

资源环境承载能力预警城市化地区专项评价 ——以京津冀地区为例

周道静^{1,2}, 王传胜^{1,2}

(1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:资源环境承载能力预警评价中,除基础评价外,还需针对城市化地区存在的特殊问题开展专项评价。但现有相关研究大多较为复杂、难以操作,且较少考虑目前中国城市化地区之间的发展水平差异,难以满足实际应用需求。本文根据近年来中国城市化地区资源环境凸显的主要问题,从城市人居环境入手,选取城市黑臭水体和PM_{2.5}超标天数2个要素设计城市水气环境黑灰指数,作为城市化地区专项评价的主要指标;同时考虑到优化开发区域和重点开发区域的主体功能导向差异,以京津冀城市化地区为例开展试评价分析,结果显示:京津冀城市化地区的104个区县中,47个区县为重警,46个中警,仅11个为轻警,整体形势不容乐观。其中,重警区县主要集中在京广高铁沿线,与地区主要交通线路分布及钢铁工业聚集格局一致;轻警区县主要分布在北部的张承地区及东部沿海,工业相对较少,且地理位置有利于污染物迅速扩散。城市化地区专项评价作为基础评价的补充,能更清晰地反映现阶段影响城市人居环境的主要制约因子以及不同发展水平地区间的差异,评价结果可为城市化地区开展国土空间规划、城镇发展战略研究和产业结构调整等提供科学依据。

关键词:资源环境承载能力;预警评价;城市化地区;城市水气环境黑灰指数;评价阈值;京津冀地区

1 引言

资源环境承载能力是指自然基础对人类生产生活活动的支持能力,其内涵涉及自然基础条件和社会经济发展2个维度。在相同的自然基础条件下,不同的开发功能和利用效率,其可承载的经济、人口规模不同(陆大道等, 2012; 樊杰, 2014; 樊杰等, 2015)。资源环境承载能力预警是通过对资源环境超载状况的评价,对区域可持续发展状态进行诊断和预判,为制定差异化、可操作的限制性措施奠定基础。因此,在全国资源环境承载能力监测预警评价的整体框架中,不仅需要针对普遍存在的自然资源环境要素(如水土资源、生态、环境等)进行全

域范围的基础评价,还需针对不同发展方式与发展水平地区出现的特殊问题,开展相应的专项评价(Fan et al, 2017)。城市化地区是以提供工业品和服务产品为主体功能的地区,是《全国主体功能区规划》中按开发内容划分的3类主体功能区之一。城市化地区作为人口和经济的主要集聚地区,是人类活动最活跃的区域,也是资源环境承载人类活动能力最强的区域,又是资源环境与人类活动矛盾凸显的区域。因此,对城市化地区开展资源环境承载能力预警评价时,除基础性的水土资源和生态环境评价外,针对其人口集中、人类活动强等典型特征,从城市人居环境的角度入手,开展专项评价分析城市人居环境的突出问题,对清晰认识整个评价区域的

收稿日期:2017-02;修订日期:2017-03。

基金项目:国家自然科学基金项目(41630644);中国科学院科技服务网络计划(STS计划)项目(KFJ-STZ-ZDTP-021) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41630644; Science and Technology Service Network Initiative of the Chinese Academy of Sciences, No. KFJ-STZ-ZDTP-021]。

作者简介:周道静(1986-),女,江苏盐城人,博士后,主要从事区域生态承载力研究, E-mail: zhoujdj@igsrr.ac.cn。

通讯作者:王传胜(1965-),男,山东青岛人,副研究员,主要从事区域发展研究, E-mail: wangcs@igsrr.ac.cn。

引用格式:周道静, 王传胜. 2017. 资源环境承载能力预警城市化地区专项评价:以京津冀地区为例[J]. 地理科学进展, 36(3): 359-366. [Zhou D J, Wang C S. 2017. Specific evaluation of resource and environmental carrying capacity of urbanized areas for early-warning: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Progress in Geography, 36(3): 359-366.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.03.012

资源环境承载状态尤为重要。

自19世纪末“承载力”这一概念被正式提出以来,其内涵已从最初的单纯研究特定区域可维持某一物种个体的最大数量,扩展到在区域可持续发展目标下对自然基础与人类活动之间动态交互过程的综合研究(刘晓丽等, 2008; 樊杰等, 2015)。城市作为人类活动与自然环境交互最为强烈的地区,已经成为承载力理论与实践研究的热点。早期,城市化地区的承载力研究主要是基于区域内的水土资源、粮食产量、环境质量等因素,推算区域目前或未来可以容纳的最大人口数(Meier, 1978; Huang et al, 1990)。21世纪后,随着相关理论方法日趋完善,这一领域的研究也有了新的发展,主要表现为:一是研究和分析的视角更加全面,除传统的自然要素外,还增加了对城市服务、公共感知、制度建设等社会经济要素的考虑(Oh et al, 2005; Liu et al, 2011; Wei et al, 2015; Zheng et al, 2015);二是评价角度更加细化,除对区域整体资源环境承载状况的综合分析外,还针对不同类型的资源环境要素及其与人类活动交互过程的特征差异,发展了一系列更加精细化的城市化地区单要素(如城市环境、城市水资源等)承载力研究的理论与方法(徐琳瑜等, 2005; 夏军等, 2006; 杨亮等, 2010; Li, 2012; Tehrani et al, 2013; Widodo et al, 2015);三是研究范围进一步扩展,研究区域从早期的单个城市扩展到城市群等更大范围的区域(吕斌等, 2008; Fang et al, 2010; Liu, 2012)。这些研究不仅进一步改进、拓展了城市资源环境承载力理论方法体系,也为实际预警评价工作提供了有益的理论参考。但是,以往研究普遍存在数据获取难度大、方法复杂等问题,因此难以广泛应用到实际工作中,无法满足国家开展系列改革工作的迫切需求。同时,目前针对多个城市的研究主要以同一自然地理单元内部的城市群为主,城市个体间的自然条件和社会发展状况具有一定的相似性,而对更大尺度内(如全国范围)具有显著差异的城市化地区则较少涉及。因此,发现并提取城市化地区资源环境存在的特殊问题和突出矛盾,考虑不同发展方向及水平城市化地区间的差异,在此基础上构建有效易行的城市化地区专项评价方法,具有重要意义。

改革开放以来,中国城市化进程逐步加快,越来越多的人口和产业向城市集聚,城市已成为中国发展的核心力量(周一星等, 1999; 胡鞍钢, 2003; 许学强等, 2009; Bai et al, 2014)。近40年间,中国城

镇总人口从1978年的1.7亿增至2015年的7.7亿,100万人以上城市数量也由29个升至142个,城市数量不断增加,城市规模持续扩张(樊杰, 2016)。然而,城市化的快速推进也带来了巨大的资源环境压力,与农产品主产区和重点生态功能区相比,现阶段中国城市化地区的大气和水环境问题尤为突出,成为制约城市可持续发展的主要因素(仇保兴, 2007; Chan et al, 2008; 李宇军, 2014)。在大气环境方面,2010年以来,灰霾天气在中国东部地区蔓延。国家气象局基于能见度的观测显示,2013年全国平均霾日数为35.9天,为1961年以来最多。其中,中东部地区雾霾天气多发,华北中南部至江南北部的大部分地区雾霾日数范围为50~100天,部分地区甚至超过100天。根据环保部城市空气质量监测报告,2013–2015年城市大气污染物中PM_{2.5}达标比例最低,是现阶段影响中国城市大气环境质量的首要污染物。在水环境方面,全球变化加剧了中国水资源安全危机,水质性缺水成为城市水资源短缺的主要原因之一。2015年国务院颁布《水污染防治行动计划》,提出了到2020年地级及以上城市建成区黑臭水体控制在10%以内、2030年总体得到消除的控制性目标。住建部2016年2月公布的城市黑臭水体调查结果显示,全国7成以上城市存在黑臭水体,其中60%分布在东南沿海等经济相对发达地区。可见,PM_{2.5}和黑臭水体整治已经成为地方各级政府改善城市人居环境工作的重要任务。

综上,本文在全国资源环境承载能力监测预警评价的整体框架下,选取人居环境劣化作为城市化地区有别于其他功能区的典型问题,针对目前中国城市化地区突显的人居环境劣化因子,以县级行政区为评价单元,研究可在全国范围内适用、可行性较强的城市化地区专项评价指标及方法,为全面反映评价区域整体资源环境承载能力预警状态,深入分析现阶段城市化地区资源环境超载成因提供依据。

2 研究区域与评价方法

2.1 研究区域

本文中的城市化地区采用《全国主体功能区规划》中的定义,即以提供工业品和服务产品为主体功能的地区,包括优化开发区域和重点开发区域。选取的试评价地区——京津冀城市化地区共有104个区县,占地区全部区县数量的51.5%,具体包括,北京市的城六区及昌平、顺义、通州、大兴、房山等

区,天津市的市内六区、环城四区、远郊两区及滨海新区,河北省的唐山、秦皇岛、廊坊、沧州、保定、石家庄、衡水、邯郸等市辖区县。104个区县中,54个为优化开发区域,50个为重点开发区域。

2.2 评价准则

城市是具有开放性、创新性和边界可扩性的地域空间体,就单个城市而言,能够承载多少人口,负荷多大的经济体量,是个很难回答的问题,但技术的进步为解决许多在以前看来不可调和的人地矛盾提供了可能。根据上文所述,城市化地区专项评价针对的是功能区资源环境的特殊问题,且这些特殊问题与功能区对资源环境要素的开发方式及利用效率紧密相关,是城市化地区资源环境承载力预警评价的重要组成。据此,对城市化地区专项评价设立以下2个准则:

一是针对发展阶段,突出主要问题。由于每个城市在不同的经济社会发展阶段都会面临相应的资源环境症结,因此,对城市化地区的资源环境承载能力的认识和预警评价,必须以现阶段凸显的典型问题为出发点,进行针对性的评价。

二是根据城市功能,分类预警评价。城市化地区的主体功能定位不同、城市规划赋予其的功能不同,对资源环境承载力预警的要求也不一样。优化开发的城市化地区比重点开发的地区对人居环境的要求更高一些,人口集中的城市主城区则比其他区县的要求更严格一些,而旅游城市、商贸城市比工业城市的要求更为严格,这些差别需要在指标的阈值划分中分类对待。

此外,还要考虑指标的可比性、动态性、数据可获得性和方法可行性等准则。

2.3 指标选择与数据来源

根据城市化地区专项评价任务和评价准则,本文采用城市水气环境黑灰指数作为城市化地区专项评价指标,通过对现阶段城市人居环境的主要劣化因子——黑臭水体和PM2.5的评价分析,测度城市水体黑臭程度与大气灰霾程度,可综合得出城市水气环境的劣化程度。其中,黑臭水体通过城市黑臭水体分布密度和重度黑臭占比2项综合反映,PM2.5通过超标天数反映。

根据住建部《城市黑臭水体整治工作指南(建城[2015]130号)》定义,城市黑臭水体是指城市建成区内呈现令人不悦的颜色和(或)散发令人不适气味的水体。这一指标既能直观反映城市水体的劣化情况,又能间接体现城市人居环境的宜居程度。近

2年,住建部在东部重要城市逐步建立黑臭水体监测网络,目前已完成全国295个地级及以上城市建成区黑臭水体的排查工作,并建立监管平台对城市黑臭水体情况定期进行监测,本文数据即来源于住建部城市监测站点的年度数据。PM2.5在基础评价中采用的是年均浓度指标,也是目前PM2.5监测预警的常规指标。但对于城市化地区而言,除了年均浓度外,对超标天数特别是中度及以上超标天数的感知,可能更能引起城市居民的关注。因此,本文采用超标天数作为反映城市化地区空气质量的主要指标,该数据可通过环保部城市监测站点的日均浓度值数据得出。此外,上述2个要素评价均需考虑城市建成区的大小(源于住建部城市建成区的数据)。以上所有数据均采用2015年度的监测及统计数据。

2.4 单项指标评价方法

(1) 城市黑臭水体

城市黑臭水体多见于东部河网地区,主要是由于水体负荷的污染物量远远超出其自净能力,水中溶解氧不足,有机质腐败造成(方宇翹等, 1993; 于玉彬等, 2010)。根据住建部2015年8月发布的《城市黑臭水体整治工作指南》,城市黑臭水体的监测指标包括透明度、溶解氧、氧化还原电位和氨氮等,监测结果划分为轻度黑臭和重度黑臭2种(表1)。

城市黑臭水情况的评价可基于以下2个维度:一是黑臭水体在评价单元中的分布密度,主要反映黑臭水体对区域整体人居环境的影响程度;二是重度黑臭水体占评价单元内全部黑臭水体的比例,主要反映区域水体污染的严重程度。一般在平原河网地区,城市河道较多,且因人工疏浚、引水等工程,河道多成网络化,在评价时上述2个维度均需考虑;而对于河道较少的地区,采用重度黑臭水体占比即可。在城市化地区的类型方面,按照优化开发和重点开发的功能导向分为两类;在城市功能方面,将旅游城市和优化开发区域等同考虑,将工矿

表1 城市黑臭水体污染程度分级标准
Tab.1 Classification standard of pollution degree of urban black-odor water bodies

特征指标	轻度黑臭	重度黑臭
透明度/cm	25~10*	<10*
溶解氧/(mg/L)	0.2~2.0	<0.2
氧化还原电位/mV	-200~50	<-200
氨氮/(mg/L)	8.0~15	>15

注:*水深不足25 cm时,按实际水深40%取值。

城市及其他功能类型与重点开发区域等同考虑。表2是2类城市化地区黑臭水体的评价阈值,其中分级阈值主要根据试评价地区监测数据的分布特征、辅之以经验判断设定。综合2个维度评价得到最终的城市黑臭水体评价结果,方法详见表3。

(2) PM2.5 超标天数

PM2.5 对人体健康的影响,不仅取决于浓度,还与人群暴露程度有关。人口密度大的地区风险大,不同人群因体质和暴露时间的差异,面临的健康风险也不同(World Health Organization, 2006; 傅崇辉等, 2014; 谢元博等, 2014)。按照中国《环境空气质量标准》(GB3095-2012),日均浓度 $75\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、年均浓度 $35\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 为现阶段中国执行的二级浓度限值标准,文中的PM2.5 超标天数即根据该标准统计得到。PM2.5 超标天数评价阈值则通过对人群健康影响的风险程度来评判,超标天数多,意味着人群暴露于PM2.5 中的时间和机会可能性越大,人群的健康风险也就越高;反之,风险则越低。表4为评价

阈值的具体划分。表中不同级别的阈值是根据试评价地区目前的发展阶段和监测数据的分布特征确定,阈值除按照城市化地区的功能类型设置不同标准外,还考虑了人口暴露数量的差异,即对于人口规模超过500万的特大及超大城市,针对其主城区由于人口相对集中导致的人群PM2.5 高暴露特征,设置更为严格的标准;重点开发区域作为发展潜力较大且需要重点发展的城市化地区,考虑到确保其适当增长速度的需求,采取较为宽松阈值标准。

2.5 集成评价方法

集成黑臭水体及PM2.5 超标天数2项指标的评价结果,得到城市化地区的专项评价结果,具体方法见图1。由于目前黑臭水体调查数据并未实现城市化地区全覆盖,部分区县黑臭水体情况因缺乏基础数据而无法评价,因此此类地区可直接根据PM2.5 超标情况确定城市化地区专项评价结果,即将PM2.5 超标情况为:轻度和中度的划分为轻警,重度的划分为中警,严重的划分为重警。

3 结果分析

3.1 单项评价结果

(1) 黑臭水体评价结果

2015年,试评价地区中有31个城区实施了黑臭水体监测,包括北京市的朝阳、海淀、丰台、房山、大兴、通州,天津市的河东、南开、3个环城区以及武清和滨海新区,河北省的石家庄、唐山、秦皇岛、廊坊、保定、沧州、衡水、邢台、邯郸等市的市辖区。评价结果显示,水体黑臭情况严重的有5个区,情况一般的有14个区,情况较轻的有12个区(表5)。其中,5个严重区分别为北京市朝阳区、丰台、大兴,天津市武清以及河北衡水的桃城,主要分布在北运河水系及滏阳河水系的分布区域,5个区中尤以桃城黑臭水

表2 城市黑臭水体评价阈值(适用于平原河网地区)

Tab.2 Classification standard of density and proportion of urban black-odor water bodies by functional zones (applicable to river network of plain area)

功能区	黑臭水体分布密度/(m/km ²)			重度黑臭占比/%		
	低度	中度	高度	低度	中度	高度
优化开发区域 (旅游城市)	< 100	100~500	≥500	< 25	25~50	≥50
重点开发区域 (其他城市)	< 300	300~800	≥800	< 33	33~66	≥66

表3 城市黑臭水体评价结果分级表

Tab.3 Classification of urban black-odor water bodies based on their density and proportion

分布密度	低度	中度	高度
低度	较轻	一般	一般
中度	较轻	一般	严重
高度	一般	严重	严重

表4 PM2.5 超标天数评价阈值(对人群健康的风险程度)

Tab.4 Classification of PM2.5 pollution days in urbanized areas (level of risk for human health)

功能区	低或无风险	中风险	高风险	极高风险
优化开发区域(旅游城市)	< 60	60~120	120~210	≥210
其中:核心城市主城区*	< 30	30~90	90~180	≥180
重点开发区域(其他城市)	< 120	120~180	180~240	≥240
其中:核心城市主城区*	< 60	60~120	120~180	≥210

注:*核心城市主要指直辖市、省会或城市人口规模超过500万人的特大及超大城市;主城区是指城市人口集聚分布的中心城区,如北京的城六区。

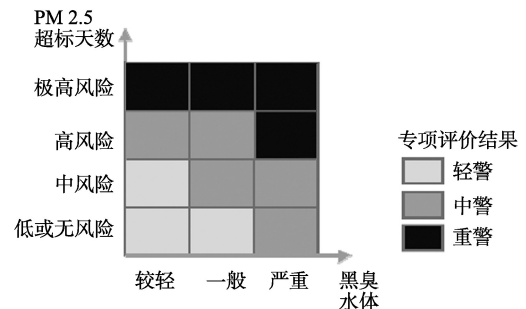


图1 城市化地区专项评价结果分级图

Fig.1 Evaluation matrix of urbanized areas

体情况最为严重,黑臭水体分布密度高达 942 m/km^2 ,且近半数为重度黑臭;北京市的3个区及天津武清的情况也相当严峻,4个区重度黑臭水体比重均超过50%,其中丰台区重度黑臭水体比重更是达到100%,区内黑臭水体治理已刻不容缓。情况一般的14个区主要分布在北京郊区的昌平、房山、通州,河北保定的竞秀、莲池,石家庄的桥东、桥西、新华,邯郸的邯山及丛台区等,虽然这些区的水体黑臭情况比严重区要好一些,但部分重点开发区域如北京通州、保定竞秀等黑臭水体分布密度均已超过 500 m/km^2 ,接近临界水平,问题也不容忽视。

(2) PM2.5 超标天数评价结果

试评价地区PM2.5超标天数评价结果显示,极高风险的区县有42个,主要沿G1高速—102国道、G2高速—105国道、以及G4高速—107国道一线分布,包括北京房山区、廊坊的永清县、霸州市,东部唐山古冶区、开平区以及南部保定、石家庄、邯郸的多个区县。其中,保定市南部、石家庄北部、以及邯郸北部的多个区县全年超标天数均超过250天,且年均PM2.5值也都在135以上;保定的清苑区、徐水区、邯郸的峰峰矿区PM2.5年均值更是高达150,是整个地区中空气质量最为严峻的区域;唐山市市区及丰润、丰南等区县全年超标天数也都在220天左右,PM2.5平均值超过110。此外,北京房山区虽然PM2.5平均值未超过100,但超标天数达236天,全年有近2/3都是中度及以上雾霾天气。高风险的区县有51个,主要集中在京津一线、渤海沿岸以及石家庄西部和衡水南部等地。其中石家庄的市区、井陉矿区以及衡水南部的冀州市、枣强县等重点开发区域,超标天数在230天左右,PM2.5平均值达到120以上,是高风险中较为严重的区域;北京市中南部地区、渤海沿岸如曹妃甸区、昌黎县等大气污染程度则相对缓和,PM2.5平均值普遍在100以下,但全年超标天数也在160~190天之间。中、低风险区县有11个,其中,中风险地区主要分布在秦皇岛市的海港、山海关、北戴河区,承德的鹰手营子矿区,以及天津的滨海新区;低风险地区主要分布在张家口市和承德市的市辖区。

进一步分析优化开发与重点开发2类区域PM2.5的超标情况,发现优化开发区域PM2.5超标情况十分严峻,重点开发区域也不容乐观。优化开发区域的54个区县中,除3个区县为中风险外,其余51个区县均为极高或高风险,这些区县大多分布

表5 京津冀城市化地区黑臭水体评价结果

Tab.5 The number of counties with different pollution levels of urban black-odor water bodies in the optimized and priority development zones in the Beijing-Tianjin-Hebei region

功能区	较轻	一般	严重	县域数合计
优化开发区域	8	3	3	14
重点开发区域	4	11	2	17
合计	12	14	5	31

在保定以南、石家庄以北区域,其中情况最为严重的是清苑区、徐水区、峰峰矿区等;重点开发区域的50个区县中,极高或高风险区县共计42个,其中半数以上区县为极高,最为严重区域主要集中在保定、廊坊和唐山三市。全部104个区县中,仅承德与张家口市的6个区PM2.5风险较低,是京津冀城市化地区中仅有的评价结果为低风险的区县(表6)。

3.2 集成评价结果

集成结果显示(图2),京津冀城市化地区104个区县中,重警区县共47个,主要分布在北京南部、唐山西部、保定南部、石家庄北部以及邯郸中部,与G1高速—102国道一线、G2高速—105国道一线、以及G4高速—107国道一线等分布具有一致性,并与河北省钢铁工业聚集格局大致相符。其中,优化开发区域19个,主要集中在唐山、沧州、廊坊等地;重点开发区域28个,主要集中在石家庄、邯郸、保定以及北京的房山、大兴等地。中警区县共46个,主要分布在北京北部、渤海沿岸以及衡水南部等地。其中,优化开发区域有32个,主要集中在北京中心城区、天津、唐山、沧州、秦皇岛等地;重点开发区域有14个,主要集中在石家庄、廊坊、衡水以及北京城郊的通州、顺义、昌平等地。轻警区县共11个,在优化开发与重点开发区域分别为3个和8个,主要分布在河北张承地区和东部沿海区县,这些地区工业相对较少,且地理位置有利于污染物迅速扩散。

表6 京津冀城市化地区PM2.5超标天数评价结果

Tab.6 The number of counties with different PM2.5 pollution degrees in the optimized and priority development zones in the Beijing-Tianjin-Hebei region

功能区	县域数				合计
	低或无	中	高	极高	
优化开发区域	—	3	35	16	54
重点开发区域	6	2	16	26	50
合计	6	5	51	42	104

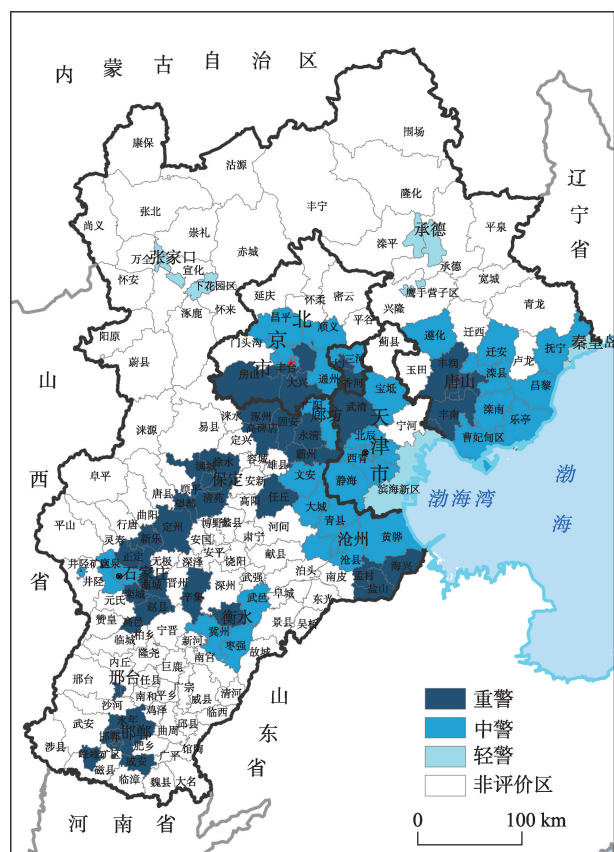


图2 京津冀城市化地区专项评价结果分布图

Fig.2 Specific evaluation results of urbanized areas in the Beijing-Tianjin-Hebei region

4 结论与讨论

本文基于城市化地区区域主体功能与自然资源环境交互作用出发,从主要的城市人居环境劣化因子入手,采用城市水气环境黑灰指数作为城市化地区专项评价的主要指标,探讨了单项指标评价、评价阈值划分以及指标集成方法,并对京津冀城市化地区进行了试评价分析。试评价结果显示,京津冀城市化地区的104个区县中,47个区县为重警,46个中警,仅11个为轻警。其中,重警区县主要集中在京广高铁沿线,与地区主要交通路线分布以及地区钢铁工业聚集格局一致;中警区主要分布在京津冀东部地区,且大多集中在重警区县的外围区域;轻警区县则主要分布在北部的张承地区以及东部沿海区县,这些地区工业相对较少,且地理位置有利于污染物迅速扩散。评价结果除深刻地刻画了京津冀城市化地区人居环境劣化程度的空间格局外,还为揭示现阶段该地区资源环境超载成因提供了依据。

城市化地区专项评价作为资源环境承载能力预警评价体系的一部分,是对区域基础评价的补充和完善,显示了城市化地区人类活动开发功能及利用效率对资源环境承载能力的影响。但城市作为自然—社会—经济的复合系统,具有结构复杂、功能多样、动态开放等特性,资源环境承载能力的影响因子也相应地具有综合性与复杂性的特点,因此,在进行全国范围的普适性专项评价时,应全面梳理不同区域的城市化地区资源环境承载能力的主要矛盾,提取其中普遍存在的关键问题。本文依据该原则,从人居环境劣化问题入手,以黑臭水体和PM_{2.5}为主导因子设计城市水气环境黑灰指数,试评价结果显示该方法能够较准确地反映大多数城市化地区的现实情况。但由于理论方法、数据等方面的不足,此方法但仍存在以下局限性:一是评价指标内涵不够全面,如从人群健康角度出发的PM_{2.5}超标天数,目前只考虑了超标天数、城市功能、人口分布等特征,而因浓度阈值变化对不同人群的影响考虑不够,在下一步工作中将通过抽样调查等进行补充;二是阈值划分理论基础较弱,目前还主要根据经验判断,在理论上缺乏更为可靠的依据,需要结合实际工作进一步深化理论研究;三是评价指标适用范围的有限性,由于数据获取原因,目前的指标仅是对现阶段多数城市化地区主要问题的反映,下一步工作中应兼顾部分地区的特殊问题作进一步补充完善。由于城市处于持续动态变化过程之中,评价指标也应根据城市的动态发展及其与资源环境要素矛盾的变化进行相应的调整与优化。未来的研究,一方面需要依靠国家城市化地区水气环境监测网络的完善,以进一步满足实时化、规范化、层次化的评价需求;另一方面在资源环境承载能力预警评价理论和方法体系不断完善的基础上,进一步研究更加精确、更具普适性的城市化地区专项评价方法。

参考文献(References)

- 樊杰. 2014. 人地系统可持续过程、格局的前沿探索[J]. 地理学报, 69(8): 1060-1068. [Fan J. 2014. Frontier approach of the sustainable process and pattern of human-environment system[J]. Acta Geographica Sinica, 69(8): 1060-1068.]
- 樊杰. 2016. 城市地理学进入城市规划领域的学术优势与协同发展[M]//樊杰, 等. 中国人文与经济地理学者的学术探究和社会贡献. 北京: 商务印书馆: 42-87. [Fan J. 2016. The academic advantages of urban geography and its coordinated development with urban planning[M]//Fan J, et al. How Chinese human geographers influence decision mak-

- ers & society. Beijing, China: The Commercial Press: 42-87.]
- 樊杰, 王亚飞, 汤青, 等. 2015. 全国资源环境承载能力监测预警(2014版)学术思路与总体技术流程[J]. 地理科学, 35(1): 1-10. [Fan J, Wang Y F, Tang Q, et al. 2015. Academic thought and technical progress of monitoring and early-warning of the national resources and environment carrying capacity (V 2014)[J]. Scientia Geographica Sinica, 35(1): 1-10.]
- 方宇翹, 裴祖楠, 张国莹, 等. 1993. 城市河流中黑臭现象的研究[J]. 中国环境科学, 13(4): 256-262. [Fang Y Q, Qiu Z N, Zhang G Y, et al. 1993. A study on the phenomenon of water blackening and smell in urban river[J]. China Environmental Science, 13(4): 256-262.]
- 傅崇辉, 王文军, 汤健, 等. 2014. PM_{2.5}健康风险的空间人口分布研究: 以深圳为例[J]. 中国软科学, (9): 78-91. [Fu C H, Wang W J, Tang J, et al. 2014. Study on demographic spatial distribution of health risks caused by PM_{2.5}: A case from Shenzhen[J]. China Soft Science, (9): 78-91.]
- 胡鞍钢. 2003. 城市化是今后中国经济发展的主要推动力[J]. 中国人口科学, (6): 5-12. [Hu A G. 2003. Chengshihua shi jinhou Zhongguo jingji fazhan de zhuyao tuidongli[J]. Chinese Journal of Population Science, (6): 5-12.]
- 李宇军. 2014. 中国城市环境保护面临的挑战及其对策[J]. 云南农业大学学报, 8(5): 104-109. [Li Y J. 2014. Urban environmental protection in China: Challenges and countermeasures [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 8(5): 104-109.]
- 刘晓丽, 方创琳. 2008. 城市群资源环境承载力研究进展及展望[J]. 地理科学进展, 27(5): 35-42. [Liu X L, Fang C L. 2008. Progress and prospect of study on carrying capacity of resource and environment of city clusters[J]. Progress in Geography, 27(5): 35-42.]
- 陆大道, 樊杰. 2012. 区域可持续发展研究的兴起与作用[J]. 中国科学院院刊, 27(3): 290-300, 319. [Lu D D, Fan J. 2012. The rise and effects of regional sustainable development studies in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 27(3): 290-300, 319.]
- 吕斌, 孙莉, 谭文星. 2008. 中原城市群城市承载力评价研究[J]. 中国人口·资源与环境, 18(5): 53-58. [Lv B, Sun L, Tan W K. 2008. Urban carrying capacity evaluation of Zhongyuan City Agglomeration[J]. China Population, Resources and Environment, 18(5): 53-58.]
- 仇保兴. 2007. 第三次城市化浪潮中的中国范例: 中国快速城市化的特点、问题与对策[J]. 城市规划, 31(6): 9-15. [Qiu B X. 2007. Disanci chengshihua langchao zhong de Zhongguo fanli: Zhongguo kuaisu chengshihua de tedian, wenti yu duice[J]. City Planning Review, 31(6): 9-15.]
- 夏军, 张永勇, 王中根, 等. 2006. 城市化地区水资源承载力研究[J]. 水利学报, 37(12): 1482-1488. [Xia J, Zhang Y Y, Wang Z G, et al. 2006. Water carrying capacity of urbanized area[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 37(12): 1482-1488.]
- 谢元博, 陈娟, 李巍. 2014. 雾霾重污染期间北京居民对高浓度PM_{2.5}持续暴露的健康风险及其损害价值评估[J]. 环境科学, 35(1): 1-8. [Xie Y B, Chen J, Li W. 2014. An assessment of PM_{2.5} related health risks and impaired values of Beijing residents in a consecutive high-level exposure during heavy haze days[J]. Environmental Science, 35(1): 1-8.]
- 徐琳瑜, 杨志峰, 李巍. 2005. 城市生态系统承载力理论与评价方法[J]. 生态学报, 25(4): 771-777. [Xu L Y, Yang Z F, Li W. 2005. Theory and evaluation of urban ecosystem carrying capacity[J]. Acta Ecologica Sinica, 25(4): 771-777.]
- 许学强, 李郁. 2009. 改革开放30年珠江三角洲城镇化的回顾与展望[J]. 经济地理, 29(1): 13-18. [Xu X Q, Li X. 2009. Review and preview of the urbanization in Pearl River Delta in the past 30 years of reform and opening up[J]. Economic Geography, 29(1): 13-18.]
- 杨亮, 吕耀, 郑华玉. 2010. 城市土地承载力研究进展[J]. 地理科学进展, 29(5): 593-600. [Yang L, Lv Y, Zheng H Y. 2010. Review on research of urban land carrying capacity [J]. Progress in Geography, 29(5): 593-600.]
- 于玉彬, 黄勇. 2010. 城市河流黑臭原因及机理的研究进展[J]. 环境科技, 23(S2): 111-114. [Yu T B, Huang Y. 2010. Review of reason and mechanism of black and stink in urban rivers[J]. Environmental Science and Technology, 23(S2): 111-114.]
- 周一星, 曹广忠. 1999. 改革开放20年来的中国城市化进程[J]. 城市规划, 23(12): 8-13. [Zhou Y X, Cao G Z. 1999. The urbanization process in China in the past 20 years[J]. City Planning Review, 23(12): 8-13.]
- Bai X M, Shi P J, Liu Y S. 2014. Realizing China's urban dream[J]. Nature, 509: 158-160.
- Chan C K, Yao X H. 2008. Air pollution in mega cities in China[J]. Atmospheric Environment, 42(1): 1-42.
- Fan J, Wang Y F, Ouyang Z Y, et al. 2017. Risk forewarning of regional development sustainability based on a natural resources and environmental carrying index in China[J]. Earth's Future, doi: 10.1002/2016EF000490.
- Fang C L, Liu X L. 2010. Comprehensive measurement for carrying capacity of resources and environment of city clusters in central China[J]. Chinese Geographical Science, 20(3): 281-288.
- Huang S L, Chen C S. 1990. A system model to analyse environmental carrying capacity for managing urban growth of the Taipei Metropolitan Region[J]. Journal of Environmental Management, 31(1): 47-60.
- Li X M. 2012. Study on urban environmental carrying capacity based on an inexact fuzzy multiobjective programming model[J]. Advanced Materials Research, 518-523: 1226-1232.
- Liu H M. 2012. Comprehensive carrying capacity of the urban agglomeration in the Yangtze River Delta, China[J]. Habitat International, 36(4): 462-470.
- Liu R Z, Borthwick A G L. 2011. Measurement and assessment of carrying capacity of the environment in Ningbo, China [J]. Journal of Environmental Management, 92(8): 2047-2053.
- Meier R L. 1978. Urban carrying capacity and steady state considerations in planning for the Mekong valley region[J].

- Urban Ecology, 3(1): 1-27.
- Oh K, Jeong Y, Lee D, et al. 2005. Determining development density using the Urban Carrying Capacity Assessment System[J]. Landscape and Urban Planning, 73(1): 1-15.
- Tehrani N A, Makhdoum M F. 2013. Implementing a spatial model of Urban Carrying Capacity Load Number (UCCLN) to monitor the environmental loads of urban ecosystems: Case study: Tehran metropolis[J]. Ecological Indicators, 32: 197-211.
- Wei Y G, Huang C, Lam P T I, et al. 2015. Using urban-carrying capacity as a benchmark for sustainable urban development: An empirical study of Beijing[J]. Sustainability, 7(3): 3244-3268.
- Widodo B, Lupyanto R, Sulistiono B, et al. 2015. Analysis of environmental carrying capacity for the development of sustainable settlement in Yogyakarta urban area[J]. Procedia Environmental Sciences, 28: 519-527.
- World Health Organization. 2006. Air quality guidelines: Global update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide[M]. Copenhagen, Denmark: World Health Organization.
- Zheng D F, Zhang Y, Zang Z, et al. 2015. Empirical research on carrying capacity of human settlement system in Dalian City, Liaoning Province, China[J]. Chinese Geographical Science, 25(2): 237-249.

Specific evaluation of resource and environmental carrying capacity of urbanized areas for early-warning: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region

ZHOU Daojing^{1,2}, WANG Chuansheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Due to the serious resource and environmental problems in urbanized areas, it is necessary to carry out a specific evaluation on their typical problems in the early-warning of the resource and environmental carrying capacity. However, most of the existing studies are too complicated to operationalize for practical use, and they lack consideration of the differences among development stages. According to the resource and environmental problems highlighted in the urbanized areas in recent years, we adopted an urban black-gray index of water and air environment as the specific indicator to reflect the comfort degree of habitat environment in urbanized areas at the present stage. Meanwhile, the key thresholds of urban black-odor water bodies and PM_{2.5} pollution days were determined in line with the major functions of the optimized and prioritized zones. Based on the above method, this article presented an empirical analysis on the urbanized area in the Beijing-Tianjin-Hebei region. Trial evaluation shows that, in the Beijing-Tianjin-Hebei urbanized areas, 47 districts or counties were in the severe warning category, 46 were in the moderate warning category, and only 11 were in the mild warning category. The severe-warning districts or counties were mainly concentrated along the Beijing-Guangzhou high-speed railway, and the distribution pattern was consistent with the regional distribution of major traffic lines and steel manufacture aggregation. The mild-warning districts and counties were mainly distributed in the northern Zhangjiakou-Chengde area and the eastern coastal areas, where the industries were relatively few and the geographic location was conducive to the rapid spread of pollutants. In summary, as an indispensable supplement to basic evaluation of resource and environmental carrying capacity for early-warning, the specific evaluation for urbanized areas can reflect the main constraints of these areas more clearly, and determine the early-warning status of different functional zones in different development stages objectively. The evaluation provides a scientific basis for urban spatial planning, urban development strategy research, and industrial structure adjustment in urbanized areas

Key words: resource and environmental carrying capacity; early-warning evaluation; urbanized area; urban black-gray index of water and air environment; evaluation thresholds; Beijing-Tianjin-Hebei region