

中国沿海城市化推进对海洋污染的影响及作用机制

——基于面板空间计量方法

余璇¹, 沈满洪^{1,2*}, 谢慧明^{1,2}, 王迪¹

(1. 宁波大学商学院, 浙江宁波 315211; 2. 宁波大学东海研究院, 浙江宁波 315211)

【摘要】 探究沿海城市化推进与海洋污染间的关系对沿海城市绿色发展具有重要意义。本文基于2006—2013年中国沿海46个地级市的海洋污染物浓度数据和遥感所得的夜晚灯光亮度数据,运用面板空间计量技术从深度推进和广度推进两方面系统考察了沿海城市化对海洋污染的影响及作用机制,结果表明:以紧凑集约化为特征的城市化深度推进与海洋污染之间存在着非线性的“U形”关系,而以规模扩张为特征的城市化广度推进只会单纯地加剧海洋污染。城市化深度推进会通过集聚效应和技术进步效应对海洋污染产生积极影响,而城市化广度推进过程中所带来的人口规模的扩大会加剧海洋污染,此外产业结构和绿色技术未能转型升级也是城市扩张加剧海洋污染的关键因素所在。本研究提出在海洋环境管理过程中,一是要加强区域合作,实现海洋污染的区域联防联控;二是应注重城市的紧凑集约化发展,发挥沿海城市化推进对海洋污染防治的正外部性影响;三是需推进海洋经济的绿色可持续发展,实现海洋经济发展与海洋环境污染的脱钩。

【关键词】 沿海城市化; 海洋污染; 绿色发展; 空间计量

【中图分类号】 F205; F291.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-6252(2020)06-0095-08

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.06.095

引言

海洋污染物80%来自陆源污染^[1],海洋污染虽在海洋,但根在陆地,特别是沿海地区。改革开放以来,以上海、深圳、天津等为代表的中国东部沿海城市作为中国经济发展的“领头羊”,经济总量和城市规模相伴增长。城市化的加速推进产生了集聚效应,推动了经济发展,但迅速扩张的城市规模使得污染物的制造速度不断加快,而作为沿海地区重要纳污地的海洋,却长期承受着远超其自净能力的污染物排放强度,使得近岸海域环境污染不断加剧。据官方发布的数据显示,2019年中国近岸海域水质总体一般,一类水质占比仅为46.6%,与2018年相比下降7.5%。从现实表象来看,中国近岸海域重度污染的区域正是城市化加速推进且城市化水平较高的地区。可以说,中国近岸海域重度污染区域与城市化加速推进地区的高度重合绝非偶然,其中包含着沿海城市化推进对海洋污染的深刻影响。科学地回答这一问题对于推进沿海

城市的绿色发展和海洋污染防治具有重要意义。

现有研究表明,海洋污染的加剧与粗放的海域经济发展方式、滞后的海洋产业结构升级、模糊的海洋资源产权边界等诸多经济因素密切相关^[2,3]。此外,由海洋生态保护的负外部性、海洋管理体制的“多龙治海”局面和海洋环境保护社会参与机制的缺失等因素导致的海洋环境治理效率低下,也是海洋污染不断加剧的重要原因^[4]。除上述因素外,沿海地区城市化进程的不断推进对海洋环境的影响也不容忽视。城市化是由于社会生产力的发展而引起的农业人口向城镇人口、农村居民点形式向城镇居民点形式转化的全过程^[5]。作为一个引发社会和经济结构整体发生嬗变的复杂过程,城市化涉及经济、社会、人口、地域空间等诸多方面^[6,7]。按照特征的不同,城市化的推进过程可分为深度推进和广度推进两方面。其中,城市化深度推进主要发生在城市原有区域,主要表现形式包括旧城改造和建设中央商务区等,体现了城市的紧凑集约程度。根据紧凑城市理论,一方面城市化深度推进

资助项目: 浙江省哲学社会科学重大项目(19XXJC02ZD); 国家社科基金重点项目(19AZD004); 国家自然科学基金(71874092)。

作者简介: 余璇(1993—),男,博士研究生,主要从事海洋生态经济研究, E-mail: wjscopyxuan@126.com。

*** 责任作者:** 沈满洪(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事环境生态学, E-mail: smh@nbu.edu.cn。

有利于发展公共交通,减少小汽车依赖度,进而促进节能减排^[8];另一方面城市化深度推进过程中所带来的集聚效应、规模效应和共享经济优势的有效发挥,有助于要素的合理配置,促进沿海地区海洋环境质量的改善^[9,10]。城市化广度推进则发生在非城区,主要表现形式包括建设开发区、新城和新区等,体现了城市的规模扩张程度。在这一过程中,地区人口规模不断扩大,土地利用方式转变为以开发强度更大、污染更加严重的工业用地为主,产业结构也由以农业为主转变为以工业为主,污染物制造速度不断攀升^[11]。同时这种低密度、分散化的城市空间布局也不利于集聚经济和共享经济优势的发挥,进一步加剧了沿海地区环境的治理压力^[6]。

然而由于学术界对海洋生态领域研究较陆域起步晚,加之海洋生态问题的复杂性,已有研究仍较多地从理论和实证等方面探讨城市化与陆域环境污染(如工业污染、雾霾、水污染等)之间的关系^[6,9,12,13]。这些研究成果虽然给出了理解城市化对海洋污染影响的一些启发性思考,但鲜有研究专注于探讨城市化对海洋环境的影响,而利用相关数据对这一影响进行实证探讨更是十分鲜见。与此同时,由于海洋污染相关统计数据不足,在探究海洋污染影响因素的已有研究中,大多基于省级层面数据,在计量方法的运用中也并未考虑到海洋污染会受海水流动等自然作用及产业转移等经济活动影响导致其具有较强的空间相关性,这些因素交织在一起使得沿海城市化推进对海洋生态环境的影响难以准确把握。鉴于现有研究存在的不足,本文以2006—2013年中国沿海地级市层面的面板数据为样本,运用海洋污染物浓度数据构建了海洋污染指数,并基于夜间灯光亮度遥感数据表征沿海地区推进水平,运用空间计量技术从深度推进和广度推进两方面系统考察沿海城市化对海洋污染的影响及作用机制。本文的边际贡献主要体现在以下三个方面:第一,将城市化推进对环境的影响引入海洋领域,采用能够控制地区空间溢出效应的面板空间计量技术对沿海城市化推进对海洋污染的影响进行了实证考察。第二,由于运用省级面板数据进行空间计量分析存在样本不足和面积过大而导致的结果偏差,本文将研究数据扩展到更为微观的地级市层面,同时运用沿海地级市海洋污染物浓度数据构造了一个更为客观的度量地区海洋污染程度的综合指标——海洋污染指数。第三,采用中介效应分析范式进一步识别了沿海城市化推进影响海洋污染的作用机制。

1 材料与方法

1.1 海洋污染指数构建

作为本文的核心被解释变量,海洋污染程度的度量尤为关键。已有研究大多运用沿海地区工业废水排放量和劣二类海水水质占比等指标来表征海洋污染程度^[14-16]。前者仅考虑工业废水对海洋的污染,太过片面,后者所涉及的占比数据太过笼统,难以反映海洋污染的具体变动。基于上述原因,同时综合考虑数据的可获得性,本文通过识别生态环境部(原环境保护部)发布的历年《中国近岸海域环境质量公报》中的柱状图,提取了沿海城市近岸海域主要超标因子(无机氮、活性磷酸盐、石油类和化学需氧量)浓度数据,构建了海洋污染指数用以表征沿海地级市海洋污染程度,具体计算方法为:

$$MPI_i = w_1DIN_i + w_2PO_i + w_3OIL_i + w_4COD_i \quad (1)$$

式中,MPI为海洋污染指数;DIN、PO、OIL和COD分别为近岸海域海水中无机氮、活性磷酸盐、石油类和化学需氧量污染物浓度; w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 为各指标权重。参考各超标因子的点位超标率,在计算时令 $w_1=0.6$, $w_2=0.3$, $w_3=0.07$, $w_4=0.03$ 。

1.2 城市化水平的度量

在城市化水平的度量上,现有研究中大多采用官方统计的城镇人口比重反映城市化水平,但诸多学者认为这一标准存在较多缺陷。一方面,城镇人口比重仅反映了城市化推进过程中人口的变化,未体现出经济社会和地域空间的改变;另一方面,中国推行城乡分割的二元户籍制度,通过“一刀切”的方式界定的户籍类别难以正确反映城市化的真实水平^[17]。此外,官方统计的城市化率将部分农业人口(如没有城市户口但到城市工作6个月以上的务工人口及土地被征用但户籍没有转换的失地农民)也计入城镇人口中,这种统计口径的不合理也会导致统计结果与真实的城市化水平出现偏差^[18]。

鉴于此,学界开始寻找能够更加客观反映城市化水平的指标,而近两年来被广泛运用的夜间灯光亮度数据开始不断受到关注,并且其合理性得到了诸多学者的广泛证实^[6,19,20]。一方面,遥感数据较大程度上剔除了人为因素的干扰;另一方面,夜间灯光亮度综合反映了夜间人类活动的基本信息,可以将明亮的城市与黑暗的乡村有效区别开^[6]。本文首先参考Liu的方法对DMSP/OLS发布的原始数据进行内部校

准^[20]，进一步遵循现有研究做法，从城市化深度与城市化广度两方面构建了城市化水平指数。具体计算公式为：

$$\text{urban}_i = \varphi_1 \text{urban1}_i + \varphi_2 \text{urban2}_i \quad (2)$$

式中， i 为地压；urban为城市化水平指数；urban1是以平均夜间灯光亮度表征的城市化深度指数；urban2是以区域内所有灯光像元总面积占区域总面积的比重度量的城市化广度指数； φ_1 和 φ_2 为权重，分别取0.8和0.2^[6, 19]。

1.3 面板空间计量模型的构建

传统的面板计量模型并未考虑各变量间的空间相关性，而面板空间计量方法从外部性视角出发，考察某地区要素变动所受到其他地区的影响。结合所研究的实际问题，本文选取了包含被解释变量空间滞后项的面板空间自回归模型（SAR）进行估计。模型的具体表达式为：

$$\ln \text{MPI}_{it} = u_i + \gamma_t + \rho w_i' \ln \text{MPI}_{it} + \beta_1 \ln \text{urban}'_{it} + \beta_2 \ln \text{control}'_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中，MPI为海洋污染指数；urban'为本文的核心被解释变量，包括城市化深度指数和城市化广度指数；control'为所选取的一系列控制变量； i 为地区； t 为时间； u_i 为个体效应； γ_t 为时间效应； ρ 为空间滞后项系数； w_i' 为空间权重矩阵 W 的第 i 行； β_1 为核心解释变量的系数； β_2 为控制变量系数； ε_{it} 为误差项。本文所选取的空间权重矩阵是以两地空间距离表征的地理距离权重矩阵，计算方法为：

$$W_{ij} = \begin{cases} 1/d^2, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (4)$$

其中， d 为两地区地理中心位置之间的距离。

控制变量的选取上，首先基于传统STIRPAT模型^[21]，选用每平方千米人口数表征人口因素（pop），用人均GDP表征财富因素（pgdp），用科研支出占地方财政支出的比重表征技术因素（rd）。此外，本文考虑了与海洋污染密切相关的其他两个因素作为控制变量，即产业结构（sec）和对外开放（fdi），前者用第二产业增加值占GDP的比重度量，后者以当年实际使用外资额占GDP的比重度量。各控制变量数据来源于EPS数据库。

2 结果与分析

2.1 中国沿海城市化水平与海洋污染格局

2.1.1 沿海城市化水平

基于夜间灯光数据，根据公式（2）计算得到了2006—2013年沿海46个地级市的城市化水平指数，并以2013年结果为基础，运用自然间断点分级法将各市城市化水平分为5个等级，结果见表1，从表中报告的结果可以看出，利用夜间灯光亮度数据所得到的沿海城市化水平较高的地区主要集中在社会经济发展水平较高的环渤海城市群、长三角城市群和珠三角城市群，这与现实结果基本相符，也从侧面反映了运用夜间灯光亮度数据表征城市化水平的合理性。

为进一步考察沿海城市化发展进程，本文计算了各等级2006年、2010年和2013年的城市化水平指数均值，结果见图1。图中报告的结果显示，一方面沿海城市化推进速度总体有所放缓，另一方面城市化水平较高的地区推进速度明显快于城市化水平较低的地区，这在一定程度上反映了沿海城市化水平的地区差异在扩大。

2.1.2 沿海城市海洋污染格局

基于海洋污染物浓度数据，根据公式（1）计算

表1 中国沿海各地级市城市化深度水平

城市化水平（区间）	城市（按从高到低排序）
高 [20.14, 43.57]	深圳、上海、珠海、厦门、汕头、嘉兴
较高 [11.61, 20.13]	天津、宁波、南通、唐山、青岛、盘锦、东营
中等 [7.71, 11.60]	威海、泉州、三亚、惠州、潍坊、滨州、海口、烟台、江门、营口、沧州、揭阳、连云港、莆田、台州
较低 [4.80, 7.70]	日照、福州、大连、盐城、温州、北海、秦皇岛、汕尾、漳州
低 [1.71, 4.79]	湛江、阳江、锦州、茂名、葫芦岛、钦州、防城港、宁德、丹东

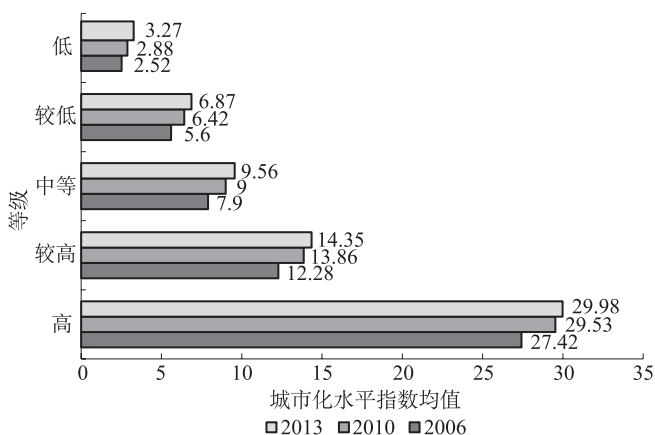


图1 不同等级城市化推进情况

得到了2006—2013年沿海46个地级市的海洋污染指数,限于篇幅,本文报告了考察期初(2006年)、期中(2010年)和考察期末(2013年)的结果,如表2所示。总体上看,与2006年相比,超过一半以上的沿海城市(26个)海洋污染指数出现上升,海洋污染仍然呈现加剧的态势。分海域来看,东海沿岸城市海洋污染最为严重,黄渤海次之,南海最小。其中,东海沿岸城市海洋污染不断加剧,并且已经形成了一条海洋高污染城市带;黄渤海和南海沿岸城市海洋污染情况均有所改善,其中黄渤海海区改善程度高于南海海区。

2.2 SAR模型实证结果

现有的研究成果表明城市化与环境污染间可能存在着线性和非线性(包括U形、倒U形、N形、倒N形)的相关性^[9, 22-24]。参考现有做法^[25],本文将城市化水平分解为一次项、二次项和三次项,对城市化推进与海洋污染间的关系进行全面的实证考察。

2.2.1 海洋污染的空间自相关检验

在使用空间面板计量方法前,需对被解释变量

的空间自相关性进行检验,若不存在显著的空间自相关性,则用传统的面板计量技术即可。表3给出了2006—2013年中国沿海46个地级市MPI的全局空间自相关检验结果。从表中报告的数值可以发现,Moran's *I*指数均小于0且大部分年份通过了10%的显著性检验。这一结果表明中国沿海城市海洋污染存在显著的空间负相关特征。具体来说,由于水流、风向等自然地理因素的存在,某一沿海城市的海洋环境问题必然会受到其空间邻近地区的影响。与此同时,由于地区经济发展差异所带来的产业转移、人口流动和贸易往来等人为因素,又进一步加深了沿海城市间海洋环境质量的空間联动性。Moran's *I*指数为负则反映出中国沿海地区的海洋污染呈现低值围绕高值的“高低型”和高值围绕低值的“低高型”分布特征,海洋污染在沿海地区出现规模集聚现象。

2.2.2 沿海城市化深度推进对海洋污染的影响

表4报告了以紧凑集约为特征的城市化深度推进对海洋污染影响的回归结果,Hausman检验的结果表明,无论是线性方程还是U形或N形方程,固定效应优于随机效应,LR检验的结果表明相较于时间固

表2 海洋污染指数的地区差异与动态变化

黄渤海				东海				南海			
城市	2006年	2010年	2013年	城市	2006年	2010年	2013年	城市	2006年	2010年	2013年
天津	0.251	0.208	0.208	上海	0.356	0.381	0.385	深圳	0.439	0.409	0.388
唐山	0.133	0.098	0.124	连云港	0.108	0.120	0.130	珠海	0.132	0.114	0.101
秦皇岛	0.176	0.094	0.131	南通	0.134	0.221	0.110	汕头	0.187	0.148	0.140
沧州	0.285	0.148	0.174	盐城	0.234	0.150	0.168	江门	0.196	0.145	0.174
大连	0.083	0.089	0.089	宁波	0.210	0.257	0.270	湛江	0.110	0.099	0.127
丹东	0.080	0.052	0.063	温州	0.146	0.214	0.204	茂名	0.127	0.135	0.085
锦州	0.134	0.223	0.139	嘉兴	0.694	0.800	0.835	汕尾	0.078	0.141	0.054
营口	0.241	0.121	0.119	台州	0.175	0.233	0.248	阳江	0.108	0.104	0.117
盘锦	0.323	0.309	0.197	福州	0.084	0.169	0.148	揭阳	0.054	0.069	0.079
葫芦岛	0.071	0.039	0.095	厦门	0.142	0.137	0.233	惠州	0.052	0.070	0.078
青岛	0.122	0.122	0.100	莆田	0.097	0.082	0.123	北海	0.074	0.025	0.023
东营	0.104	0.105	0.109	泉州	0.088	0.135	0.105	防城港	0.062	0.032	0.030
烟台	0.077	0.076	0.078	漳州	0.064	0.074	0.091	钦州	0.130	0.041	0.070
潍坊	0.115	0.183	0.162	宁德	0.227	0.173	0.214	海口	0.098	0.101	0.124
威海	0.088	0.104	0.111	—	—	—	—	三亚	0.033	0.048	0.045
日照	0.041	0.072	0.066	—	—	—	—	—	—	—	—
滨州	0.131	0.061	0.043	—	—	—	—	—	—	—	—
均值	0.144	0.124	0.118	均值	0.197	0.225	0.233	均值	0.125	0.112	0.109

表3 2006—2013年MPI全局Moran's *I*指数

时间	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
Moran's <i>I</i>	-0.031	-0.047	-0.035	-0.048	-0.047	-0.042	-0.048	-0.046
<i>P</i> 值	0.296	0.047	0.208	0.034	0.047	0.072	0.026	0.045

表4 回归结果(1)

变量	线性	U 型	N 型
ρ	-0.884 6*** (0.265 3)	-0.846 3*** (0.271 9)	-0.859 9*** (0.269 8)
ln urban1	-0.255 7 (0.252 0)	-0.915 3** (0.382 6)	-1.708 1*** (0.631 3)
(ln urban1) ²	—	0.257 1** (0.112 9)	0.868 9** (0.404 4)
(ln urban1) ³	—	—	-0.128 9 (0.081 8)
N	368	368	368
R ²	0.323 1	0.165 6	0.296 0
控制变量	是	是	是
个体固定	是	是	是
时间固定	是	是	是

注：括号内数字为标准误，***、**、* 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平

定效应和个体固定效应，双固定效应模型更合意^①。

表中报告的结果显示，无论是线性方程还是 U 形或 N 形方程，海洋污染指数的空间滞后项系数 ρ 在 1% 的水平下均显著为负，再次证明了海洋污染的显著空间负相关。继续观察各方程的回归结果可以发现，线性方程中城市化深度水平的一次项系数并未通过显著性检验，表明沿海城市化深度推进与海洋污染间并不是简单的线性关系，因此进一步考察非线性影响。N 形方程中，城市化深度水平的一次项系数显著为负，二次项系数显著为正，三次项系数为负但并不显著，表明海洋污染随着沿海城市化深度推进呈现出倒 N 形走势。按照 EKC 假说的一般检验过程，剔除并不显著的城市化深度水平的三次项进行 U 形检验，结果发现沿海城市化深度水平的一次项系数和二次项系数均在 5% 的水平下显著不为 0，其中二次项系数显著为正，表明沿海城市化深度推进与海洋污染之间存在着非线性的“U 形”关系。具体来说，沿海地区在城市化深度推进初期，地区产业结构不断升级，城市土地利用方式逐步转变为以环境友好型的服务业为主，海洋环境治理的压力不断降低。同时，城区内厂商密度的提高使得各类清洁生产技术和海洋环境治理设备得以共享，集聚效应和规模效应的发挥又进一步优化了海洋环境治理要素的配置，促进海洋环境治理效率的提高，使得沿海地区城市化的深度推进会改善海洋环境质量。但是随着城市化深度的不断推进，沿海城市人口密度和用地强度不断加大，环境拥挤现象产生，城市交通压力增大，开放空间和绿化面积减少，各类污染物的制造速度和排放强度不断增

加，近岸海域自净压力不断攀升，海洋环境治理能力越来越难以满足需求，进入沿海地区城市化的深度推进会加剧海洋污染的阶段。

本文进一步计算了该“U 形”曲线的拐点值，并依据计算结果将沿海 46 个城市按是否越过拐点划分为两种类型，表 5 给出了划分的结果。从表中可以发现，仅有处于低城市化深度水平的丹东、葫芦岛、宁德、钦州、湛江、茂名、阳江和防城港 8 市未越过拐点，而 80% 以上的沿海城市早在考察期初（2006 年）就已越过了拐点，进入了城市化深度水平的提升会加剧海洋污染的时期。

表5 是否越过拐点分类

类别	城市
越过拐点的城市（越过拐点时间）	天津（2006）、唐山（2006）、秦皇岛（2006）、沧州（2006）、大连（2006）、锦州（2007）、营口（2006）、盘锦（2006）、上海（2006）、南通（2006）、盐城（2006）、连云港（2006）、宁波（2006）、温州（2006）、嘉兴（2006）、台州（2006）、福州（2006）、厦门（2006）、莆田（2006）、泉州（2006）、漳州（2011）、青岛（2006）、东营（2006）、烟台（2006）、潍坊（2006）、威海（2006）、日照（2006）、滨州（2006）、深圳（2006）、珠海（2006）、汕头（2006）、江门（2006）、汕尾（2006）、揭阳（2006）、惠州（2006）、北海（2006）、海口（2006）、三亚（2006）
未越过拐点的城市	丹东、葫芦岛、宁德、钦州、湛江、茂名、阳江、防城港

2.2.3 沿海城市化广度推进对海洋污染的影响

表 6 进一步报告了以规模扩张为特征的城市化广度推进对海洋污染影响的回归结果，Hausman 检验和 LR 检验的结果表明，对于 U 形和 N 形方程，双固定效应模型最优，而对于线性方程而言，随机效应更合意。

与城市化深度推进对海洋污染影响的回归结果类似，无论是线性方程还是 U 形或 N 形方程，海洋污染指数的空间滞后项系数 ρ 均显著为负。不同之处在于，非线性关系检验中，U 形和 N 形方程中的二次项和三次项系数均未通过显著性检验，而线性方程检验结果显示城市化广度水平的一次项系数在 5% 的水平下显著为正，即城市化广度指数与海洋污染指数呈显著的正相关关系，这一结果表明以规模扩张为主的城市化广度推进只会单纯加剧海洋污染。

上述结果给出了一个严峻的现实，中国沿海城市化推进与海洋污染总体上正处于正相关阶段，沿海城市化推进与海洋污染尚未“脱钩”，沿海地区将面临

① 限于篇幅，本文并未列出 Hausman 检验和 LR 检验的结果，如有需要，可向作者索取，下同。

表6 回归结果(2)

变量	线性	U型	N型
ρ	-0.091 9 [*] (0.217 7)	-0.856 5 ^{***} (0.269 7)	-0.857 7 ^{***} (0.269 7)
$\ln \text{urban2}$	0.301 0 ^{**} (0.131 3)	0.278 6 (0.254 6)	0.221 1 (0.470 2)
$(\ln \text{urban2})^2$	—	0.051 4 (0.136 8)	-0.032 8 (0.594 2)
$(\ln \text{urban2})^3$	—	—	-0.029 4 (0.202 1)
N	368	368	368
R^2	0.100 4	0.314 7	0.316 9
控制变量	是	是	是
个体固定	否	是	是
时间固定	否	是	是

注: 括号内数字为标准误, ***, **, * 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平

更大的城市化推进与海洋污染防治的权衡性选择, 要实现城市化水平提升与海洋环境污染改善的双重目标仍然任重而道远。

2.2.4 稳健性检验

本部分通过替换估计方法和逐步回归两种策略对上述结果进行稳健性检验。首先, 考虑到控制变量的选取会影响本文核心被解释变量的结果, 因此采用逐步回归的方法进行检验(表7和表8), 第1列为未加控制变量的参数估计结果, 第2~6列为逐步添加控制变量的参数估计结果。其次, 采用不同的估计模型对变量系数进行重新估计(表9和表10), 第1列为不考虑空间相关性的最小二乘法(OLS), 第2~4列分别为只包含误差项空间自相关的面板空间误差模型(SEM)、同时包含被解释变量空间滞后项和误差项空间自相关的面板空间自相关模型(SAC)^①和在SAR基础上同时考虑被解释变量的空间滞后项的面板空间杜宾模型(SDM)。

上述稳健性检验的结果显示, 无论采用何种检验方法, 城市化深度水平的一次项系数均显著为负,

二次项系数均显著为正, 而对于城市化广度水平而言, 其线性估计系数均显著为正, 这表明前文所得出的结论具有较强的稳健性。

2.3 沿海城市化推进对海洋污染的作用机制

本部分运用中介效应分析范式对沿海城市化推进影响海洋污染的传导途径进行识别, 主要考虑集聚效应、技术进步效应和产业结构效应三条途径。其中, 集聚效应由人口密度(pop)表征, 技术进步效应由研发强度(rd)反映, 产业结构效应则由第二产业增加值占GDP的比重(sec)予以度量^[6]。基于此, 构建了如下回归方程所组成的中介效应分析模型:

$$\ln M_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{urban}_{it} + v_{it} \quad (5)$$

$$\ln \text{MPI}_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln \text{urban}_{it} + \gamma_2 \ln M_{it} + \xi_{it} \quad (6)$$

根据中介效应模型的判定标准, 若系数 β_1 、 γ_2 均显著, 则表明存在中介效应^[26]。

表9报告了中介效应估计结果显示, 无论是城市化深度推进还是广度推进, 都会对人口规模、技术水

表7 稳健性检验: 逐步回归(1)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\ln \text{urban1}$	-1.220 1 ^{***} (0.345 5)	-1.213 6 ^{***} (0.344 9)	-1.008 3 ^{***} (0.361 4)	-0.983 1 ^{***} (0.360 4)	-0.877 3 ^{**} (0.379 8)	-0.915 3 ^{**} (0.382 6)
$(\ln \text{urban1})^2$	0.272 5 ^{**} (0.105 8)	0.272 6 ^{***} (0.105 6)	0.278 7 ^{***} (0.105 2)	0.287 6 ^{***} (0.105 0)	0.251 5 ^{**} (0.112 7)	0.257 1 ^{**} (0.112 9)

注: 括号内数字为标准误, ***, **, * 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平

表8 稳健性检验: 逐步回归(2)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\ln \text{urban2}$	0.319 3 ^{***} (0.121 5)	0.236 3 [*] (0.127 1)	0.273 0 ^{**} (0.128 0)	0.280 4 ^{**} (0.128 3)	0.290 3 ^{**} (0.129 9)	0.301 0 ^{**} (0.131 3)

注: 括号内数字为标准误, ***, **, * 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平

表9 稳健性检验: 替换估计方法(1)

变量	OLS	SEM	SAC	SDM
$\ln \text{urban1}$	-1.028 4 ^{**} (0.416 6)	-0.983 6 ^{**} (0.397 4)	-0.941 2 ^{**} (0.389 5)	-1.117 6 ^{***} (0.397 5)
$(\ln \text{urban1})^2$	0.359 2 ^{***} (0.119 7)	0.239 7 ^{**} (0.117 0)	0.233 6 ^{**} (0.114 5)	0.237 0 ^{**} (0.112 8)

注: 括号内数字为标准误, ***, **, * 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平

表10 稳健性检验: 替换估计方法(2)

变量	OLS	SEM	SDM
$\ln \text{urban2}$	0.294 7 ^{**} (0.130 8)	0.295 8 ^{**} (0.132 7)	0.282 4 ^{**} (0.132 1)

注: 括号内数字为标准误, ***, **, * 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平

① 由于 SAC 模型不支持随机效应的拟合, 因此在对城市化广度推进对海洋污染影响的稳健性检验中将其剔除。

表9 沿海城市化推进对海洋污染的作用机制检验结果

	城市化深度推进模式				城市化广度推进模式			
	lnpop	lnrd	lnsec	lnmpi	lnpop	lnrd	lnsec	lnmpi
ln urban1	0.024 (0.047)	0.767* (0.462)	0.737*** (0.102)	-1.071*** (0.413)				
(ln urban1) ²	0.040*** (0.013)	0.137 (0.125)	-0.206*** (0.028)	0.268** (0.112)				
ln urban2	—	—	—	—	-0.067*** (0.020)	-0.599*** (0.145)	-0.088** (0.036)	-0.272** (0.130)
ln pop	—	—	—	-0.853* (0.450)	—	—	—	0.291** (0.129)
ln rd	—	—	—	-0.095** (0.046)	—	—	—	-0.063 (0.042)
ln sec	—	—	—	-0.116 (0.210)	—	—	—	-0.047 (0.177)
N	368	368	368	368	368	368	368	368
R ²	0.191	0.120	0.150	0.062	0.390	0.321	0.094	0.190

注：括号内数字为标准误，***、**、* 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平

平和产业结构产生显著的影响，但是这些影响对海洋污染的中介效应有所差异。

就城市化深度推进而言，其带来的人口集聚与技术水平的提升与海洋污染呈显著的负相关，而产业结构对海洋污染的负向影响并未通过 10% 的显著性检验。一方面，中国沿海城市化深度推进中，人口快速集聚促进了医疗、交通、教育和污染治理设施等公共资源的共享，进而促进了资源配置的进一步合理化，提高了地区环境治理效率^[27]，进而促进海洋污染的防治。另一方面，沿海城市化深度推进伴随着技术的进步，尤其是绿色技术进步能够促进清洁的生产技术和工艺的推广与应用，从而促进清洁生产和末端治理^[28]，减少污染物的排放入海。但是，长期以来中国沿海地区的城市化推进是与工业化同步进行，其特征表现为高耗能、高排放和高污染产业迅速发展^[22]，这一现实使得本应成为降低海洋污染关键推力的产业结构绿色升级却未发挥出预期的效果。就城市化广度推进而言，其带来的人口规模的扩大与海洋污染呈显著的正相关，产业结构和技术水平对海洋污染的影响并未通过 10% 的显著性检验。这一结果表明随着城市规模不断扩大所带来的人口增长只会单纯地加剧沿海地区的海洋污染。此外，产业结构和绿色技术未能转型升级也是城市扩张加剧海洋污染的关键因素所在。

3 主要结论与政策启示

3.1 主要结论

在“海洋强国”的战略背景下，探究沿海城市化

推进与海洋污染间的关系对沿海城市绿色发展具有重要意义。本文以 2006—2013 年中国沿海地级市层面的面板数据为样本，运用空间计量技术从深度推进和广度推进两方面系统考察了中国沿海城市化推进对海洋污染的影响及其作用机制，主要得出如下结论：

（1）以紧凑集约为特征的城市化深度推进与海洋污染之间存在着非线性的“U 形”关系，而以规模扩张为特征的城市化广度推进只会单纯地加剧海洋污染。

（2）城市化深度推进会通过集聚效应和技术进步效应对海洋污染产生积极影响，而城市化广度推进

过程中所带来的人口规模的扩大会加剧海洋污染，此外产业结构和绿色技术未能转型升级也是城市扩张加剧海洋污染的关键因素所在。

（3）空间相关分析的结果显示中国沿海城市海洋污染存在显著的空间负相关，呈现出地区集聚的规模污染效应，其中东海沿岸已经形成了一条海洋高污染城市带，海洋污染形势尤为严峻。

3.2 政策启示

基于上述结论，本文对沿海地区海洋环境管理提出如下建议：第一，加强区域合作，实现海洋污染的区域联防联控。虽然新组建的生态环境部在一定程度上打破了海洋污染纵向治理上的“多头管理，权责不清”的格局，但在海洋污染横向治理上，各地方政府依然存在着“互相推诿，各自为阵”的壁垒。需进一步加强海洋污染治理的区域合作，通过信息共享、人才共享和设施共享的方式对海洋污染的“重灾区”进行重点整治。第二，注重城市的紧凑集约化发展，发挥沿海城市化推进对海洋污染防治的正外部性影响。在划定城市边界的基础上合理规划城市布局，推进城市资源合理配置，提高城市环境治理效率，降低陆源污染对近岸海域的影响程度。第三，推进海洋经济的绿色可持续发展，实现沿海经济发展与海洋环境污染的脱钩。一方面要加快沿海产业结构升级，不断降低高能耗、高排放、高污染型的产业比重；另一方面要加大科技投入，推动清洁的生产技术和工艺的推广与应用，早日发挥海洋产业结构绿色转型和技术进步对海洋污染的促降效应，实现海洋经济发展与海洋环境污染的脱钩。

参考文献

- [1] 戈华清. 陆源污染对公众健康的危害及法律对策分析[J]. 生态经济, 2011(5): 169-173.
- [2] 王子玥, 李博. 环渤海地区海洋经济与海洋环境污染关系研究[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(9): 1051-1057.
- [3] 王淼, 胡本强, 辛万光, 等. 我国海洋环境污染的现状、成因与治理[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2006(5): 1-6.
- [4] 沈满洪. 海洋环境保护的公共治理创新[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2018, 18(2): 84-91.
- [5] 孙中和. 中国城市化基本内涵与动力机制研究[J]. 财经问题研究, 2001(11): 38-43.
- [6] 邵帅, 李欣, 曹建华. 中国的城市化推进与雾霾治理[J]. 经济研究, 2019, 54(2): 148-165.
- [7] 江曼琦, 席强敏. 中国主要城市化地区测度——基于人口聚集视角[J]. 中国社会科学, 2015(8): 26-46.
- [8] 耿宏兵. 紧凑但不拥挤——对紧凑城市理论在我国应用的思考[J]. 城市规划, 2008(6): 48-54.
- [9] 马磊. 中国城市化与环境质量研究[J]. 中国人口科学, 2010(2): 73-81.
- [10] GLAESER E L, KAHN M E. The greenness of cities: carbon dioxide emissions and urban development[J]. Journal of urban economics, 2010, 67(3): 404-418.
- [11] 唐茂钢, 王克强. 经济发展、土地城市化与环境质量[J]. 华东师范大学学报(哲学社会科学版), 2018, 50(2): 137-147.
- [12] 杜江, 刘渝. 城市化与环境污染: 中国省际面板数据的实证研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(6): 825-830.
- [13] 李茜, 宋金平, 张建辉, 等. 中国城市化对环境空气质量影响的演化规律研究[J]. 环境科学学报, 2013, 33(9): 2402-2411.
- [14] 秦怀煜, 唐宁. 海洋经济增长与海洋环境污染关系的 EKC 模型检验[J]. 当代经济, 2009(17): 158-159.
- [15] 秦雪, 宋维玲, 魏秀兰, 等. 海洋经济增长与海洋环境污染的库兹涅茨曲线实证研究[J]. 海洋经济, 2018, 8(6): 54-63.
- [16] 何林涛, 陈璇. 基于面板数据的海洋环境污染对海洋经济发展影响的实证研究[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(2): 17-21.
- [17] 陆益龙. 户籍: 一种对中国城市化制度性的扭曲[J]. 探索与争鸣, 2012(12): 60-64.
- [18] 陶然, 徐志刚. 城市化、农地制度与迁移人口社会保障——一个转轨中发展的大国视角与政策选择[J]. 经济研究, 2005(12): 45-56.
- [19] 陈晋, 卓莉, 史培军, 等. 基于 DMSP/OLS 数据的中国城市化过程研究——反映区域城市化水平的灯光指数的构建[J]. 遥感学报, 2003, 7(3): 168-175.
- [20] LIU Z F, HE C Y, ZHANG Q F, et al. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008[J]. Landscape and urban planning, 2012, 106(1): 62-72.
- [21] DIETZ T, ROSA E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology[J]. Human ecology review, 1994, 1(2): 277-300.
- [22] 林伯强, 刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略[J]. 经济研究, 2010, 45(8): 66-78.
- [23] 王亚菲. 城市化对资源消耗和污染排放的影响分析[J]. 城市发展研究, 2011, 18(3): 53-57, 71.
- [24] XU B, LIN B Q. How industrialization and urbanization process impacts on CO₂ emissions in China: evidence from nonparametric additive regression models[J]. Energy economics, 2015, 48: 188-202.
- [25] SHAO S, YANG L L, YU M B, et al. Estimation, characteristics, and determinants of energy-related industrial CO₂ emissions in Shanghai (China), 1994-2009[J]. Energy policy, 2011, 39(10): 6476-6494.
- [26] BARON R M, KENNY D A. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations[J]. Journal of personality and social psychology, 1986, 51(6): 1173-1182.
- [27] 程开明, 李金昌. 紧凑城市与可持续发展的中国实证[J]. 财经研究, 2007, 33(10): 73-82, 106.
- [28] ANDREONI J, LEVINSON A. The simple analytics of the environmental Kuznets curve[J]. Journal of public economics, 2001, 80(2): 269-286.

The Impact of China's Coastal Urbanization on Marine Pollution: Based on Panel Spatial Measurement Method

YU Xuan¹, SHEN Manhong^{1,2*}, XIE Huiming^{1,2}, WANG Di¹

(1. Business School, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. Donghai Institute, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Exploring the relationship between coastal urbanization and marine pollution is of great significance to the green development of coastal cities. Based on the marine pollution data and the nighttime brightness data from remote sensing of 46 cities along the coast of China from 2006 to 2013, the spatial measurement technology was used to investigate the impact of coastal urbanization on marine pollution and its mechanism. The results showed that: there is a non-linear “U-shaped” relationship between deep urbanization and marine pollution, and breadth urbanization only exacerbated marine pollution. Deep urbanization will have a positive impact on marine pollution through agglomeration effects and technological progress effects, while the expansion of population scale brought about by extensive urbanization will aggravate marine pollution, and the failure of industrial structure and green technology to transform and upgrade is also the key factor in urban expansion aggravating marine pollution. In addition, the study also found that there is a significant spatial negative correlation between marine pollution in China's coastal cities, showing the scale pollution effect of regional agglomeration. The study proposed that in the process of marine environmental management, on the one hand, regional cooperation should be strengthened to achieve joint regional prevention and joint control of marine pollution; on the other hand, the city's compact and intensive development should be emphasized, and the positive externalities of coastal urbanization to prevent and control marine pollution should be brought into play. In addition, it is also necessary to promote the green and sustainable development of the marine economy and realize the decoupling of marine economic development from marine environmental pollution.

Keywords: coastal urbanization; marine pollution; green development; spatial measurement