

大尺度流域水污染防治能力综合评估及 动力因子分析 ——以淮河流域为例

周 亮¹, 徐建刚²

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093; 2. 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093)

摘要: 水污染是影响公众健康和经济可持续发展的突出问题之一。随着城镇化、工业化和农业化快速发展, 流域水环境污染防治压力日趋严峻。以淮河流域为研究对象, 在遵循大尺度流域水污染内在机理的基础上, 采用熵值法、GIS空间分析法和回归模型等技术方法, 通过流域水污染控制处理、监测预警、监督管理、防治投入等四个方面的能力, 对流域35个城市水污染防治能力进行了综合评估, 并对流域水污染防治的动力因子进行探讨。结果表明: ①流域水污染防治力空间差异显著, 东部平原地区污染防治能力较高, 西部山区以及各子流域大部分地区防控能力较低, 淮河干流及干流以南的中游区域防治能力中等偏低。②污染防治驱动力多元回归分析表明, 流域内源动力, 即公众教育、区域经济发展水平等因子是流域水污染防治的根本驱动力; 舆论监督、外商投资等外源动力是区域水污染治理关键动力。

关键词: 水污染; 防治能力; 动力因子; 大尺度流域; 淮河流域

DOI: 10.11821/dljy201310003

1 引言

水环境污染是制约流域社会经济发展, 损害公众健康的突出问题之一^[1]。随着中国流域城市快速扩张、工业加速集聚、农药化肥过量投入, 长期粗放式发展^[2]和僵化的水资源管理模式, 导致流域水环境承载力下降, 水资源无序利用、水环境急剧恶化, 流域发展的环境成本高昂^[3,4]。目前, 中国重点流域大部分水体已无剩余排污容量, 水体使用功能大面积下降甚至丧失^[5]。流域环境恶化, 污染治理资金短缺, 公众环境意识提高与环境质量短期内难以根本改善的矛盾日益尖锐。“九五”、“十五”、“十一五”期间, 国家在淮河流域投入了巨大的人力物力, 累计投入水污染防治资金728.5亿元, 完成防治项目1447项^[6,7]。淘汰了大批落后产能, 关停整治了上万家印染、化工等重污染企业, 提升改造了城镇污水管网, 全面推行农村规模化养殖、试点推广测土配方施肥工程, 逐步形成了以“点源—面源”为防控核心的水污染协同防治体系, 在一定程度上取得突破性进展, 延缓和改善了流

收稿日期: 2013-03-15; 修订日期: 2013-07-23;

基金项目: 南京大学研究生科研创新基金(2013CL07); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07210-010-001); 江苏研究生创新计划(CXLX13_033)

作者简介: 周亮(1983-), 男, 甘肃天水人, 博士, 主要从事城市地理与区域规划、环境地理学研究。

E-mail: zhougeo@126.com

通讯作者: 徐建刚(1960-), 男, 教授, 博士生导师。E-mail: xjg129@sina.com

1792-1801 页

域水污染态势,得到了明显的社会和生态效益。然而,由于长期的污染积累和欠账,淮河流域水污染形势依然十分严峻,2010年流域半数以上水功能区水质超标,流域的98个国控监测断面中,Ⅳ类及以上水质占到全部监测断面的68.4%^[8,9],水环境恶化严重削弱了流域水资源对经济发展的支撑能力^[10]。随着流域公众、媒体、政府和相关利益群体对水环境污染的高度关切^[11,12]。流域水污染治理能力评价、水污染治理驱动力研究亟待开展,并已成为学术界探讨热点课题之一。近年来,一些学者对流域水污染防治展开较为广泛研究。如Cheng等采用模糊评估法,对流域紧急救援规划是否能应对流域突发性水污染事故进行评估,并探讨如何第一时间将信息反馈给应急管理部门^[13]。方国华等通过最优控制理论和优化技术,采用投入产出模型,分析了水污染控制要求的国民经济的产出水平、发展速度及水资源使用和水污染治理总量^[14]。王丽婧等通过构建上游流域水污染防治规划控制单元的分区分类水污染防治技术框架,对水污染区域进行类型划分,并以此为导向提出水污染治理治理措施^[15]。洪滨从水污染对工业、农业、人体健康及突发性水污染等七个方面的影响出发,分析了水污染对其所造成的经济损失和突发性水污染损失^[16]。焦士兴等选取工业废水排放量等10项指标,建立城市类型划分及其影响因素的评价指标体系,探讨了水环境污染的驱动力^[17]。王大鹏等提出S—环境效率变化模型,并应用该模型实证分析了中国七大流域1998-2009年水环境效率动态变化,揭示各流域环境效率变化的趋势及动因^[18]。吴钢等采用模糊综合评价模型对大伙房库区下游浑河抚顺段1996-2004年间水质状况进行评价^[19]。徐志伟等在分析海河流域水污染现状及成因的基础上,探索了针对省、市政府和企业的多层次水污染治理结构的制度选择^[20]。

综上所述,流域水污染防治方面研究多集中在污染现状与原因、污染治理措施,突发水污染处置,水污染与社会经济响应等方面研究。而对流域污染评价及驱动力方面的研究较为少见,其研究尚未得到足够重视。鉴于此,本文选择污染防治典型的淮河流域作为实证研究区,借助Arcgis空间分析优势,建立流域环境—社会经济数据库,对淮河流域35个地级市水环境污染治理展开综合评估,并采用回归模型对流域水污染防治动力因子进行深入的剖析和探讨。从而在对前期研究进行补充扩展的基础上^[21],进一步为流域水污染防治规划、流域生态补偿、流域污染治理资金分配提供理论依据和参考。

2 研究区概况

淮河流域介于长江和黄河流域之间,以废黄河为界分成淮河及沂沭泗河两大水系(图1)。流域面积约26.96万km²,西部、南部及北部以丘陵山地为主,中下游以平原为主,平原面积约占流域总面积的2/3。流域水资源量空间分布不均,南多北少,东多西少。流域主体涉及河南、山东、江苏、安徽四省35个地市,2010年GDP总量3.45万亿元,三产结构的比例为16%:52%:32%。流域人口1.71亿,人口密度稠密,城镇化水平远低于全国平均水平。流域耕地占到全国的15.2%,是中国粮食主产区和粮食调出基地之一,2010年粮食产量8010万吨,占全国粮食产量的14.6%。《全国新增1000亿斤粮食生产能力规划(2009-2020年)》明确指出淮河流域是中国三大粮食作物稻谷、小麦与玉米的优势主产区,也是粮食增产规划的核心区之一,承担着约75亿公斤新增粮食产能建设任务。

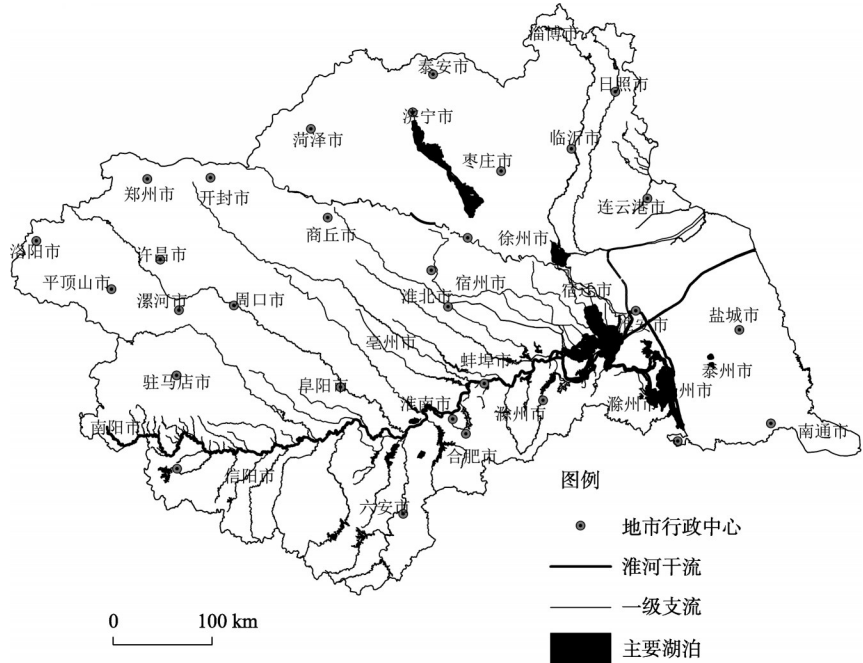


图1 淮河流域区位及主要水系图

Fig.1 Location and main river systems of Huaihe River Basin

3 资料来源与研究方法

3.1 数据来源

研究中涉及的淮河流域自然地理、工农业经济、水文水利、资源环境等数据，主要来源于流域35个地级市《2011年统计年鉴》、《2011年江苏统计年鉴》、《2011年安徽统计年鉴》、《2011年山东统计年鉴》、《2011年河南统计年鉴》，《2010年安徽环境统计年报》、《2010年山东环境统计年报》、《2010年河南环境统计年报》以及《2011年中国环境年鉴》、《2011年中国畜牧年鉴》。空间地图数据采用的是国家基础地理信息中心的1:25万和1:100万分县市行政区划图。指标体系中涉及到的调查数据则是经过筛选提取流域各地区环保、水利和淮委官方网站获得。

3.2 评估指标

影响大尺度流域水污染防治能力的因子众多且错综复杂，其中诸多因子对流域污染防治能力的影响程度难以量化评估，且数据获取难度较大。因此，根据系统研究的科学性、综合性、简洁性、层次性和数据可获得性五个基本原则，从大尺度流域水污染防治的内涵与机理出发，构建了流域水污染防治能力综合评价指标体系。该体系分为四层：一级指标层（A），即最终评价结果，反映流域水污染防治综合能力；二级指标层（B），包括影响水污染防治能力的4个因素指标；三级指标层（C），即对二级因素指标的细化和分解，包括9个因素指标；四级指标层（D），即对三级因素指标的进一步细化，是评价流域水污染防治能力的具体因素指标，包括16个因素指标（图2）。上述4个评价方面16项指标，层次明确，基本涵盖了水环境污染治理主要因素，能较为全面准确地反映流域水污染防治的真实水平。

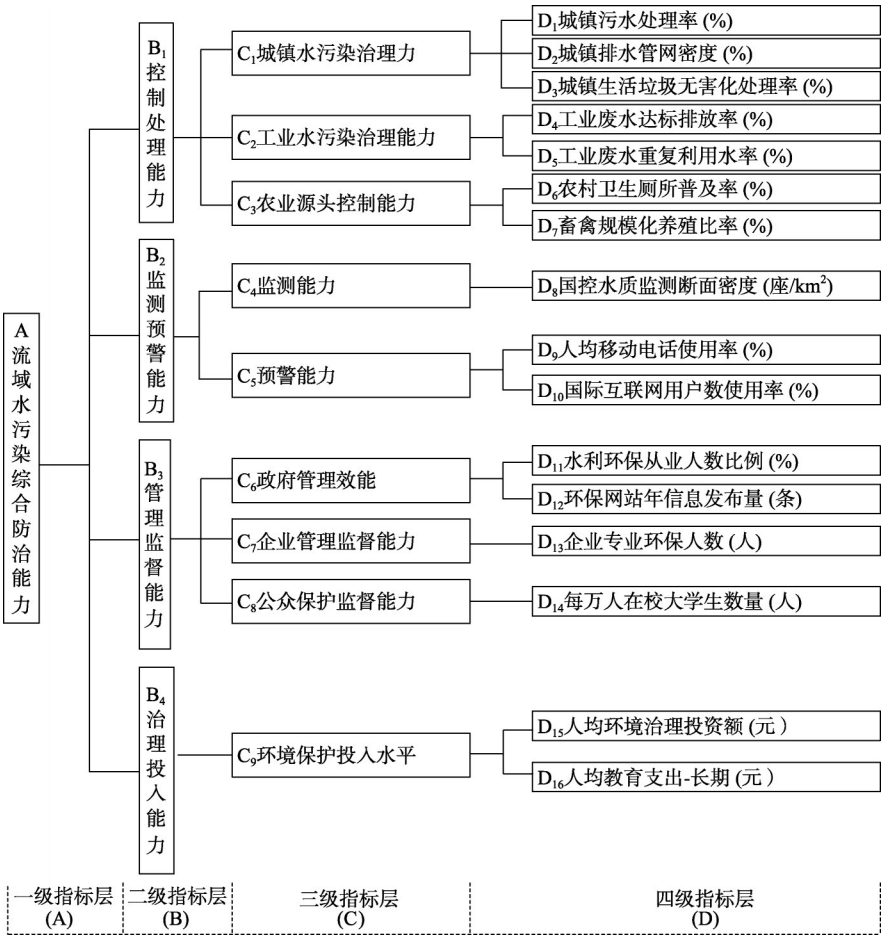


图2 污染防控能力评价体系

Fig.2 Water pollution prevention capability of evaluation index system

3.3 评估方法

目前，综合指标体系测度过程中确定权重的方法主要有主观赋权与客观赋权方法两类。主观赋权法是依据评价者对指标的主观判断来确定权重，由于评价者专业背景和认知侧重点存在较大差异，通常权重结果会出现主观倾向和随意性。本文选取的熵值法（熵权法）则是通过各项指标的原始信息对其效用价值进行判别，是一种客观赋权方法，因此在很大程度上能规避主观因素所产生的偏差，被广泛应用到统计学、经济学和地理学等各个领域，具有较强的研究价值。一般认为，信息熵值越高，系统结构越均衡，差异越小，或者变化越慢；反之，信息熵越低，系统结构越不均衡，差异越大，或者变化越快。所以，可以根据熵值大小，也即各项指标值的变异程度，计算出权重，再依据具体确定的权重计算出最终评价价值。熵值法确定权重的具体步骤可见相关文献^[22-24]，各评价指标的具体权重值见表1。

根据上述各项评价基础数据和研究方法，首先将上述各项指标进行标准化处理，再计算熵值、冗余度和权重。通过表1确定的权重，分别对水污染控制处理、监测预警、管理监督、防治投入以及水污染防治综合能力进行评估，可得到淮河流域35个地级市及全流

表 1 各层次评估指标权重分配

Tab.1 Weights of indexes in different hierarchies

指 标	权 重	指 标	权 重	指 标	权 重	指 标	权 重	指 标	权 重	指 标	权 重
D ₁	0.0242	D ₄	0.0121	D ₇	0.0898	D ₁₀	0.0620	D ₁₃	0.0663	D ₁₆	0.0388
D ₂	0.0264	D ₅	0.0143	D ₈	0.1355	D ₁₁	0.0527	D ₁₄	0.1405		
D ₃	0.0209	D ₆	0.0266	D ₉	0.0684	D ₁₂	0.0576	D ₁₅	0.1640		

表 2 淮河流域水污染治理能力评估值

Tab.2 Assessment value of water pollution prevention and control capacity in Huaihe River Basin

地 区	控制 处理 能力	监测 预警 能力	管理 监督 能力	防治 投入 能力	综合 防治 能力	地 区	控制 处理 能力	监测 预警 能力	管理 监督 能力	防治 投入 能力	综合 防治 能力
徐州市	0.63	1.21	0.91	0.77	6.27	枣庄市	0.61	0.74	0.75	0.74	4.94
南通市	1.19	0.74	0.75	0.59	5.95	济宁市	0.65	0.65	1.27	0.62	5.77
连云港市	0.78	2.22	0.73	0.21	7.67	泰安市	0.58	0.54	0.98	0.11	4.32
淮安市	0.72	1.26	1.10	1.47	7.62	日照市	0.93	0.56	0.54	2.45	6.51
盐城市	0.66	0.54	0.74	1.22	5.11	临沂市	0.67	0.78	0.92	0.24	4.98
扬州市	1.11	1.47	0.86	0.38	7.29	菏泽市	0.60	0.31	0.76	0.14	3.47
泰州市	0.91	1.11	0.51	0.63	5.68	郑州市	1.07	1.44	3.64	0.45	12.73
宿迁市	0.71	1.04	0.95	0.30	5.70	开封市	0.81	0.34	0.79	0.05	3.91
合肥市	1.00	0.64	3.18	0.45	10.07	洛阳市	0.89	0.52	0.62	0.71	4.77
蚌埠市	0.29	0.93	1.06	0.51	5.05	平顶山市	0.38	0.38	0.66	0.40	3.25
淮南市	0.49	2.32	1.25	0.96	9.08	许昌市	0.68	0.40	0.57	0.37	3.67
淮北市	0.35	0.81	0.72	0.77	4.51	漯河市	0.29	0.96	0.71	0.12	4.04
滁州市	0.57	0.33	0.81	0.30	3.73	南阳市	0.27	0.12	0.72	0.23	2.42
阜阳市	0.36	0.85	0.29	0.22	3.23	商丘市	0.42	0.27	0.61	0.31	2.91
宿州市	0.27	0.27	0.56	0.09	2.28	信阳市	0.31	0.29	0.50	0.16	2.36
六安市	0.40	0.14	0.87	0.11	2.94	周口市	0.26	0.42	0.18	0.14	1.86
亳州市	0.27	1.13	0.28	0.05	3.42	驻马店市	0.38	0.15	0.26	0.06	1.63
淄博市	0.94	0.74	1.66	3.97	10.65	流域平均	0.61	0.76	0.91	0.58	5.14

域的水污染防治能力值（表 2）。评价值越大表示水污染防治能力越高，反之，则越低。根据计算得到的最终水污染防治能力值，采用 Arcgis10.0，结合 Natural breaks（Jenks）和 Manual 取整数方法，将评估值依次从高到低划分为 5 个评估等级，分别做出比较分析。

4 结果分析

4.1 控制处理能力

通过对淮河流域水污染控制处理能力评估分析得到，流域经济相对发达的东部平原地区市水环境污染控制能力较好，尤其以淮河江苏流域最好；而淮河上游、中游的河南省、安徽省大部分地区控制处理能力相对较弱。南通市、泰州市、合肥市、郑州市、日照市、连云港市和开封市等区域控制能力普遍较高；沂沭泗流域的菏泽市、济宁市、枣庄市及江苏徐州市等地区控制能力中等；河南驻马店、平顶山、许昌市、阜阳市、淮南市、淮北市及

六安市控制能力较低。河南周口市、漯河市、商丘市、南阳市、信阳市，安徽亳州市、宿州市、蚌埠市、滁州市控制处理能力则最低。总之，流域水环境控制水平东部高于西部、下游高于中上游。

4.2 监测预警能力

水污染防治的监测预警能力主要体现在水环境预警、预报信息的准确性和及时反馈性两个方面，其主要受区域内监测站网的布置、监测预警技术等因素影响。随着流域水文站网、数字化流域的建设以及网络通讯技术的普及，淮河流域的水污染监测预警能力将有很大的提高。通过对淮河流域水污染监测预警能力评估分析发现，监测预警能力最高的区域在流域东南的连云港市和淮南市；较高区域集中在江苏扬州市、淮安市、徐州市、泰州市及河南郑州市等地市；中等区域集中在流域中上游的在宿迁市、蚌埠市、阜阳市及漯河市等地市；较低区域主要集中在流域西部的周口市、驻马店市、商丘市、六安市等地区。总体而言，淮河流域水污染监测预警能力呈现东部高于西部、干流高于支流，平原高于丘陵山地等特点。

4.3 管理监督能力

流域水污染的管理、监督能力主要体现在当地政府、企业和公众对流域水污染的监管能力和重视关注程度。政府对水污染管理控制效率、企业尤其是化工、造纸、钢铁等重污染企业的自律行为、当地公众的监督参与等因素，将在水污染治理过程中扮演越来越重要角色。通过对淮河流域水污染管理监督能力评估比较分析发现，流域江苏段的徐州市、连云港是、淮安市、扬州市、淄博市及郑州市6个城市管理监督能力最高；流域江苏和山东段的南通市、泰州市、宿迁市、枣庄市、济宁市、临沂市、日照市管理监督能力较高；流域中上游的淮南市、合肥市、开封市、菏泽市、泰安市管理监督能力中等。流域河南段驻马店市、周口市等其余地市的管理监督能力普遍呈现较低。

4.4 水污染治理投入能力

流域水污染治理投入能力主要涉及地区人均环境治理投资强度、人均教育支出强度，两者在不同时间尺度上反映出各地区水污染治理的投入能力。通过对淮河流域水污染投入能力评估分析发现，淮河江苏段的扬州市、淮安市、连云港市以及河南郑州市等地区为污染治理投入水平最高；其次是江苏泰州等地市和山东济宁市、枣庄市等地市；洛阳市、淮南市、合肥市、菏泽市、泰安市为流域投入水平中等地区；平顶山、许昌市、漯河市、阜阳市、亳州市、淮北市、蚌埠市等9市投入水平较低地区；信阳市、驻马店市、周口市、商丘市、南阳市、宿州市、滁州市为治理投入水平最低地区。

4.5 水污染防治力综合评估

综合流域水污染控制处理、监测预警、管理监督、投入四个方面的评估结果，对淮河流域水污染防控能力进行综合评估（图3）。从流域综合评价的整体空间分布分析，流域经济发展质量最好、财政资金投入充足、管理监督水平较高的郑州市、合肥市、淄博市和淮南市4个地区污染防治能力最高，面积为12142 km²，约占流域总面积的4.5%（表3）。流域经济发展水平一般干流地区、干流以南及沂沭泗河流域防控能力中等，流域中上游各个子流域防控能力普遍较低。流域防控能力四省比较发现，江苏最好，山东次之，河南和安徽两省防控能力较弱。探究其原因，江苏和山东两省均地处东部沿海发达地区，经济实力雄厚、治理投入保障充足、防治效率较高，另外经济主要以第二、三产业为主，点源污染是其主要的污染源，经过“十一五”期间节能减排，产业结构优化、技术革新改进以及

循环经济试点,该地区工业和城镇点源基本得以控制,因此,其整体防治能力较高;而河南与安徽两省作为国家粮食主产区、粮食调出省,农业生产压力空前,大量的化肥农药、畜禽养殖产生的面源污染是其主要的污染贡献,从而导致其整体防治能力较低。总之,淮河流域水污染防治能力东部整体高于西部,东部淮河江苏流域和山东流域明显高于中西部安徽流域和河南流域;干流普遍高于支流,下游明显高于中上游、流域平原地域远高于山区,省会城市高于流域一般地级市。

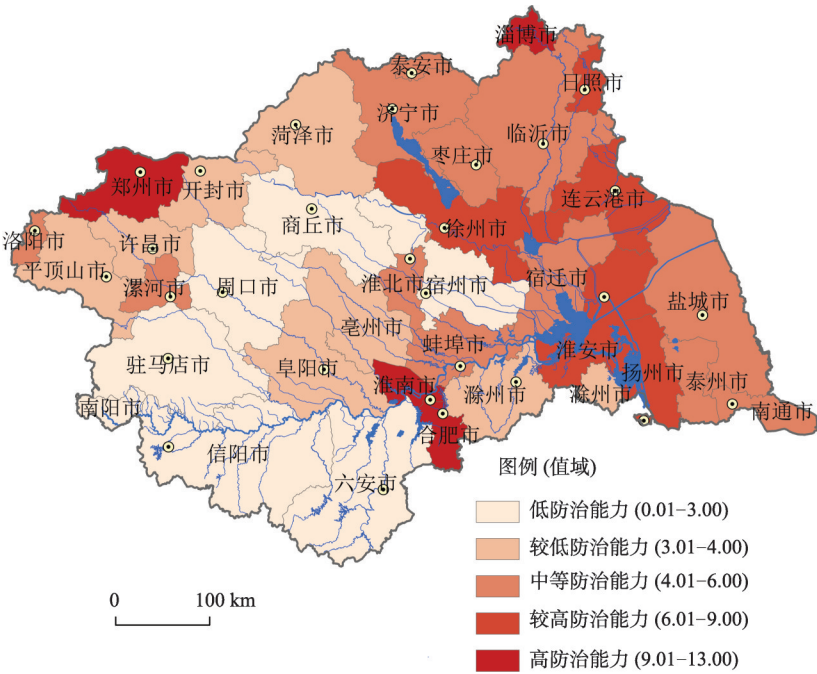


图3 淮河流域水污染防治能力综合评估
Fig3 Comprehensive evaluation of water pollution prevention and control capability in Huaihe River Basin

表3 淮河流域各地市水污染防治能力分级

Tab.3 Water pollution prevention and control capability grades in Huaihe River Basin

防治能力等级	个数	面积/km ²	地市名称
高防治能力	4	12142	合肥、郑州、淄博、淮南
较高防治能力	5	37924	扬州、连云港、淮安、徐州、日照
中等防治能力	10	72549	南通、泰州、盐城、宿迁、蚌埠、淮北、洛阳、枣庄、临沂、济宁
较低防治能力	9	87600	滁州、阜阳、亳州、商丘、许昌、平顶山、开封、菏泽、漯河
低防治能力	7	53914	六安、驻马店、周口、信阳、南阳、宿州、泰安

5 淮河流域水污染防治动力因子

影响流域水环境污染防治动力因子众多,且相关利益者之间相互博弈。跨行政区的大尺度流域地区之间,存在水资源调度、水权分配、跨界断面污染、生态补偿以及市场管理等一系列错综复杂问题。然而,随着流域经济快速发展、公众环境保护意识普遍提升、媒体监督声音提高,行政管理与市场管理协调开展,这些因素致使水污染防治动力因子朝着呈现多元化格局发展。中央与地方政府、大中小型企业、公众市民、电视、网络媒体、非政府组织(NGO)、国际环境保护协会(IEPOA)等组织,不断参与到流域水污染监督管理及防治体系来^[25],致使流域水污染防治主体从单一的政府主导,逐步走向政府、企业、公众和非政府组织等多元的监管局面。虽然流域水污染防治驱动因素呈现多元化发展趋

势,但分析发现,其与地区经济发展水平之间的关系最为密切,两者之间相关系数高达0.809,高度相关(图4),明显呈现环境库兹涅茨曲线^[26-28],即水污染在低收入水平上随人均GDP增加而上升,高收入水平上随GDP增长而下降。为了更进一步阐明水污染防治动力机制,在通过流域实地走访及调研基础上,将流域多元化的水污染防治动力因子归纳为内源动力和外源动力两个层次。内源驱动力是区域水污染防治的根本动力,主要决定于区域的经济发展水平、政府企业环保支出、公众环境意识、环保科学技术水平、科学人才培养、产业升级改造等因素。外源动力是区域水污染防治的关键动力,与内源动力相辅相成,其更强调舆论监督、上一级政府资金支持、国际环境公约约束、国家环境规章与立法效能、非政府组织的监督干预等。

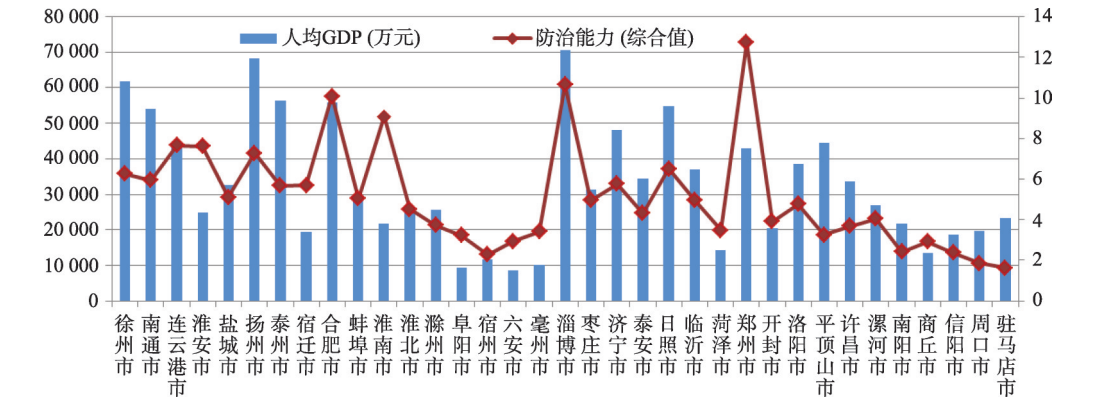


图4 流域地市污染防治能力与人均GDP关系

Fig.4 The relationship between water pollution prevention capability and per capita GDP

为了深入探究内源动力与外源动力对流域水污染防治影响,本文在驱动因子可量化的前提下,选取地区生产总值(X_1)、人均教育支出(X_2)、人均科学支出(X_3)代表内源力,人均社会固定资产投资(X_4)、外商直接投资(FDI)(X_5)代表外源动力作为自变量。同期流域水污染防治能力综合评估得分(Y)作为因变量,构建水污染防治与其动力因子的回归模型。首先,对自变量 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 与因变量流域水污染治理能力(Y)进行相关性分析,置信度在0.01水平上,其相关系数分别为0.809、0.811、0.729、0.781、0.476。反映出5个动力因子与流域水污染防治综合评价得分之间有较为显著的相关关系。再次,通过多元回归模型分析进一步进行探讨,回归系数值的大小反映了指标对因变量的影响强弱,数值越大对因变量的重要性越显著。为了比较5个因素对水污染防治影响大小程度,本文采用标准回归系数。回归分析中t统计量值为-0.132,双尾显著性概率(Sig.0),则分别说明各变量的显著性程度较好。根据因子得分和标准回归系数,最终建立多元线性回归模型依次如下:

$$Y = -0.324 + 0.153X_1 + 0.395X_2 + 0.116X_3 + 0.224X_4 + 0.073X_5 \quad R^2 = 0.727 \quad (1)$$

分析表明,内源力和外源动力因子共同作用于流域水污染防治提升。内源动力是最根本驱动力,综合影响系数达到0.664。其中,人均教育支出动力因子影响系数0.395,居于首位,其次是人均生产总值影响系数及人均科学支出影响系数,分别为0.153,0.116。外源力是关键动力,在流域水污染防治中不容忽视,其综合影响系数为0.297;社会固定资产投资和外商直接投资影响系数分别为0.224和0.073,表明了固定资产投入在水污染治理中也发挥着非常重要的作用。通过上述分析说明,大尺度流域水污染防治的动力因子是复杂的、多元的,各种动力向量在不断变化,此消彼长,不同时期发挥作用不同。在中国现

体制下,流域水污染治理主要由政府主导,治理资金主要依赖国家财政。但随着市场经济体制的发展完善、公众社会意识的普遍提高,以政府财政拨付、企业融资、民间资本筹措、环境公益基金等主要的市场化体系的建立,将能更好的驱动污染防治能力提高。另外,电视、网络、报纸等媒体、国际舆论、国际环境公约、NGO组织、透明高效的行政管理、环境法律法规完善等都将驱动流域水污染的防治进一步提高。

6 结论

本文选取淮河流域为研究区,在遵循科学性、综合性、简洁性、层次性和数据可获得性基础上,建立了淮河流域水污染防治能力评估体系,采用熵值分析法,对流域内35个地市水污染防治能力进行了评估和分析,并通过建立回归模型分析了淮河流域水污染防治动力因子。研究表明:①流域水污染防治能力存在着显著空间差异,流域整体防治能力东部高于西部,干流高于支流,下游高于中上游,流域经济发达的平原地区防治能力高于经济欠发达的山地丘陵地区,省会城市防治能力普遍高于流域其他城市。②回归分析表明:流域水污染防治驱动力中内源动力是污染防治的根本动力,对流域污染防治起到决定性作用;外源动力是区域水污染治理关键动力,也不容忽视。

参考文献(References)

- [1] Julio Sánchez-Chóliz, Rosa Duarte. Water pollution in the Spanish economy: Analysis of sensitivity to production and environmental constraints. *Ecological Economics*, 2005, 53(3): 325-338
- [2] 高爽,魏也华,陈雯,等.发达地区制造业集聚和水污染的空间关联:以无锡市区为例. *地理研究*, 2011, 30(5): 902-912.
- [3] 段春青,刘昌明,陈晓楠,等.区域水资源承载力概念及研究方法的探讨. *地理学报*, 2010, 65(1): 82-90.
- [4] 夏军,程绪水,左其亭,等.淮河流域水环境综合承载力及调控对策.北京:科学出版社,2009.12-46.
- [5] 王浩,游进军.水资源合理配置研究历程与进展. *水利学报*, 2008, 39(10): 1168-1175.
- [6] 李云生,王东,张晶.淮河流域“十一五”水污染防治规划研究报告.北京:中国环境科学出版社,2008.
- [7] 环境保护部.重点流域水污染防治规划(2011-2015年).北京:环境保护部污染防治司,2010.
- [8] 蒋艳,彭期冬,骆辉煌,等.淮河流域水质污染时空变异特征分析. *水利学报*, 2011, 42(11): 1283-1288.
- [9] 董秀颖,王振龙.淮河流域水资源问题与建议. *水文*, 2012, 32(4): 74-78.
- [10] 李九一,李丽娟.中国水资源对区域社会经济发展的支撑能力. *地理学报*, 2012, 67(3): 410-419.
- [11] Azizullah Muhammad, Nasir Khan Khattak, Peter Richter. Water pollution in Pakistan and its impact on public health-A review. *Environment International*, 2011, 37(2): 479-497.
- [12] Kim Chi Tran, Jorge Euan, Maria Luisa Isla. Public perception of development issues: Impact of water pollution on a small coastal community. *Ocean & Coastal Management*, 2002, 45(2): 405-420.
- [13] Cheng C Y, Qian X. Evaluation of emergency planning for water pollution incidents in reservoir based on fuzzy comprehensive assessment. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2: 566-570.
- [14] 方国华,钟淋涓,吴学文,等.水资源利用和水污染防治投入产出最优控制模型研究. *水利学报*, 2010, 41(9): 1128-1133.
- [15] 王丽婧,翟羽佳,郑丙辉,等.三峡库区及其上游流域水污染防治规划. *环境科学研究*, 2012, 25(12): 1370-1377.
- [16] 洪滨.发达地区水污染经济损失计量研究[D].南京:河海大学,2007.
- [17] 焦士兴,王腊春,霍雨,等.基于水环境分析的南方典型中小城市类型划分及水污染驱动力研究. *环境科学*, 2009, 30(7): 1888-1892.
- [18] 王大鹏,朱迎春.中国七大流域水环境效率动态评价. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(9): 20-25.
- [19] 吴钢,蔡井伟,付海威,等.模糊综合评价在大伙房水库下游水污染风险评价中应用. *环境科学*, 2007, 28(11):

2438-2441.

[20] 徐志伟. 海河流域水污染成因与多层次治理结构的制度选择. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(3): 431-434.

[21] 周亮, 徐建刚, 蒋金亮, 等. 淮河流域水环境污染防治能力空间差异. 地理科学进展, 2013, 32(4): 560-569.

[22] 陈明星, 陆大道, 张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析. 地理学报, 2009, 64(4): 387-398.

[23] 苏飞, 张平宇. 石油城市经济系统脆弱性评价: 以大庆市为例. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1237-1274.

[24] 欧向军, 甄峰, 秦永东, 等. 区域城市化水平综合测度及其理想动力分析: 以江苏省为例. 地理研究, 2008, 27(5): 994-1002.

[25] 张弛. 淮河流域水污染防治的政府间合作管理模式构建研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.

[26] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment. Quarterly journal of Economics, 1995, 110(2): 353-377.

[27] Diao X D, Zeng S X, Tam C M et al. EKC analysis for studying economic growth and environmental quality: A case study in China. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(5): 541-548.

[28] 吴玉鸣, 田斌. 省域环境库兹涅茨曲线的扩展及其决定因素空间计量经济学模型实证. 地理研究, 2012, 31(4): 627-640.

Comprehensive evaluation and driving factors analysis of water pollution prevention capability on a large-scale basin: Taking Huaihe River Basin as example

ZHOU Liang¹, XU Jiangang²

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Water pollution is one of the prominent problems that affect public health and sustainable economic development. And water pollution prevention pressure of the river basin is becoming increasingly serious with the rapid development of urbanization, industrialization and agriculturalization. Taking Huaihe River Basin as the research object and based on the following internal mechanism of large-scale basin water pollution, this paper carries out the comprehensive evaluation of basin water pollution prevention capability for 35 cities in four aspects, namely, control and treatment, monitoring and warning, supervision and management, prevention and input capability of the river basin. It also explores the driving factors of water pollution prevention with the help of entropy method, GIS spatial analysis and regression model method. The results are shown as follows. (1) Spatial difference of water pollution prevention capability is prominent in the Huaihe River Basin while the pollution prevention ability is higher in the eastern plain area, lower in most parts of the western mountainous area and each of its sub-basins and generally medium to low in main streams and middle reaches to the south of the trunk river. (2) Multiple regression analysis of pollution prevention driving force indicates that the basin endogenous powers, including public education, regional economic development level, play a vital role in water pollution prevention. Exogenous motivation including supervision by public opinion and foreign investment is the key power of regional water pollution prevention.

Key words: water pollution; prevention capability; driving forces; large-scale basin; Huaihe River Basin