

淮河流域水环境污染防治能力空间差异

周 亮¹, 徐建刚², 蒋金亮¹, 袁艳华¹, 孙东琪¹

(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:采用淮河流域35个地市2010年社会经济、网络调查和水环境污染相关数据,在突出主导因素和可操作原则的基础上,系统的构建了流域水污染防治综合评价体系,运用熵权法对流域各市水污染防治能力进行评价,并采用GIS空间分析方法对流域水环境污染防治能力的总体、局部的空间差异变化、特征和规律进行探索。结果表明:①淮河流域各地市水污染防治能力普遍较低,且呈现显著空间差异性,流域水污染防治能力整体呈现干流高于支流,下游高于中游,中游高于上游的梯级趋势;②流域经济发达地区防治能力明显高于欠发达地区,省会城市防治能力远高于普通地级市;③流域水污染综合防治能力空间分布与流域实测水质空间分布高度契合,即防治能力较高地区水质普遍较高,防治能力较低地区水质则较差。

关 键 词:水环境;污染防治;空间差异;淮河流域

doi: 10.11820/dlkxjz.2013.04.008

1 引言

淮河流域水污染治理是中国半个世纪以来水污染防治历程的一个缩影,流域水环境污染已成为流域当前面临最主要环境问题之一,对沿淮流域的经济和人民的生产生活造成极大危害(李锦秀等, 2003)。随着淮河流域城市化、工业化以及农业现代化的快速推进,流域人口增加、经济实力增强、工业和生活废水排放量持续增加,以及农业化学品的大量投入,导致流域水环境急剧恶化(邵玉龙等, 2012; 孙伟等, 2010; 夏军等, 2012)。几十年来,国家和地方政府投入了大量的人力物力,采取了一系列重大决策,对淮河流域进行了系统监测、防控和治理,逐步完善了“点一面源”协同的水污染防治体系,水污染控制处理也取得了一定进展,因此,淮河也成为第一个依法进行全面综合治理的流域。但由于流域长期的污染积累和沿淮各城市经济发展的迫切需要,流域污染速度远远大于治理速度,同时,污染重点也从以前的点源为主转移到面源(周

亮等, 2012)。因此,流域水污染治理形势依然严峻,短期内难以得到根本治理。2010年淮河流域57控制单元CDD(化学需氧量)排放量总计133.36万t,氨氮排放量18.38万t,分别占全国10大重点流域的排放量的10.32%和15.23%(国家环保部《重点流域水污染防治规划(2011-2015年)》),超过一半的水功能区水质超标,严重制约流域社会经济的持续健康发展。

目前,淮河流域相关研究多集中在流域极端降水、径流、气温的时空变化规律、演变特征以及变化趋势和统计模拟(杜鸿等, 2012; 陆志刚等, 2011; 王珂清等, 2012; Xia et al, 2012);流域水环境承载力、水质污染的时空特征、气候变化对流域水质水量影响(窦明等, 2012; 蒋艳等, 2011);流域的洪涝灾害防灾减灾能力评价,暴雨灾害时空分布及趋势规律,水灾脆弱性特征及影响因素(顾留碗等, 2012; 黄大鹏等, 2011; 于文金等, 2012)。而流域水环境污染防控治理方面的研究则集中两个方面:①理论与方法研究。国内外学者对水污染防治管理利

收稿日期:2012-12; 修订日期:2013-03.

基金项目:南京大学研究生科研创新基金项目(2013CL07);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07210-010-001);国家自然科学基金项目(40871261)。

作者简介:周亮(1983-),男,甘肃天水人,博士生,主要研究方向为城市与区域规划、环境地理学。E-mail: zhougeo@126.com

通讯作者:徐建刚(1960-),男,江苏淮安人,教授,博士生导师,主要从事城市遥感与GIS研究。E-mail: xjg129@sina.com

地面积的15.2%。当前,流域正处于城镇化,工业化和农业现代化快速发展时期,水环境压力大,水质污染严重,其中水体污染以氨氮型污染和非点源污染型特征最为明显,2010年水质Ⅳ类及以上监测断面占监控断面总数的68.4%,水环境污染防治任务艰巨。

2.2 数据来源

本文重点选用流域地理、环境监测和社会经济统计3大类数据:① 地理数据。流域行政区划图、地形图及水系基础数据分别来自国家基础地理信息中心和淮河水利委员会,经过矢量化以及空间校正等预处理。② 环境监测和网络调查数据。来自流域35个地市环境保护网站、水利网站和淮河水利委员会官方网站。③ 社会经济统计数据。主要来自流域江苏、安徽、河南、山东4省及35个地级市2011年统计年鉴、4省2010年环境统计公报、《中国环境年鉴2011》、《中国畜牧年鉴2011》等。

2.3 研究方法

确定指标权重是综合评价的关键环节,直接影响评价结果的科学性和可靠性。由于不能充分考虑各指标提供的信息量,人为赋权往往缺乏客观依据,不能完全反映研究对象的实际状态。因此,本文选择熵权法确定权重,熵权法是一种客观确定权重的较常用方法,其是根据各项观测值所提供的信息量的大小来确定指标权重,能够克服人为确定权重的主观性以及多指标变量间信息的重叠,被广泛应用于社会经济等研究领域。在信息论中,熵是系统无序程度的度量。某项指标值变异程度越大,信息熵越大,该指标提供的信息量越大,该指标的权重也越大;反之该指标的权重越小。普遍认为,熵权法能够深刻反映指标信息熵值的效用价值,其给出的指标权重值比德尔菲法和层次分析法有较高的可信度。其计算步骤为:

(1) 构建原始指标数据矩阵作为研究基础。

(2) 数据标准化处理:指标值越大对流域水污染防治能力评价越有利时,采用正向指标计算方法;指标值越小对流域水污染防治能力评价越有利时,采用负向指标计算方法处理。

正向指标: $x'_{ij} = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$ (1)

负向指标: $x'_{ij} = \frac{x_{\max} - x_j}{x_{\max} - x_{\min}}$ (2)

式中: x'_{ij} 为流域第*i*市第*j*项水污染防治能力评价

指标标准化值; x_j 为评价指标初始值; x_{\min} 和 x_{\max} 分别为全流域35地市中第*j*项评价指标的最小值和最大值。

(3) 计算第*i*市第*j*项评价指标值的比重:

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} (0 \leq y_{ij} \leq 1)$$
 (3)

(4) 计算第*j*项评价指标的熵值 e_j :

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij}$$
 (4)

式中: $K > 0$; $K = \frac{1}{\ln m}$; m 为评价单元数; $e_j \geq 0$

(5) 计算评价指标*j*的冗余度(差异性系数):

$$d_j = 1 - e_j$$
 (5)

(6) 计算评价指标*j*的权重:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}$$
 (6)

(7) 计算第*i*城市的流域水污染防治能力值:

$$U = \sum_{j=1}^n y_{ij} w_j \times 100$$
 (7)

式中: n 为指标数。

2.4 指标选取及评价体系构建

指标体系是一个复杂的评价系统,所以,选取指标最大的问题就是使所选的指标具有全面性和代表性。水环境污染防治的影响因素众多,辨识和评判特定区域的水环境污染防治能力,应基于多因子综合的评价方法进行。因此,本文从流域水污染控制处理、监测预警、管理监督、防治投入4个方面16项代表性指标出发,构建流域水污染防治能力评价体系(表1)。首先,分别从城镇、工业和农村3方面系统测评淮河流域水污染控制处理能力;其次,基于污染监测和群众预警2个方面测评水污染防治的监测预警能力;再次,通过政府、企业和公众3大主体在水污染防治过程中发挥的作用来测评淮河流域水污染管理监督能力;最后,分别从短期和长期投入能力对流域水污染防治能力进行测评。

上述评价体系分为4层:目标层(I),即最终评价结果,反映流域水污染防治综合能力;准则层(II),包括影响水污染防治能力的4个因素指标;项目层(III),即对准则层因素指标的细化和分解,包括9个因素指标;指标层(IV),即对项目层指标的进一步细化,是评价流域水污染防治能力的具体因素指

表 1 水污染防治能力评价体系及权重
Tab.1 Evaluation index system and weights of water pollution prevention and control capability

目标层(I)	准则层(II)	项目层(III)	权重	指标层(IV)	权重	总权重
淮河流域水环境污染防治能力评价体系	水污染控制 处理能力	城镇污水处理能力	0.3118	城镇污水处理率	0.2792	0.0242
				城镇排水管网密度	0.4059	0.0264
				城镇生活垃圾无害化处理率	0.3149	0.0209
		工业污水处理能力	0.1088	工业废水达标排放率	0.4320	0.0121
				工业废水重复利用率	0.5682	0.0143
		农业源控制治理能力	0.5794	农村卫生厕所普及率	0.1955	0.0266
				畜禽规模化养殖比率	0.8044	0.0898
	水污染监测 预警能力	监测能力	0.4650	国控水质监测断面密度	1.0000	0.1355
		预警能力	0.5350	人均移动电话使用率	0.5263	0.0684
	水污染管理 监督能力	政府管理效能	0.3141	国际互联网用户数使用率	0.4737	0.0620
				水利环保从业人数比例	0.5852	0.0527
				政府环保网站年信息发布量	0.4148	0.0576
		企业管理监督能力	0.1963	企业专业环保人数	1.0000	0.0663
	水污染防治 投入能力	公众保护监督能力	0.4896	每万人在校大学生数量	1.0000	0.1405
		防治投入能力	1.0000	人均环境治理投资额	0.8024	0.1640
				人均教育支出/长期	0.1977	0.0388

标,包括16个因素指标。指标体系各层次和指标彼此独立,基本涵盖了流域水污染防治能力的各个领域。

3 水污染防治能力空间差异及原因

3.1 水污染防治能力空间差异

清晰和明确流域污染防治能力的空间差异,能更好的从全局出发指导流域水污染防治规划,对流域产业准入、粮食增产、工业布局以及城镇化建设具有现实指导意义。本文依据表1确定的权重,分别对流域水污染控制处理能力、监测预警能力、管理监督能力、防治投入能力以及水污染防治能力进行评价。再利用ArcGIS10.0软件的空间分析技术,将流域4个污染防治方面和总体防治能力划分为高、较高、中等、较低和低5个等级,以便对流域水环境污染防治能力的空间差异和特征规律进行分析(图2)。

3.1.1 水污染控制处理能力空间差异

水污染控制处理能力主要体现流域工业污水排放和城镇生活点源污染工程处理能力,以及农业生产和生活中产生的非点源污染的源头控制能力,是流域整体污染控制能力的基础。图2a显示,流域水环境污染控制处理能力在空间上存在着显著的差异,呈极不均衡分布。流域下游河网地区水污染

控制处理能力相对较高,中上游大部分地区相对较低,其中以江苏淮河流域最高,河南淮河流域最低。控制处理能力在流域空间上与地形呈反梯度的分布格局。水污染控制处理能力较高的地市主要分布在下游的南通(1.0)、扬州(0.923)、泰州(0.702),以及省会城市合肥(0.796)和郑州(0.874)等地市;水污染控制处理能力中等地区主要分布在沂沭泗流域的菏泽(0.373)、济宁(0.462)、枣庄(0.378)及江苏徐州(0.402)等地市;较低控制处理能力地区分布在河南驻马店(0.129)、平顶山(0.135),安徽阜阳(0.115)、六安(0.15)等地市。水污染控制处理能力最低的地区主要分布流域上游的河南周口(0.005)、漯河(0.031)、南阳(0.008)以及中游的安徽亳州(0.012)、宿州(0.01)、蚌埠(0.029)等地市。总体而言,淮河流域水污染控制处理能力空间差异明显,下游高于中游、中游高于上游。

3.1.2 水污染监测预警能力空间差异

随着流域水文站点、气象站点以及数字化流域的建设和网络通讯技术的普及覆盖,流域的水污染监测预警能力将不断的提升。图2b显示,监测预警能力在流域空间上同样存在着显著的区域差异,总体呈现下游高于中上游、干流高于支流,平原河网地区高于山地丘陵地区的态势。监测预警能力最高的地区分布在下游的江苏连云港(0.957)和安

徽淮南市(1.0);监测预警能力较高的地区分布在中下游的江苏扬州(0.617)、淮安(0.519)、徐州(0.495)及河南省会郑州(0.601)等地市;监测预警能力中等的地区主要分布在淮河中上游的阜阳(0.335)、蚌埠

(0.370)、宿迁(0.420)及漯河(0.382)等地市;监测预警较低和最低的地区主要分布在流域上游的平顶山(0.121)、周口(0.136)、驻马店(0.015)和商丘(0.069)等地市。

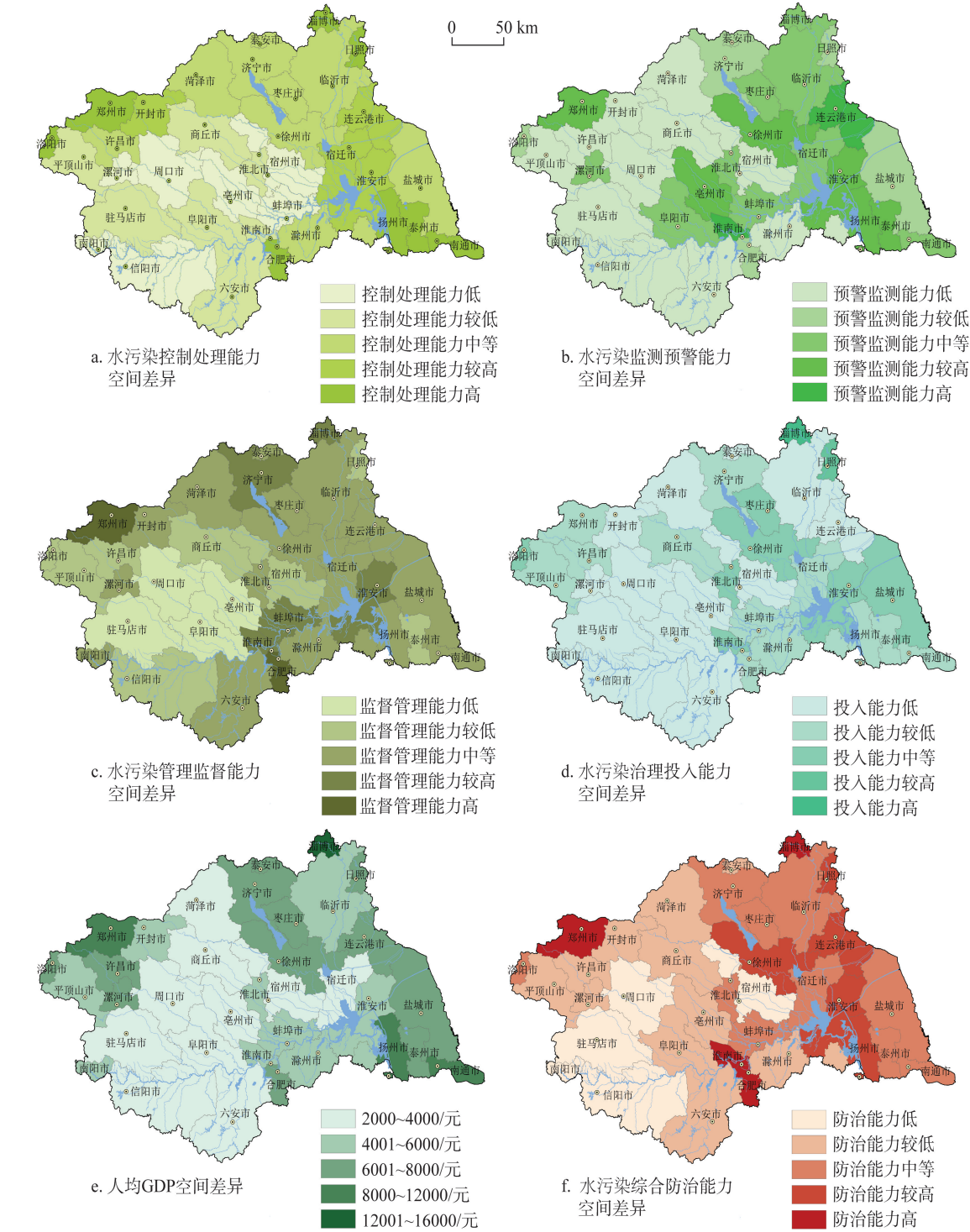


图2 淮河流域水污染防控能力空间差异特征

Fig.2 Spatial diversity characteristics of water pollution prevention ability in the Huaihe River Basin

3.1.3 水污染管理监督能力空间差异

随着流域管理机构、各级政府、相关企业和流域居民环境意识的提高。流域的环境管理监督也不断的强化,尤其是流域工业企业,如化工、造纸、钢铁、纺织等重污染企业实行关停和技术升级改造,流域居民环境监督参与度不断提升,将大幅的提高流域水污染监督管理能力。图2c显示,由于流域企业素质、政府管理水平存在地区差异,因此流域水环境管理监督能力也存在着明显的空间差异,淮河干流地区监督管理能力远远高于支流。其中,合肥(0.867)、淮南(0.309)、济宁(0.316)、淮安(0.265)、淄博(0.427)及郑州(0.999)等地市管理监督能力最高;六安(0.20)、蚌埠(0.258)、临沂(0.214)、宿迁(0.222)等地市管理监督能力较高;中上游的淮北(0.156)、开封(0.175)和菏泽(0.166)等地市管理监督能力中等;上游的驻马店(0.023)、周口(0.001)等地市管理监督能力普遍较低。

3.1.4 水污染治理投入能力空间差异

淮河流域水污染防治投入包括资金、人力、物力和民众的教育等诸多因素,是一个综合复杂的指标体系。为便于计量,本文选用人均环境治理投资强度和人均教育支出强度两个可量化指标,并分别从短期和长期投入出发,来衡量流域水污染治理投入能力。如图2d所示,淮河流域山东段的淄博(1.00)、日照(0.613)水污染防治的投入能力最高;下游及干流的淮安(0.362)、盐城(0.30)、淮南(0.233)和淮北(0.183)等地市水污染防治能力普遍较高;苏北

地区的泰州(0.148)、山东济宁(0.145)、枣庄(0.176)以及中上游的洛阳(0.168)、合肥(0.103)等地市污染防治投入能力中等;位于流域中上游的平顶山(0.089)、许昌(0.082)、漯河(0.019)以及阜阳等地市污染防治投入能力较低;上游的信阳(0.028)、周口(0.024)以及驻马店(0.02)等地市为治理投入水平最低地区。淮河流域水污染治理的空间差异分析表明,省会城市水污染治理的投入能力并非最高;正如图2e所示,投入能力的空间差异与区域经济发展水平有较密切的联系。

3.1.5 水污染综合防治能力的空间差异

通过对流域水污染控制处理能力、监测预警能力、管理监督能力、治理投入能力4个方面评价结果进行加权求和,得到流域各地市水污染防治的综合能力(图2f)。其空间特征的分析显示,淮河流域整体的水污染防治能力存在着显著的空间差异性和地域不均衡性,即流域下游(东部)地区污染防治能力普遍较高,中游(中部)地区次之,上游(西部)地区防治能力最低,在流域空间形成梯度格局(图3)。其中郑州(1.0)、合肥(0.761)、淄博(0.813)和淮南(0.671)4市污染综合防治能力最高,属于第一梯队;流域下游平原地区污染防治能力普遍较高;干流以南及西北部防治能力中等偏低;而中上游的沙河、颍河、沙颍河、北汝河、涡河、汝河、洪河等子流域综合防治能力普遍较低。总之,淮河流域水污染综合防治能力省会城市高于周边一般地级市,东部高于西部,干流高于支流,下游高于中上游,平原高

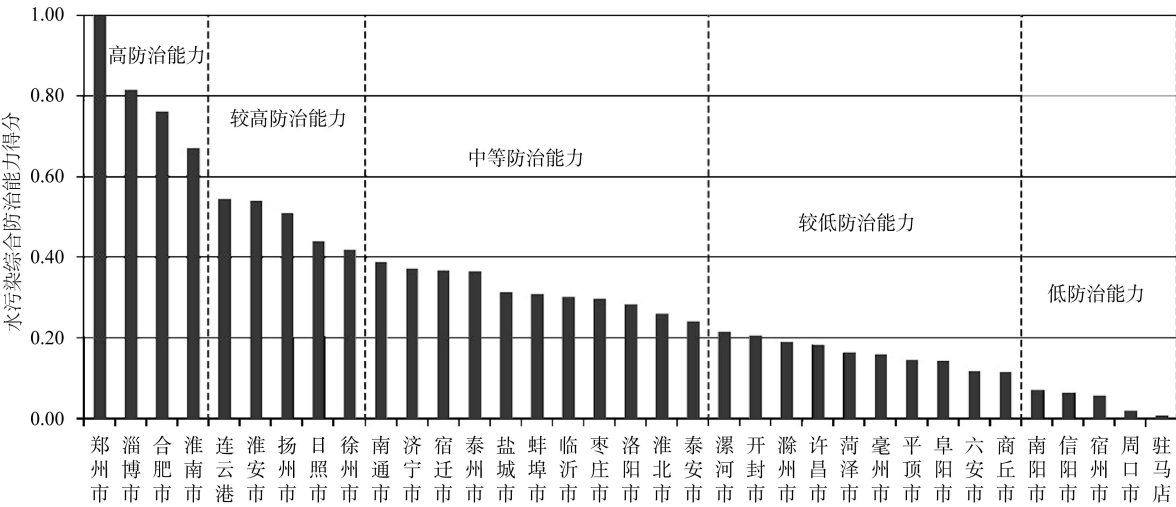


图3 淮河流域各地市水污染防治能力分级

Fig.3 Classification of water pollution control ability of cities in the Huaihe River Basin

于山区。

3.2 水污染防治能力空间差异的成因和验证

3.2.1 空间差异的形成原因

综合评价结果表明,淮河流域各城市整体水污染防治能力普遍较低,且在4个评价层面和总体上均存在显著的空间差异。如图3所示,流域35个地市中仅有郑州、合肥、淄博和淮南市4个城市水污染综合防治能力表现最好,流域面积1.28万 km²,仅占全流域总面积的0.48%。水污染防治能力较高的城市也较少,且大部分集中在下游的江苏省,包括扬州、淮安、徐州等5个地市,流域面积3.54万 km²,仅占全流域的13.12%;综合水污染高防治能力和较高防治能力共9个地市,面积不超过流域总面积的1/5。全流域有22.87万 km²的面积、超过74.28%的城市,水污染防治能力均属于一般、较低或低水平,可见流域整体防治能力较弱。

进一步的深入研究表明,淮河流域水污染防治能力的区域差异的形成与流域经济发展水平和产业结构关系密切。水污染防治能力较低的城市大多地处中上游经济欠发达的地区或高耗能、重污染的产业承接转移区,这些地区大部分人均收入较低,工业中能源原材料产业比重较高,生产工艺落后,污染治理投入严重不足。在国家加快中西部发展战略背景下,大量东部沿海地区的资源型和重污

染产业向中西部地区转移,这些产业的转移落户虽在一定程度上提振了当地的经济,但同时也带来了严重的环境问题。另外,流域水污染防治能力较弱的河南和安徽两省,还是全国重要的产粮区和主要的粮食、畜产品调出省,由于粮食增产压力巨大,导致大量的化肥农药的无节制的投入,引发日益严重的农业和养殖业的面源污染,因此,如不从源头上遏制造成水污染物质的排放,水污染的防治便难以奏效。

3.2.2 空间差异成因的验证

根据2010年发布的《重点流域水污染防治规划(2011-2015年)》,对淮河流域86个河流现状监测断面数据以及流域多年平均降雨量数据进行整理和分析,并将其数据进行空间可视化(图4)。结果显示,流域水污染综合防治能力的空间分布与流域实际水质类别特征空间分布高度契合,存在着明显相关关系:防治能力较高的下游平原地区和干流地区水质普遍较好,水质基本控制在Ⅲ类以下;防治能力中等的中游地区水质则基本控制在Ⅲ类和Ⅳ类左右;防治能力较低和最低的上游的沙河、颍河、涡河、汝河、洪河等支流区域水质普遍较差,水质大部分在Ⅳ以上,并以Ⅴ和劣Ⅴ类水质为主。防治能力与流域实测水质的空间分布大体一致,一定程度上佐证了本研究评估结果的可靠性。

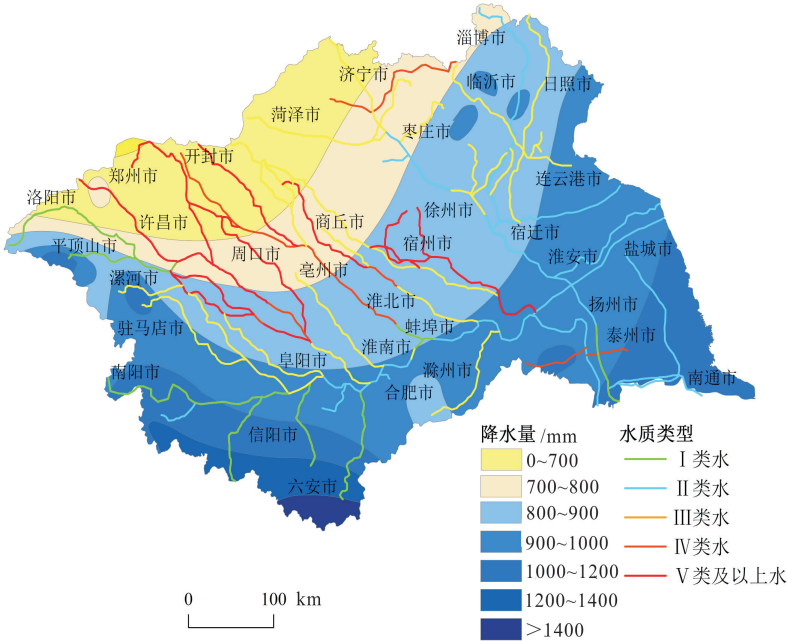


图4 淮河流域降水与实测水质的空间分布特征

Fig.4 Spatial distribution of precipitation and water quality of the Huaihe River Basin

4 结论与讨论

4.1 结论

本文通过多项指标遴选,系统构建了流域水污染防治能力综合评价体系,并对流域水污染防治能力的空间差异特征及形成原因进行分析,主要结论如下:

(1) 淮河流域的水污染防治能力总体较低,且流域各地市间空间差异显著。基本特征为:干流高于支流,下游高于中游,中游高于上游,呈现与海拔相反的梯度格局。流域4省中水污染防治能力以江苏最高,山东次之,安徽较低,河南最低。

(2) 流域水污染防治能力与流域综合经济发展水平密切相关。经济相对发达的东部平原地区水污染防治能力高于经济欠发达的上游地区,省会城市郑州和合肥远高于流域一般地级市。

(3) 流域水污染综合防治能力空间分布与流域实测水质类别空间分布高度契合,存在着明显相关关系。防治能力较高地区水质普遍较好,防治能力较低地区水质则较差。表明流域水质与流域防治能力呈负相关,并在一定程度上印证了最终评价结果的可信性。

4.2 讨论

流域是自然生态环境和社会经济共同作用的复杂综合体,淮河流域更是地跨四省,上中下游隶属不同的行政区的大尺度流域,其在地理特征、社会经济、水环境管理制度以及工农业生产方式上均存在较大的差异,因此,淮河流域水污染治理评价中不仅需要考虑上述因素,而且还要重点考虑这些因素随时间的变化而发生变化。本文关于水污染防治能力的评价及空间差异特征分析,是从水环境和水污染防治的指标出发,没有涉及到流域水环境容量、水环境承载力和水环境压力等因素,在下一步的研究中将会重点予以探讨。

参考文献(References)

Cheng C Y, Qian X. 2010. Evaluation of emergency planning for water pollution incidents in reservoir based on fuzzy comprehensive assessment. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 566-570.

Dou M, Zuo Q T, Hu R, et al. 2012. Carrying capacity of water environment in the Huaihe River Basin. *Advances in Water Science*, 21(2): 248-254. [窦明, 左其亭, 胡瑞, 等.

2012. 淮河流域水环境综合承载能力. *水科学进展*, 21(2): 248-254.]

Du H, Xia J, Zeng S D. 2012. Temporal and spatial variations and statistical models of extreme runoff in Huaihe River Basin. *Acta Geographica Sinica*, 67(3): 398-409. [杜鸿, 夏军, 曾思栋. 2012. 淮河流域极端径流的时空变化规律及统计模拟. *地理学报*, 67(3): 398-409.]

Gu L W, Wang C, Li W T, et al. 2012. Vulnerability characteristics of flood disasters and their impact factors in the Huaihe River Basin of Anhui Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 32(5): 71-74. [顾留碗, 王春, 李伟涛, 等. 2012. 安徽省淮河流域水灾脆弱性特征及影响因素. *水土保持通报*, 32(5): 71-74.]

Harmel R D. 2006. Uncertainty in TMDL models. *Transactions of the ASABE*, 49(4): 1033-1049.

Huang D P, Zheng W, Zhang R H, et al. 2011. Assessment of capacity of flood disaster prevention and reduction of Huaihe River Basin in Anhui Province. *Geographical Research*, 30(3): 523-529. [黄大鹏, 郑伟, 张人禾, 等. 2011. 安徽淮河流域洪涝灾害防灾减灾能力评估. *地理研究*, 30(3): 523-529.]

Jiang Y, Peng Q D, Luo H H. 2011. Analysis of spatial and temporal variation of water quality in Huaihe River Basin. *Journal of Hydraulic Engineering*, 42(11): 1283-1288. [蒋艳, 彭期冬, 骆辉煌, 等. 2011. 淮河流域水质污染时空变异特征分析. *水利学报*, 42(11): 1283-1288.]

Jiao S X, Wang L C, Huo Y. 2009. Study on the types and water pollution driving forces of the typical and medium-small sized cities in the Southern China based on the analysis of water environment. *Environmental Science*, 30(7): 1888-1892. [焦士兴, 王腊春, 霍雨, 等. 2009. 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*, 30(7): 1888-1892.]

Jiao W J, Min Q W, Cheng S K, et al. 2011. Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: A case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 31(19): 5599-5606. [焦雯珺, 闵庆文, 成升魁, 等. 2011. 污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用: 以太湖流域上游湖州市为例. *生态学报*, 31(19): 5599-5606.]

Ke J, Zhao C. 2006. Innovation of ideas, mechanisms and institutions in water pollution control legislation in China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 15(6): 767-770. [柯坚, 赵晨. 2006. 我国水污染防治立法理念、机制和制度的创新. *长江流域资源与环境*, 15(6): 767-770.]

- Li J X, Xu S L. 2003. Calculation model of water pollution induced economic loss for river basin. *Journal of Hydraulic Engineering*, 34(10): 68-74. [李锦秀, 徐嵩龄. 2003. 流域水污染经济损失计量模型. *水利学报*, 34(10): 68-74.]
- Li L Z, Qian Y, Zhang Y C. 2011. Forecasting and warning the accidental water pollution effect based on the EFDC and WASP. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 20(8): 1010-1016. [李林子, 钱瑜, 张玉超. 2011. 基于EFDC和WASP模型的突发水污染事故影响的预测预警. *长江流域资源与环境*, 20(8): 1010-1016.]
- Li R Z, Shu K. 2010. Fuzzy optimization model for waste load allocations based on the Gini coefficient. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 30(7): 1518-1526. [李如忠, 舒琨. 2010. 基于基尼系数的水污染负荷分配模糊优化决策模型. *环境科学学报*, 30(7): 1518-1526.]
- Lin B G. 2007. Comprehensive benefit evaluation of pollution prevention for Chaohu Basin [D]. Hefei, China: Hefei University of Technology. [林保国. 2007. 巢湖流域污染防治综合效益评价 [D]. 合肥: 合肥工业大学.]
- Lu Z G, Zhang X H, Huo J L, et al. 2011. The evolution characteristics of the extreme precipitation in Huaihe River Basin during 1960-2008. *Journal of the Meteorological Sciences*, 31(S1): 74-80. [陆志刚, 张旭晖, 霍金兰, 等. 2011. 1960-2008年淮河流域极端降水演变特征. *气象科学*, 31(增刊): 74-80.]
- Niu L D, Wang X Y. 2012. Application of TMDL based WARF model to water pollution control. *Water Resources Protection*, 28(2): 20-24. [牛丽冬, 王晓燕. 2012. 基于TMDL的WARF模型在水污染控制管理中的应用. *水资源保护*, 28(2): 20-24.]
- Shao Y L, Xu Y P, Ma S S. 2012. Change of river structure and stream network connectivity in the Taihu Lake Basin under the urbanization development: A case study in urban Suzhou. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 21(10): 1167-1172. [邵玉龙, 许有鹏, 马爽爽. 2012. 太湖流域城市化发展下水系结构与河网连通变化分析: 以苏州市中心区为例. *长江流域资源与环境*, 21(10): 1167-1172.]
- Shi Z L, Bi L L. 2007. The Study on trans-jurisdictional water pollution management and cooperation pattern of river basin in China: A case study water pollution management and cooperation between Jiangsu Province and Zhejiang Province. *China Population, Resources and Environment*, 17(3): 3-9. [施祖麟, 毕亮亮. 2007. 我国跨行政区河流域水污染治理管理机制的研究: 以江浙边界水污染治理为例. *中国人口·资源与环境*, 17(3): 3-9.]
- Sun W, Chen W, Chen C. 2010. Study on cooperative constraint regionalization of water environment and the guidance for industrial distribution: A case study of Jiangsu Province. *Acta Geographica Sinica*, 65(7): 819-827. [孙伟, 陈雯, 陈诚. 水环境协同约束分区与产业布局引导研究: 以江苏省为例. *地理学报*, 65(7): 819-827.]
- Wang K Q, Zeng Y, Xie Z Q, et al. 2012. Change trend of temperature and precipitation in Huaihe River Basin from 1961 to 2008. *Journal of the Meteorological Sciences*, 32(8): 47-53. [王珂清, 曾燕, 谢志清, 等. 2012. 1961-2008年淮河流域气温和降水变化趋势. *大气科学*, 32(8): 47-53.]
- Xia J, Du H, Zeng S D, et al. 2012. Temporal and spatial variations and statistical models of extreme runoff in Huaihe River Basin during 1956-2010. *Journal of Geographical Sciences*, 22(6): 1045-1060.
- Xia J, Zhai X Y, Zhang Y Y. 2012. Progress in the research of water environmental nonpoint source pollution models. *Progress in Geography*, 31(7): 941-952. [夏军, 翟晓燕, 张永勇. 2012. 水环境非点源污染模型研究进展. *地理科学进展*, 31(7): 941-952.]
- Yu W J, Hao L. 2012. Spatial and temporal distribution of rain-storm disasters in the Huaihe River Basin and laws of the trend. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 21(3): 315-320. [于文金, 郝玲. 2012. 淮河流域暴雨灾害时空分布及趋势规律研究. *长江流域资源与环境*, 21(3): 315-320.]
- Yu X Z, Li J X, Luo H H. 2007. Horetical melfor water pollution compensation in rivers in China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 16(1): 57-61. [禹雪中, 李锦秀, 骆辉煌, 等. 2007. 河流水污染损失补偿模型研究. *长江流域资源与环境*, 16(1): 57-61.]
- Zhou L, Xu J G, Sun D Q, et al. 2013. Spatial heterogeneity and classified control of agricultural non-point source pollution in Huaihe River Basin. *Environmental Science*, 34(2): 547-554. [周亮, 徐建刚, 孙东琪, 等. 2013. 淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制. *环境科学*, 34(2): 547-554.]

Spatial diversity characteristics of comprehensive control ability for water environmental pollution in the Huaihe River Basin

ZHOU Liang¹, XU Jiangang², JIANG Jinliang¹, YUAN Yanhua¹, SUN Dongqi¹

(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: The social-economic web survey and water environmental data of 35 cities in 2010 of Huaihe River Basin are adopted in the study. On the basis of highlighting the dominant factors and the operational principle, entropy value method system is chosen to construct the comprehensive evaluation system of prevention and control for water pollution. Entropy weight method is adopted to evaluate water pollution control ability of cities and the GIS spatial analysis method is used to explore the overall and partial spatial difference, characteristics and laws of water pollution prevention and control in Huaihe River Basin, and classify the prevention and control ability of the basin. The results show that: ① The prevention and control ability for water pollution is generally low in Huaihe River Basin, and presents significant spatial difference. The basin on the whole shows step trend of the prevention and control ability, main stream higher than tributary, downstream higher than midstream, midstream higher than upstream. ② In the basin, the control ability of the economically developed area is obviously higher than that of the less developed regions, the capital cities much higher than the ordinary cities. ③ The comprehensive control ability for water pollution of the river basin highly matches with the actual measurement of water quality spatial distribution. Generally, water quality is good in the regions with high control ability, and poor in the regions with low control ability.

Key words: water environment; prevention and control pollution; spatial diversity; the Huaihe River Basin