世纪 70 年代美国的人口学教授埃利奇(Paul Ehrlich)与能源学家霍尔登(Holdren)首次提出 IPAT 等式,经典的 IPAT 模型存在一定局限性,即把环境影响与各影响因素处理成同比例线性关系。为解决这一不足,Dietz 等^[8]提出了随机形式的 STIRPAT 模型:

$$I = aP^b A^c T^d e \quad (1)$$

式中: a 表示模型的系数; $b、c、d$ 表示每个驱动力的指数; e 为模型误差。 $a = b = c = d = e = 1$ 时,即为 IPAT 等式^[9]。

实际应用中,为分析每个驱动因素对环境 I 的影响,通常将(1)式两边进行对数处理得到公式:

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln e \quad (2)$$

根据 York 等^[10]提出的弹性系数(ecological e-

lasticity)的概念,公式中系数 $b、c、d$ 表示因变量与自变量之间的弹性关系,即其他自变量不变时,某自变量变化 1% 所引起因变量变化程度。

2.2 数据来源

水环境污染是人文因素和自然因素双重作用的结果,人口增加使得生活污水排放增加,社会经济的快速发展、城市化进程的不断推进导致需水量明显增多,而排放大量污水严重影响了城市水环境。

根据天津市的特殊性,综合考虑研究目的及数据容易获得性,以 COD 值作因变量,认为 COD 值越大,天津水环境污染越严重。考虑到天津城镇化发展进程中对水环境产生的影响,将城市化率引入 STIRPAT 模型中,此外加入代表产业结构的指标(工业占 GDP 比例)。代表用水结构的指标(生活用水量占总用水比例)和代表城市发展的指标(城市化率)进一步拓展模型成为公式(3),模型中各变量含义及来源见表 1。

$$\ln I = a \ln P + b \ln A + c \ln T + d \ln P_s + e \ln C_s + f \ln T_s + K \quad (3)$$

表 1 变量含义及单位

变量	含义	单位	数据来源
I	水环境质量,用 COD 值表示对水环境质量的压力	t	中国环境统计年鉴
P	人口因素,用常住人口表示	万人	天津统计年鉴
A	富裕度,用人均 GDP 表示	元/人	天津统计年鉴
T	排放强度	kg/万元	通过计算得到
P_s	城市化率,城镇人口占总人口比例	%	天津统计年鉴
C_s	工业占 GDP 比例	%	天津统计年鉴
T_s	用水结构,生活用水量占总用水比例	%	中国环境统计年鉴
K	常数		

以 2006 年天津市各参数为基准进行标准化处理,得到历年环境因素与社会经济因素的标准化数据,结果见表 2。

表 2 2006—2016 年天津市各参数的标准化数据

Table 2 Standardized data of various parameters from 2006 to 2016 in Tianjin

年份	人口	城市化率	人均 GDP	工业占比	生活用水占总用水比例	COD 值
2006	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2007	103.72	101.60	113.83	100.00	102.49	97.82
2008	109.40	102.82	139.19	100.39	108.96	96.17
2009	114.25	103.86	148.49	95.07	108.46	96.12

续表

年份	人口	城市化率	人均 GDP	工业占比	生活用水占 总用水比例	COD 值
2010	120.86	105.91	173.21	94.28	121.39	95.75
2011	126.01	107.18	205.31	95.49	116.42	91.32
2012	131.46	108.57	224.82	94.51	106.97	88.86
2013	136.95	109.19	241.63	92.17	105.97	85.78
2014	141.10	109.53	254.09	89.62	103.48	82.97
2015	143.90	110.03	260.83	84.30	95.02	80.90
2016	145.31	110.41	273.02	75.05	102.49	40.05

3 实证分析

3.1 模型拟合

数据间的多重共线性将对计算结果产生影响,故在模型拟合前采用 SPSS 20.0 先对变量做共线性诊断,结果见表 3。诊断结果中多个维度的特征值接近 0 且条件指数较大,表明变量间存在严重的

共线性。采用普通最小二乘法回归分析无法解决变量之间的多重共线性问题,故选择改进的最小二乘法——岭回归方法进行模型拟合。岭回归分析法基于矩阵 $(X'X + kI)$, I 表示单位矩阵, k 是正标量参数,虽然损失了无偏性,但估计的稳定性却能明显提高,对病态数据拟合要强于最小二乘法。

表 3 共线性诊断结果

Table 3 Collinear diagnosis results

模型	非标准化系数		标准化系数	T	显著性	共线性统计资料	
	B	标准误差	Beta			允差	VIF
(常数)	-7.176	19.774		-0.363	0.732		
P	8.122	3.646	4.210	2.228	0.076	0.003	317.413
P_s	-6.459	12.074	-0.875	-0.535	0.616	0.004	237.710
A	-2.023	1.312	-2.757	-1.541	0.184	0.004	284.322
C_s	4.420	0.663	1.485	6.672	0.001	0.227	4.403
T_s	0.535	0.613	0.141	0.874	0.422	0.431	2.319

岭参数 k 在 $(0,1)$ 内变化时, $\beta(x)$ 是 k 的函数,在平面坐标系上把函数图像画出来称作岭迹线。基于 SPSS20.0 软件中的宏程序 Ridge. Regression 对所建立的 STIRPAT 模型中的相关数据进行岭回归处理。结果在 k 由 0 趋于 1 的过程中,当 $k=0.2$ 时,各自变量的岭迹线趋于稳定。由图 1 可见,此时可决系数较高,在 0.8 以上,故选取 $k=0.2$,此时 $R^2=0.867\ 010\ 782\ 4$,表明拟合度较高,拟合得到的岭回归方程如下:

$$\ln I^{\wedge} = 0.169 \ln P^{\wedge} + 0.056 \ln A^{\wedge} + 0.161 \ln T^{\wedge} + 0.718 \ln P_s^{\wedge} + 1.829 \ln C_s^{\wedge} + 0.058 \ln T_s^{\wedge} - 4.017 \quad (4)$$

3.2 结果分析

由岭回归方程可知,天津市 COD 值的影响因素中,水环境污染对工业占 GDP 比例的弹性系数为 1.829,弹性系数 >1 说明富有弹性,是影响最为显著的一个因素,占 61.15%。弹性系数为正,说明工业占 GDP 比例的不断增长,使 COD 值增大,不利于改善水环境质量,这与冯颖等^[1]和佟

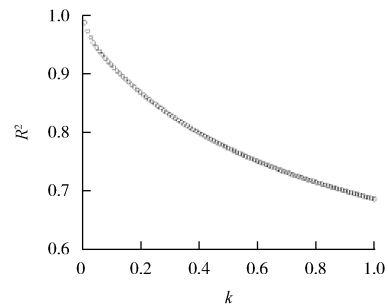


图 1 可决系数 R^2 随 k 变化

Fig. 1 Chat of decision coefficient R^2 with k

新华^[11]的结论相同。调查表明,天津市 2008 年—2016 年第二产业占 GDP 比例和工业占 GDP 比例分别由 55.4% 降到 42.4% 和由 51.2% 降到 38%,第三产业占 GDP 比例由 42.8% 上升到 56.4%。统计数据中 COD 值由 2006 年的 25.767 4 万 t 降到 2016 年的 10.320 4 万 t。工业所占比例下降,COD 值降低,表明在其他条件不变的情况下产业结构的调整有助于减轻水环境污染。

城市化率(0.718)因素、人口规模(0.169)因素分别占 24%、5.65%,弹性系数皆为正,表明城市化率、人口规模与 COD 值呈正相关关系,即城市化和人口规模的增加将带来 COD 值大幅增长,与文建辉等^[2]、叶晶^[12]的研究结论相似。主要原因在于城市化率的提高不仅是农村人口向城市人口转化并向城市积聚、城市规模扩大、城市工业化程度提高的过程,也是土地利用方式变化、不透水地面比例上升的过程,同时还是城市居民生活用水随着生活方式、经济条件的改善而成倍增加的过程。随着城市人口的增加、生活方式的改变、城市工业的发展,必然加重水污染。城市化率的弹性系数比人口规模的弹性系数大,说明人口增加不是城市水环境恶化的决定性因素,城市水环境改善主要在于环保投入与用水技术的提高。

目前天津市水资源的使用来自工业、农业、生活、生态 4 个方面。考虑到用水结构对 COD 值的影响,岭回归结果中生活用水量占总用水量比例因素的系数为 0.058,表明生活用水量占总用水量比例每增加 1% 将引起 COD 值增加 0.058%。该驱动因素的变化速度要大于所引起的 COD 值增加的速度,主要原因在于人口的增加导致了生活用水量不断增加。

岭回归结果中人均 GDP 弹性系数为 0.056,说明虽然人均 GDP 的增长将导致 COD 值的增加,但增加人均 GDP 引起的 COD 值增长速度要小于人均 GDP 的增长速度。这一结论与佟新华^[11]的研究结果相反,原因在于佟新华所研究的时期日本已经完成工业化进程,并且经济发展过程中在环境治理方面投入了大量资金,已进入“倒 U 型”曲线的右边。在低收入国家随着人均 GDP 的增长会加重环境压力,而在发达国家环境压力却随着人均 GDP 的增加而减小,即富裕度与环境压力间存在“倒 U 型”环境库兹涅茨曲线。由于弹性系数为正,可知目前天津市还处在环境库兹涅茨曲线的左边,经济快速发展过程中处理后废水排放量逐渐超过环境容量。经济发展的速度要高于 COD 值变化的速度,主要原因在于政府已经意识到以牺牲水环境为代价的经济增长方式是错误的,在经济发展过程中注重污水治理和生态治理。

综上,水污染与产业结构、人口、用水等密切相关,工业 GDP 所占比例越大水污染越严重,城市化进程加快、人口规模增大都导致水污染越来越严

重。研究结果与文建辉等^[2]基于 GIS 技术和线性结构模型对漓江流域水污染状况分析的结果一致,说明上文所用方法可行。

4 结语

基于天津市特殊地理位置及天津市水环境污染特殊情况,把工业占 GDP 比例及用水结构引入 STIRPAT 模型。运用拓展的 STIRPAT 模型,分析人口总数、城市化率、人均 GDP、工业占 GDP 比例及用水结构对天津市水环境质量的定量影响。环保部门可根据岭回归方程系数有的放矢地治理水污染问题,研究结果可为天津市水环境治理和管理提供依据。

[参考文献]

- [1] 冯颖,李晓宁,屈国俊,等. 中国水环境污染与经济增长关系研究[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版),2017,17(6):66-74.
- [2] 文建辉,李建,许睿,等. 基于 GIS 技术和线性结构模型的漓江流域水污染状况分析[J]. 环境监测管理与技术,2018,30(1):27-30.
- [3] MUHYMINULL,SLAM M,LENZ O K, et al. Assessment of spatio-temporal variations in water quality of Shailmari River, Khulna (Bangladesh) using multivariate statistical techniques[J]. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2017, 5(1): 1-26.
- [4] LIDDLE B. Population, affluence, and environmental impact across development: Evidence from panel co integration modeling[J]. Environmental Modelling & Software, 2013, 40:255-266.
- [5] 王丽,欧阳慧,马永欢. 经济社会发展对环境影响的再认识——基于 IPAT 模型的城市碳排放分析[J]. 宏观经济研究,2017(10):161-168.
- [6] 姚懿真,杨贵羽,汪林,等. 基于 IPAT 模型的河北省灰水足迹分析及预测[J]. 水利水电技术,2017,48(11):36-42.
- [7] 钟兴菊,龙少波. 环境影响的 IPAT 模型再认识[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(3):61-68.
- [8] DIETZ T, ROSA E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology[J]. Human Ecology Review, 1994(1):277-300.
- [9] ROSA E A, YORK R, DIETZ T. Tracking the anthropogenic drivers of ecological impacts[J]. AMBIO, 2004, 33(8):509-512.
- [10] YORK R, ROSA EA, DIETZ T. Stirpat, ipat and im pact: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological Economics, 2003, 46:351-365.
- [11] 佟新华. 日本水环境质量影响因素及水生态环境保护措施研究[J]. 现代日本经济, 2014(5):85-94.
- [12] 叶晶. 基于结构方程模型的滇池流域水环境质量影响因素研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2012:7-8.