

南京市环境承载力评价及其成因分析

孟菲^{1,2},赵海霞^{1*},牛铭杰^{1,2},秦海旭^{1,2,3},于忠华³,孙瑞玲³ (1.中国科学院南京地理与湖泊研究所,中国科学院流域地理学重点实验室,江苏南京 210008; 2.中国科学院大学,北京 100049; 3.南京市环境保护科学研究院,江苏南京 210013)

摘要: 从资源、环境、生态3个维度构建指标体系,运用空间状态法测度了南京市2011~2016年环境承载力状况,并从自然条件、区域发展和管理制度3方面解析影响因素,对其成因进行具体分析.结果表明:尽管南京市2011~2016年间环境承载力状况有所好转,但全市整体仍处于超载状态,主城区超载最严重,其次是六合区、浦口区 and 江宁区,溧水区与高淳区相对较好.南京市环境承载状态受自然、发展和管理类等多种因素影响,水、土地资源禀赋及气象等自然条件对环境承载力起到先天限制作用;人口、产业等社会经济发展因素对环境承载力进一步造成压力,且加剧环境承载状态的空间差异性;管理能力上的不足是重要的影响因素,其不断提高对超载状况则起到一定缓解作用.

关键词: 环境承载力; 成因分析; 空间状态法; 南京市

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2019)09-4007-10

Evaluation of environmental carrying capacity in Nanjing City and its cause analysis. MENG Fei^{1,2}, ZHAO Hai-xia^{1*}, NIU Ming-jie^{1,2}, QIN Hai-xu^{1,2,3}, YU Zhong-hua³, SUN Rui-ling³ (1.Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2.University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China; 3.Nanjing Research Institute of Environmental Protection, Nanjing 210013, China). *China Environmental Science*, 2019,39(9): 4007~4016

Abstract: With the designed indicator system considering resources, environment and ecology, the environmental carrying capacity of Nanjing from 2011 to 2016 was measured using the State Space Model. The influencing factors were identified from the perspectives of natural conditions, regional development and management system with a concrete analysis. The results showed the environmental carrying capacity of Nanjing increased after 2011, but it was still overloaded on the whole; The urban area was overloaded most seriously, followed by Liuhe District, Pukou District and Jiangning District; and the overloading degree was relatively moderate in Lishui District and Gaochun District; Among various influencing factors, the natural conditions such as water and soil resources, and meteorology played an fundamental limiting role, while the population, industry and other socioeconomic factors intensified the overloading degree of environmental carrying capacity, especially its spatial differentiation. Besides, the improvement of management ability could alleviate the overloading degree.

Key words: environmental carrying capacity; cause analysis; state space model; Nanjing City

“可持续发展战略”以经济发展、资源保护和生态环境保护相协调统一为核心理念,已成为当今世界各国的发展共识^[1].而随着经济发展和工业化进程的推进,资源开发规模持续加大、环境污染不断加重和生态服务功能持续减弱等一系列问题逐渐显现,资源上限、环境底线和生态安全已经成为制约中国区域可持续发展的关键^[2].环境承载力研究对可持续发展的实现具有重要指导意义^[3],环境承载状态评估能够反映人类活动与自然环境的协调程度,衡量自然环境对社会经济发展的容纳程度,对其成因进行正确判别更可以揭示区域发展中的制约性因素,是区域进行可持续发展规划的重要决策前提.

自环境承载力的概念被提出以来,相关理论及实证研究广泛开展.且随着研究的不断深入,承载力

研究已衍伸至资源承载力^[4]、环境承载力^[5]、生态承载力^[6-7]、旅游承载力^[8-9]等多方面,水^[10-12]、土地^[13-15]、大气^[16-17]等单一资源或环境要素的研究成果均较为丰富.然而任何一个区域的发展都建立在多因素协同作用的基础上,学者们逐渐发现资源或环境单一要素的研究已不能满足现实需要,综合环境承载力研究逐步兴起.相应地,环境承载力的研究与分析视角也更加广阔与全面,评价指标体系不再单一而广泛涉及到资源、环境、经济等各个方面^[18-20],研究方法也有所改进与拓展^[19,21-22],一些学

收稿日期: 2019-02-25

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFD1100101);国家自然科学基金资助项目(71573250)

* 责任作者, 副研究员, hxzhao@niglas.ac.cn

者关注到地域发展的差异化并进行了有针对性的专项研究^[23-24];此外,近年来环境承载力预警研究也逐步开展^[25-26],环境承载力的研究成果已较为丰富.从已有研究来看,综合环境承载力评估体系多基于社会经济影响从资源-环境-社会经济系统^[19,27]、压力-承压^[18,28-29]、压力-状态-响应^[30]等角度进行构建,但从客观资源环境综合体自身角度入手构建评估体系进行评价的研究较少;在研究方法上,在研究方法上尚未形成较为统一的认识.此外,当前的环境承载力研究仍多集中于评价类研究,对其驱动因素及成因的具体分析相对较少,少量已有研究也主要关注社会经济类因素,其综合性尚有欠缺.

南京市是我国长三角地区经济发达的重要中心城市,其环境承载状况对区域可持续发展影响重大.然而,随着城市建设和经济发展的不断推进,资源环境与人类活动之间的矛盾日益加剧,南京市的环境状况也日趋严峻,社会发展的协调可持续面临巨大挑战.因此,以南京市为例,从资源、环境、生态 3 方面构建指标体系对其环境承载力状况进行评价,并进一步从自然条件、区域发展、管理制度等多角度解析其成因,以期为南京市的环境管理与空间规划提供决策依据,也为其他经济发达地区的可持续发展提供参考与借鉴.

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

南京市地处北纬 31°14′~32°37′、东经 118°22′~119°14′.全市土地总面积 6587km²,辖有玄武、秦淮、鼓楼、建邺、雨花台、浦口、六合、栖霞、江宁、溧水及高淳等 11 个区,其中玄武、秦淮、鼓楼、建邺、雨花台、栖霞 6 区为主城区(图 1).南京市属宁镇扬山地丘陵地区,地貌以低山缓岗为主,境内湖泊、水库棋布,河流网织.位于北亚热带湿润气候区,冬夏温差显著,夏季炎热多雨,每年 6 月下旬~7 月上旬为梅雨季节,多年平均降水量 1108.7mm,水资源量相对丰富.作为东部地区重要的特大城市,南京市具有较强的综合经济实力,并成为长三角辐射带动中西部地区发展的重要门户城市,在全国战略格局中具有重要地位.

1.2 数据来源

研究中涉及的数据与资料主要来源于相应年份

《南京市统计年鉴》、《南京市国民经济和社会发展规划统计公报》、《南京市环境状况公报》、《南京市水资源公报》、《南京市“十三五”生态环境保护规划》等文件以及相关政府门户网站发布的统计数据.空间上采用 2015 年南京市 1:10 万行政区划图作为底图,对评价结果及相关数据信息进行空间可视化展示.

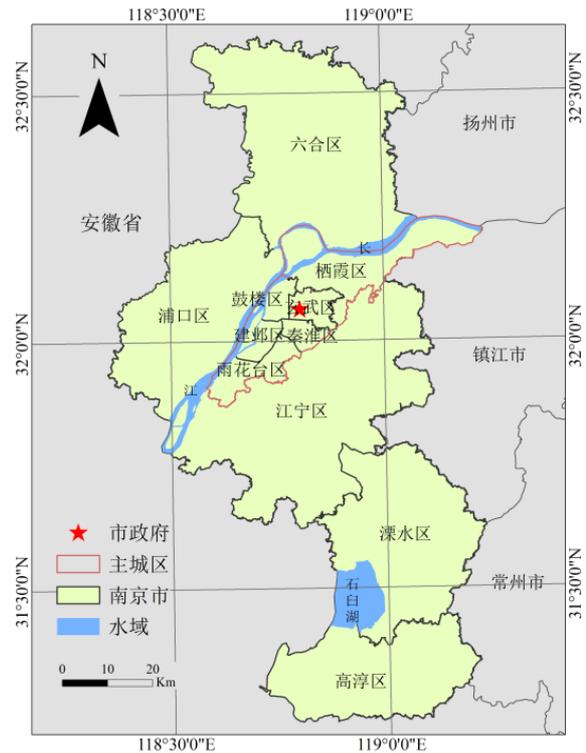


图 1 南京市位置及范围

Fig.1 Location of the Nanjing City

2 研究方法

2.1 环境承载力评价

2.1.1 环境承载力界定 综合不同学者观点及研究实际,本研究中的环境承载力是一个具有总量约束上限阈值的涉及资源、环境、生态等多个方面的区域综合环境承载力概念,侧重于对宏观环境综合体的自身承载力进行表征,反映地域空间发展条件下自然环境系统的承载容纳状态.其中,资源子系统反映各类自然资源的开发利用现状,环境子系统反映对环境污染物的容纳状况,生态子系统反映生态系统服务与功能的提供与保障程度.

2.1.2 评价指标体系构建 基于环境承载力概念与内涵,将环境综合体分为资源、环境、生态 3 个子系统,从 3 方面选取指标对环境承载力进行表征.借

鉴已有研究成果并结合研究区实际与数据可获得性,选取具有代表性的共 9 项指标(表 1).资源子系统评价指标包括人均水资源量、单位 GDP 用水量、土地开发强度;环境子系统评价主要涉及大气环境与水环境,包括单位国土面积 SO₂ 排放量、大气污染物浓度超标指数、单位国土面积 COD 排放量、水污染物浓度超标指数;生态子系统用生态系统服务价值、生态红线区占比等指标来表征.其中:

(1)污染物浓度超标指数 根据“短板效应”,大气污染物浓度超标指数选取 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂ 年均浓度超标指数中的最大值表征.同理根据 COD、氨氮、磷等污染物得到区域内水污染物浓度超标指数.依据《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》,污染物浓度超标指数的计算公式如下:

$$R_{ij}=C_{ij}/S_i-1 \quad (1)$$

式中: R_{ij} 为区域 j 内第 i 项污染物浓度超标指数; C_{ij} 为该污染物的年均浓度监测值; S_i 为该污染物浓度的二级标准限值.

(2)生态系统服务价值 依据相关土地利用数据,并参照中国陆地生态系统单位面积服务价值表^[31]进行核算.

2.1.3 指标权重确定 熵值法是一种有较强理论依据,不依赖人们主观判断的客观赋权法^[32],它根据各项指标观测值所提供信息的大小来确定权重.本研究采用熵值法确定权重(表 1),主要步骤如下:

(1)对原始数据进行标准化,由于各项指标性质不同,对具有正向作用和负向作用的指标分别采用以下公式计算:

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (2)$$

$$x_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (3)$$

式中: x_{ij} 为标准化处理后的指标值; X_{ij} 为第 i 个系统第 j 项指标的原始值; $\min(X_{ij})$ 为该项指标中的最小值; $\max(X_{ij})$ 为该项指标中的最大值.

(2)计算第 i 个系统下第 j 项指标的比重 P_{ij} :

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (4)$$

(3)计算第 j 项指标的熵值 e_i :

$$e_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (5)$$

(4)计算第 j 项指标的差异度:

$$g_i=1-e_i \quad (6)$$

(5)计算指标权重 w_{ij} :

$$w_{ij} = \frac{g_i}{\sum_{j=1}^n g_i} \quad (7)$$

表 1 南京市环境承载力评价指标及权重
Table 1 Evaluation index system and weights of environmental carrying capacity in Nanjing

子系统	指标	权重	影响
资源	人均水资源量 (m ³ /人)	0.131	正
	单位 GDP 用水量 (m ³ /万元)	0.086	负
	土地开发强度 (%)	0.079	负
环境	单位国土面积 SO ₂ 排放量 (t/km ²)	0.166	负
	大气污染物浓度超标指数	0.147	负
	单位国土面积 COD 排放量 (t/km ²)	0.076	负
	水污染物浓度超标指数	0.103	负
生态	生态系统服务价值 (亿元)	0.119	正
	生态红线区占比 (%)	0.093	负

2.1.4 评价方法 状态空间法是欧氏几何空间用于定量描述系统状态的一种有效方法,是描述和测度区域承载力与承载状态的重要手段^[33],也是目前应用相对广泛的方法.状态空间通常由表示系统各要素状态向量的三维状态空间轴组成,在本研究中,三维状态空间轴分别被界定为资源轴、环境轴、生态轴(图 2).状态空间中不同的点可表示一定时间区域内不同的承载状况.其数学表达式为:

$$RCC = |M| = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i x_{ir}^2} \quad (8)$$

式中: RCC 代表区域承载力; $|M|$ 代表区域承载力的有向矢量的模; w_i 代表 x_i 轴的权重; x_{ir} 代表区域资源、环境与生态系统处于理想状态时在状态空间中的坐标值($i=1,2,\dots,n$).

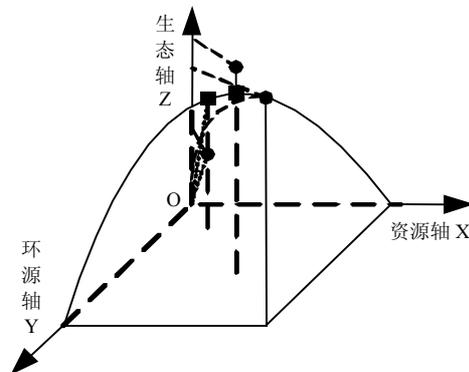


图 2 环境承载力模型示意

Fig.2 Concept model sketch of environmental carrying capacity
据文献[33]改绘

其中,研究时段内理想状态值的确定主要通过查询资料、部门访谈及专家咨询等方法获取国内、国际参考标准,以及选取与研究区条件相近或更接近可持续发展状态的区域作为参照等途径确定,各方法互为补充(表 2)。

但现实情况与理想状态通常并不完全吻合,总是存在一定偏差,从而使区域环境承载状况出现超载、满载、可载 3 种情况.现实区域承载状况的数学表达式为:

$$RCS=RCC \times \cos \theta \quad (9)$$

$$\cos \theta = \frac{(a,b)}{|a||b|} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ia}x_{ib}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ia}^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ib}^2}} \quad (10)$$

式中:RCS 代表现实区域承载状况; θ 为现实的区域承载状况矢量与区域承载能力矢量之间的夹角; a 、 b 分别代表状态空间中的 2 个向量,假设其顶点分别为 A 、 B , x_{ia} 和 x_{ib} 则代表顶点 A 、 B 在状态空间中的

坐标值($i=1,2,\dots,n$), n 代表状态空间的维数.

为了更直地表述区域的环境承载状况,定义环境承载力指数 $RC=RCC-RCS$,则:

$$RC \begin{cases} < 0, \forall |RCS| > |RCC| \text{ 超载} \\ = 0, \forall |RCS| = |RCC| \text{ 满载} \\ > 0, \forall |RCS| \leq |RCC| \text{ 可载} \end{cases}$$

若环境承载力指数小于 0,说明区域环境承载力超载,且指数越小超载越严重;等于 0,说明区域满载;若大于 0,说明区域可载,且指数越大可载能力越强.依据《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》并结合评价结果的层级性,将评价结果划分为重度超载、中度超载、轻度超载、可载 4 种类型,并界定当 $RC < -0.4$ 时,区域处于重度超载状态;当 $-0.4 \leq RC < -0.2$ 时,区域处于中度超载状态;当 $-0.2 \leq RC < 0$ 时,区域处于轻度超载状态;当 $RC > 0$ 时,区域处于可载状态.

表 2 南京市环境承载力评价指标理想值

Table 2 Ideal evaluation index values of environmental carrying capacity in Nanjing

指标	理想值	时段内理想值依据
人均水资源量	1700 (m ³ /人)	联合国教科文组织制定的参考标准
单位 GDP 用水量	45 (m ³ /万元)	《南京市生态文明建设规划(2013-2020)》
土地开发强度	30 (%)	国际通例警戒线
单位国土面积 SO ₂ 排放量	1 (t/km ²)	结合《国家生态文明建设试点示范区指标(试行)》与《南京市“十三五”生态环境保护规划》
大气污染物浓度超标指数	0	《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》
单位国土面积 COD 排放量	12 (t/km ²)	《南京市“十三五”水务发展规划》
水污染物浓度超标指数	0	《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》
生态系统服务价值	14 (亿元)	时段内各区最大值
生态红线区占比	23.5 (%)	《南京市“十三五”生态环境保护规划》

2.2 成因分析

区域的环境承载状态往往并不是由单一因素决定的,而是多方面因素叠加作用的结果.一般而言,影响环境承载能力的因素可概括为自然、发展和管理等 3 类^[34].自然条件因素反映区域的自然本底条件与资源禀赋状况,如水资源量、土地资源量、地形地貌、气象条件等;区域发展因素主要表征社会和经济的发展方式与水平,包括人口密度、人均 GDP、产业结构、单位工业增加值能耗、居民人均可支配收入等;管理制度因素反映人类主体对环境状态的响应,包括法规政策、管理方式、科学技术等.

在环境承载力的驱动体系中,3 类因素并不孤立存在,而是相互影响并共同作用于自然环境,改变着区域环境承载状态(图 3).自然本底条件是一切生物活动的基础,为人类生产生活提供环境与各类资源,

良好的自然环境与资源禀赋能为环境承载提供有力支撑,是一个区域环境承载力的先决条件;区域发展因素反映了人类社会经济活动对环境系统的压力,无论是人口的增长还是产业的发展,其对各类资源的过度开采使用以及不节制的排污排废活动均造成资源匮乏、环境污染、生态恶化,严重威胁着环境承载能力;环境管理工作体现人类在自然保护上的主观能动性,通过制定一系列规则对人类活动进行约束或者采取一定的措施改善环境系统,能够在一定程度上对环境承载状态起到正向促进作用.3 类因素同时又相互促进、相互制约,发展水平的提高总是伴随着对资源环境的消耗,自然禀赋一定程度限制着发展水平;而社会经济的发展又影响着管理水平,经济实力的提高为管理能力提升提供了经济基础,反过来又促进了协调发展;自然资源与环境的保护

也离不开有效的管理,良好的环境管理使得资源-环境-生态系统更加健康协调。

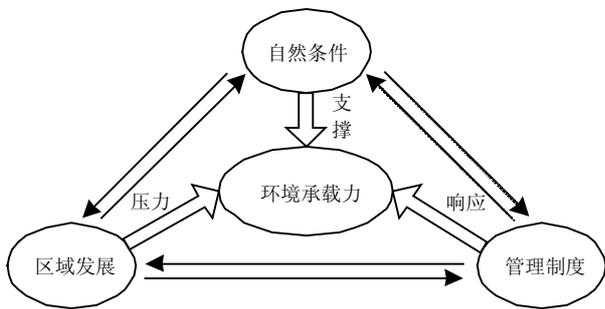


图 3 环境承载力影响因素

Fig.3 Influencing factors of environmental carrying capacity

3 研究结果

3.1 南京市环境承载力评价

2011~2016年,南京市环境承载力指数总体呈增加趋势(表 2),由-0.238 上升至-0.123,增长了 48.3%;环境承载状态有明显好转,由中度超载转变为轻度超载.虽然南京市环境承载状态趋势良好,但全市整体上仍处于超载状态。

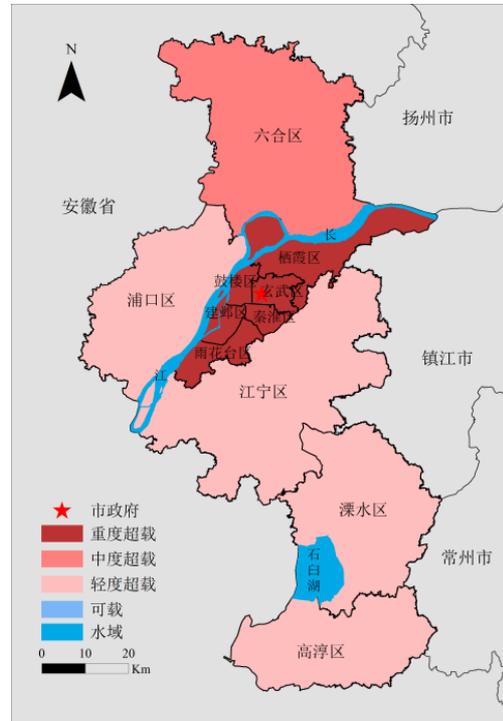
表 3 2011~2016 年南京市各区环境承载力指数

Table 3 RCs of various districts in Nanjing (2011~2016)

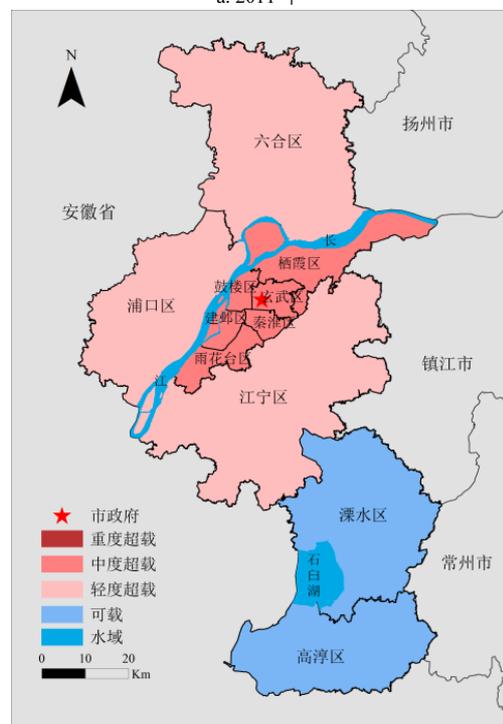
区域	RCC	2011		2016		2011~2016
		RCS	RC	RCS	RC	
主城区	0.779	0.257	-0.522	0.493	-0.286	0.236
江宁区	0.779	0.663	-0.116	0.714	-0.065	0.051
浦口区	0.779	0.646	-0.133	0.708	-0.071	0.062
六合区	0.779	0.539	-0.240	0.593	-0.186	0.054
高淳区	0.779	0.737	-0.042	0.821	0.042	0.083
溧水区	0.779	0.752	-0.027	0.854	0.075	0.101
南京市	0.779	0.541	-0.238	0.656	-0.123	0.115

在空间上,南京市各区环境承载状况不尽相同(图 4).2011 年各区均处于超载状态,2016 年高淳区与溧水区转变为可载,其他区仍不同程度超载,其分布格局基本为中北部较差,南部较良好.各辖区环境承载力指数在此期间均呈增大趋势,但变化幅度存在一定差异.具体来看,主城区超载状况最为严重,2011 年环境承载力指数为-0.522,处于严重超载状态;2016 年有较大幅度提升,增至-0.286,但仍属于中度超载.其次为六合区、江宁区 and 浦口区,六合区环境承载力指数由 2011 年的-0.240 增至 2016 年的-0.186,由中度超载转变为轻度超载,超载情况有所缓解;江宁区与浦口区环境承载力指数变化相对较

小,承载状态未发生变化,为轻度超载.高淳区与溧水区环境承载状况相对良好,2011 年两区均处于轻度超载且仅略低于满载线,2016 年环境承载力指数分别增至 0.042、0.075,均达到可载状态。



a. 2011 年



b. 2016 年

图 4 2011~2016 年南京市各区环境承载状况

Fig.4 Environmental carrying capacity states of various districts in Nanjing (2011~2016)

3.2 影响因素分析

3.2.1 自然条件 自然本底情况是影响环境整体承载能力的重要因素,南京市环境整体超载的现状及各辖区承载力的差异性均与其自然禀赋条件有密切关系。

水资源是影响资源环境承载力的重要因素。南京市各辖区水资源量存在较大差异,人口因素的叠加更使得大部分辖区水资源均处于不同程度的短缺状态(图 5)。2016 年南京市人均水资源量为 $831.802\text{m}^3/\text{人}$,仅为全国人均水资源量的 $1/3$,世界人均水资源量的 $1/10$,其中主城区仅 $173.833\text{m}^3/\text{人}$,尚不及全国水平的 $1/10$,处于严重短缺状态;江宁、浦口与六合分别存在不同程度的短缺,高淳与溧水相对丰富。另外,水资源的缺乏不仅会加剧资源供需矛盾,同时也降低了水环境的自净能力,使其在受到污染时更难以自我修复,对水环境健康及气候调节、环境净化、文化提供等生态服务功能提供造成不利因素。

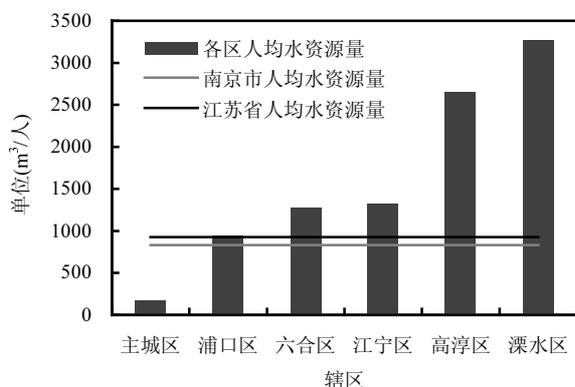


图 5 2016 年南京市人均水资源量

Fig.5 Per capita water resources of Nanjing in 2016

此外,气象条件也是影响环境承载力的重要因素。南京市属亚热带湿润性季风气候,地处西风环流的控制之下,平均风速不大,大风的日数不多,不利于污染物的扩散稀释,容易造成污染物堆积^[35-36]。尤其冬季受冷高压控制低层大气层结稳定,加上降水量减少,对空气中悬浮的污染物沉降冲刷作用减弱,加剧了雾霾的程度和发生频率,导致南京市大气环境质量整体欠佳。

3.2.2 区域发展 人口、产业等发展类因素因其消耗资源、排放污染物而对环境承载能力造成胁迫。

南京市作为长三角地区综合实力强劲的特大城市,高强度的人类活动不可避免地对区域资源环境造成较大影响。

南京市面临着人口过度集聚、土地过度开发的问题。2017 年末全市常住人口达 833.50 万人,地区生产总值达 11715.1 亿元,主城区人口密度达到 $5769\text{人}/\text{km}^2$,以全市 12% 的国土面积养育了全市 54% 的人口,集中了全市 52% 的 GDP;浦口区、江宁区、六合区和高淳区也均超过 $500\text{人}/\text{km}^2$,人口较为密集(图 6)。人口的集聚对于水资源、土地资源的供给无疑带来巨大的压力。由此引致的大量生活垃圾、尾气排放也成为重要环境污染源,2015 年南京市城市水环境质量整体达标率只有 58.75%,车流量较大的浦口区 and 主城区 NO_2 浓度超标指数在全市均居高位。同时,随着各区经济发展与城镇建设的不断推进,2011~2016 年全市建设用地的使用也呈增加趋势(图 7),尤以建邺区为甚,增幅超过了 6%,栖霞区与雨花台区增幅也均超过 2.5%;而玄武、秦淮、鼓楼区的建设用地占比均已超过 80%,土地资源压力巨大,城市建设产生的扬尘还将成为大气环境污染的重要因素。无论是城镇用地还是产业园区,其投放均使得大量耕地与生态空间被占用,加剧土地资源压力的同时也降低了生态系统健康度,生态系统产品提供、保持水土、保护生物多样性等功能均受到一定程度影响。相较而言,中北部各区的人口密度与土地开发强度均高于南部的溧水与高淳两区,与环境承载力的空间分异格局具有耦合性。

重化产业发展、能源消耗结构不尽合理加剧了环境承载状态的恶化。尽管南京市不断优化产业结构,但除中心城区外的其他各辖区产业结构仍以第二产业为主,耗能大、排污强,是威胁环境承载能力的重要因素。六合区低端产业相对较多,用水效率低下,单位 GDP 用水量达到全市最高,加剧了水资源短缺;其石油化工、电力热力等产业排放的大量污染物也对大气、水环境污染造成不可忽视的影响。随着江北新区的启动,浦口区进入发展黄金机遇期,高端制造业增长强劲,对水资源的需求也随之增加,水资源短缺现状更为严峻。此外,南京市能源消耗结构仍以煤炭为主,各辖区能耗情况中(表 3),六合区、雨花台区、栖霞区的单位工业增加值能耗最高,均超过 1t 标准煤/万元;其次为江宁、溧水、浦口各区,而玄武、秦淮、

鼓楼区则由于以第三产业为主,历年单位工业产值能耗均低于 0.1t 标准煤/万元.石化、钢铁、建材、电力作为南京市的四大主要耗能产业,2016 年综合能耗超过 3650 万 t 标准煤,占全市工业企业综合能源消费量的 95%以上,其中钢铁行业与电力行业万元产值能耗均超过 1t 标准煤.如此以煤炭为主的能源消费结构加之第二产业为主的产业结构导致工业生产中产生大量大气污染物排放,大气环境质量受到严重影响,全市 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 年均浓度的不同程度超标主要与此有关;同时加剧了水资源紧缺,而 COD、磷等污染物的排放也使得各区水环境状况不容乐观.

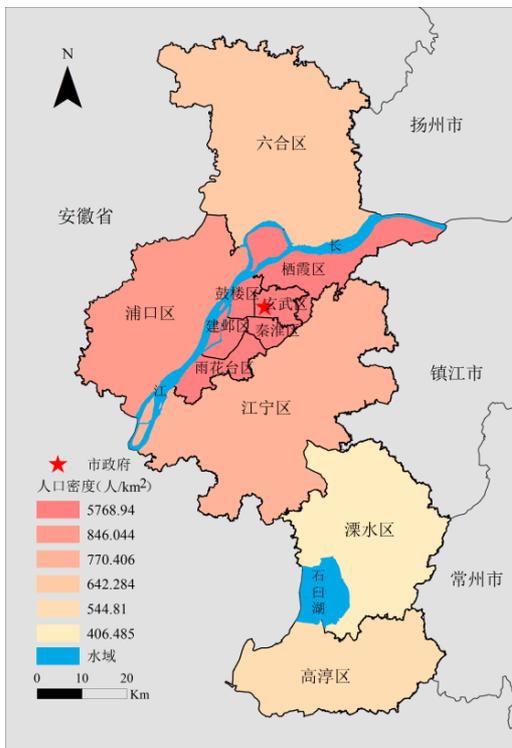


图 6 2016 年南京市人口密度分布
Fig.6 Density of population in Nanjing in 2016

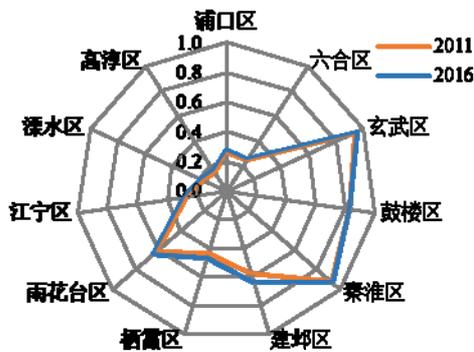


图 7 2011~2016 年南京市各区建设用地占比
Fig.7 Proportion of construction land of various districts in Nanjing (2011~2016)

表 4 南京市各区 2011~2016 年单位工业增加值能耗(t 标准煤/万元)

Table 4 Industrial added value of various districts in Nanjing (2011~2016)

辖区	2011	2012	2013	2014	2015	2016
玄武区	0.034	0.034	0.033	0.031	0.023	0.028
秦淮区	0.090	0.077	0.070	0.053	0.052	0.055
建邺区	0.100	0.126	0.109	0.075	0.015	0.021
鼓楼区	0.059	0.050	0.038	0.034	0.030	0.023
浦口区	0.148	0.140	0.108	0.104	0.102	0.103
栖霞区	2.078	1.905	1.759	1.526	1.403	1.293
雨花台区	5.022	5.245	5.696	5.278	4.761	4.636
江宁区	0.250	0.223	0.182	0.156	0.165	0.147
六合区	7.022	6.071	5.147	5.079	4.786	4.862
溧水区	0.308	0.274	0.233	0.204	0.184	0.170
高淳区	0.139	0.134	0.104	0.101	0.098	0.094

由于发展不当给环境带来的影响逐步被重视,南京市在发展策略上已做出应对举措.近年来各区产业结构不断得到优化,第二产业占比持续下降,单位工业增加值能耗也有了一定幅度的降低.2017 年,在消耗的主要能源品种中:原煤 2667.09 万 t,较上年下降 4.3%;原油 2771.33 万 t,下降 5.1%;天然气 26.15 亿 m³,增长 10.7%.工业生产上的优化直接带来排污排废量的显著减少,对全市环境承载状况的改善起到较大的促进作用,各区环境承载力均有上升趋势.

3.2.3 管理制度 管理制度对环境承载能力同样有重要影响,环境管理机制和环境管理水平一定程度上决定着一个地区的环境质量水平.

南京市现行的环境经济政策体系、环境产权制度建设尚不能适应环境超载的发展态势,环境承载力监测预警方面相关制度与政策仍较少,缺乏对资源、环境的动态跟踪及分析,环境应急体制与队伍建设也有待加强.此外,各相关部门间协同较弱,资源环境管理与公众监督结合不足,不利于形成多方参与的管理监测合力.在“十二五”期间,南京市相继出台了《关于坚持以生态为基、加强资源节约环境保护的意见》及“控煤降耗”、“治水减污”、“大气污染防治”、“环保改革”等一系列政策措施,通过环境经济政策改革形成了更完善的环境准入制度,成为环境承载状况改善的强有力政策支持.

城市的发展和人口的增长将持续地为城市环境带来污染,南京市环境整治工作仍面临着雾霾较重、黑臭水体、噪声污染等挑战,作为一项长期性、复杂性工作,环境治理任重道远.此外,乡村环境治理

也是亟待解决的问题,基层环保能力仍然薄弱,基础较差、装备不足、水平不高等短板无法满足环境管理需要,环保基础设施建设需继续推进.环境整治力度的提升能有效驱动环境承载能力的提高.当前,南京市环保投资额占比超过 2.5%,高于由发达国家经验所得的 1.5%的改善底线^[37],起到一定的环境改善作用;在“十二五”期间,环保执法能力进一步加强,先后劝退、否决各类污染项目 47 个,查处各类环境违法行为 6247 起,有力地保障了环境健康;另外,环境综合整治也不断推进,绿地建设、河道整治、大气污染治理等措施均得到有效实施,推动了南京市环境承载状况向良好方向发展.

3.3 讨论

从资源、环境、生态三方面进行构建的指标体系在除却经济社会指标后相对更加侧重自然环境综合体承载力自身状态评价,在区域环境承载力表征上具有一定的可靠性;将自然条件、区域发展、管理制度等多因素考虑在内能够避免成因分析的片面性,可为南京市提高环境承载力的发展策略制定提供较全面参考.本研究所得的评价结果基本符合南京市及各区现实情况,但由于数据资料可获得性的限制,在评价指标选取及环境承载力具体变化过程方面存在一定局限性;同时,各影响因素的分析中未考虑到自然灾害、区际联系、技术标准等方面,仍需进一步研究改进.

环境承载能力是区域可持续发展的重要基石,像南京市这样的经济发达地区在提高环境承载力的发展策略制定上,应全面重视资源、环境、生态的保护与建设,设定严格的资源使用门槛,注重环境综合整治,加强生态修复与建设.综合考虑自然因素提升的同时,及时调整发展策略,充分依托科教资源与产业基础优势,将创新驱动力量发挥到极致;同时探索更为完善的环境监测制度、排污权交易制度、环保考核及奖惩制度等体制机制,为环保工作落实提供长效驱动力.

4 结论

4.1 南京市环境总体处于超载状态,2011~2016 年间环境承载力整体有所提升,全市由中度超载转变为轻度超载;环境承载力在空间上具有差异性,各区承载状况均呈转好趋势,中北部相对偏差,南部较优.

中部主城区超载情况最为严重;其次是六合区、浦口区 and 江宁区;南部溧水、高淳两区相对良好.

4.2 自然条件、区域发展与管理制度的 3 类影响因素对环境承载力均有不同程度影响.南京市整体超载是自然条件不优、发展胁迫压力大和管理上存在缺陷共同作用的结果;近年来承载状况的改善主要得益于发展上进行一定的控制和环境管理能力的提升.主城区自然条件处劣势的同时集聚了大量的人口与产业,对环境系统造成较大的压力;六合区、浦口区、江宁区主要由于经济建设及产业发展过程中废污排放量偏大因而影响了环境承载能力;溧水区与高淳区自然本底条件较好,环境承载力的主要威胁因素来源于第二产业发展的排废排污.

参考文献:

- [1] 廖慧璇,籍永丽,彭少麟.资源环境承载力与区域可持续发展 [J]. 生态环境学报, 2016,25(7):1253-1258.
Liao H X, Ji Y L, Peng S L. Resource and environment carrying capacity and sustainable development [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016,25(7):1253-1258.
- [2] 陆大道.中速增长:中国经济的可持续发展 [J]. 地理科学, 2015,35(10):1207-1219.
Lu D D. Moderate-speed growth:sustainable development of China's economy [J]. Scientia Geographica Sinica, 2015,35(10):1207-1219.
- [3] 王 俭,孙铁珩,李培军,等.环境承载力研究进展 [J]. 应用生态学报, 2005,(4):768-772.
Wang J, Sun T H, Li P J, et al. Research progress on environmental carrying capacity [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005,(4):768-772.
- [4] 刘兆德,虞孝感.长江流域相对资源承载力与可持续发展研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2002,(1):10-15.
Liu Z D, Yu X G. Carrying capacity of resources and problems of sustainable development in Yangtze Basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002,(1):10-15.
- [5] 唐剑武,叶文虎.环境承载力的本质及其定量化初步研究 [J]. 中国环境科学, 1998,(3):36-39.
Tang J W, Ye W H. Study on environmental bearing capacity and its quantification [J]. China Environmental Science, 1998,18(3):227-230.
- [6] 李金海.区域生态承载力与可持续发展 [J]. 中国人口·资源与环境, 2001,(3):78-80.
Li J H. Regional ecological carrying capacity and sustainable development [J]. China Population, Resources and Environment, 2001,(3):78-80.
- [7] 金 悦,陆兆华,檀菲菲,等.典型资源型城市生态承载力评价——以唐山市为例 [J]. 生态学报, 2015,35(14):4852-4859.
Jin Y, Lu Z H, Tan F F, et al. Assessment of ecological carrying capacity on the typical resources-based cities: A case study of Tangshan City [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015,35(14):4852-4859.
- [8] 崔凤军,刘天明.旅游环境承载力理论及其实践意义 [J]. 地理科学

- 进展, 1998,(1):86-91.
- Cui F J, Liu J M. A study on the theory and application of tourism environment bearing capacity [J]. *Progress in Geography*, 1998,(1): 86-91.
- [9] Navarro Jurado E, Damian I M, Fernández-Morales A. Carrying capacity model applied in coastal destinations [J]. *Annals of Tourism Research*, 2013,43:1-19.
- [10] 傅 湘, 纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价——主成分分析法的应用 [J]. *长江流域资源与环境*, 1999,(2):168-173.
- Fu X, Ji C M. A comprehensive evaluation of the regional water resource carrying capacity—application of main component analysis method [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, (2):168-173.
- [11] 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 [J]. *地理学报*, 2010,65(1):82-90.
- Duan C Q, Liu C M, Chen X N, et al. Preliminary research on regional water resources carrying capacity conception and method [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010,65(1):82-90.
- [12] 王金南, 于 雷, 万 军, 等. 长江三角洲地区城市水环境承载力评估 [J]. *中国环境科学*, 2013,33(6):1147-1151.
- Wang J N, Yu L, Wan J, et al. Assessment on water environmental carrying capacity in the Yangtze River Delta [J]. *China Environmental Science*, 2013,33(6):1147-1151.
- [13] Lane M. The carrying capacity imperative: Assessing regional carrying capacity methodologies for sustainable land-use planning [J]. *Land Use Policy*, 2010,27(4):1038-1045.
- [14] 孙 钰, 李新刚. 基于空间回归分析的城市土地综合承载力研究——以环渤海地区城市群为例 [J]. *地域研究与开发*, 2013,32(5): 128-132+137.
- Sun Y, Li X G. The research of urban land comprehensive carrying capacity based on spatial regression analysis: Taking the Bohai Rim Urban Agglomeration as example [J]. *Areal Research and Development*, 2013,32(5):128-132+137.
- [15] 王 倩. 中原城市群土地综合承载力研究 [D]. 河南大学, 2009.
- Wang Q. Research on the integrated land carrying capacity of Zhongyuan urban agglomeration [D]. Henan University, 2009.
- [16] 刘立勇, 王 彬, 李忠武. 典型城区山岳型风景区大气环境承载力分析 [J]. *生态环境学报*, 2009,18(2):688-692.
- Liu L Y, Wang B, Li Z B. Exploitation of atmosphere environment sustainable capacity for a typical urban mountain scenic spot [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009,18(2):688-692.
- [17] 钱跃东. 区域大气环境承载力评估方法研究 [D]. 南京大学, 2011.
- Qian Y D. A study on estimation methods of regional atmospheric environmental carrying capacity [D]. Nanjing University, 2011.
- [18] 郭 轲, 王立群. 京津冀地区资源环境承载力动态变化及其驱动因子 [J]. *应用生态学报*, 2015,26(12):3818-3826.
- Guo K, Wang L Q. Change of resource environmental bearing capacity of Beijing-Tianjin-Hebei region and its driving factors [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015,26(12):3818-3826.
- [19] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究 [J]. *环境科学学报*, 2016,36(1):314-323.
- Lei X P, Qiu G H. Empirical study about the carrying capacity evaluation of regional resources and environment based on entropy-weight TOPSIS model [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016,36(1):314-323.
- [20] 孙 茜, 张捍卫, 张小虎. 河南省资源环境承载力测度及障碍因素诊断 [J]. *干旱区资源与环境*, 2015,29(7):33-38.
- Sun Q, Zhang H W, Zhang X H. Resources and environment carrying capacity estimation and the obstacle factors diagnosis for Henan Province [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(7):33-38.
- [21] 王 锦, 郝晋珉, 陈爱琪, 等. 基于模糊聚类分析的天津市生态环境承载力评价 [J]. *中国农业大学学报*, 2018,23(10):112-121.
- Wang J, Hao J M, Chen A Q, et al. Evaluation of ecological environment carrying capacity in Tianjin based on fuzzy cluster analysis [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018,23(10): 112-121.
- [22] 赵宏波, 马延吉, 苗长虹. 基于熵值-突变级数法的国家战略经济区环境承载力综合评价及障碍因子——以长吉图开发开放先导区为例 [J]. *地理科学*, 2015,35(12):1525-1532.
- Zhao H B, Ma Y J, Miao C H. Integrated assessment and obstacle factors of environmental carrying capacity of National Strategic Economic Zones based on entropy and catastrophe progression methods: A case study in Changchun-Jilin-Tumenjiang development and opening-up Pilot Area [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(12):1525-1532.
- [23] 周道静, 王传胜. 资源环境承载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*, 2017,36(3):359-366.
- Zhou D J, Wang C S. 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*, 2017,36(3):359-366.
- [24] 周 侃, 樊 杰. 中国欠发达地区资源环境承载力特征与影响因素——以宁夏西海固地区和云南怒江州为例 [J]. *地理研究*, 2015, 34(1):39-52.
- Zhou K, Fan J. Characteristics and influence factors of resources and environment carrying capacity in underdeveloped areas of China [J]. *Geographical Research*, 2015,34(1):39-52.
- [25] 解钰茜, 吴 昊, 崔 丹, 等. 基于景气指数法的环境承载力预警 [J]. *中国环境科学*, 2019,39(1):440-448.
- Xie Y X, Wu H, Cui D, et al. Chinese early warning of environmental carrying capacity based on the climate index method [J]. *China Environmental Science*, 2019,39(1):440-448.
- [26] 崔 丹, 陈 馨, 曾维华. 水环境承载力中长期预警研究——以昆明市为例 [J]. *中国环境科学*, 2018,38(3):1174-1184.
- Cui D, Chen X, Zeng W H. Investigations on the medium-to-long term early warning of water environmental carrying capacity—A case study of Kunming City [J]. 2018,38(3):1174-1184.
- [27] 王雪军, 付 晓, 孙玉军, 等. 基于 GIS 赣州市资源环境承载力评价 [J]. *江西农业大学学报*, 2013,35(6):1325-1332.
- Wang X J, Fu X, Sun Y J, et al. Assessment of regional carrying capacity of resources and environment in Ganzhou City based on GIS [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2013,35(6):1325-1332.
- [28] 李 健, 杨丹丹, 高 杨. 基于状态空间模型的天津市环境承载力动态测评 [J]. *干旱区资源与环境*, 2014,28(11):25-30.

- Li J, Yang D D. Measurement and assessment of environment carrying capacity of Tianjin based on State-Space Model [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014,28(11):25-30.
- [29] 黄敬军,姜素,张丽,等.城市规划区资源环境承载力评价指标体系构建——以徐州市为例 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015,25(S2):204-208.
- Establishment of evaluation index system of resource environmental carrying capacity in urban planning area: Take Xuzhou as an example [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015,25(S2):204-208.
- [30] 魏超,叶属峰,过仲阳,等.海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例 [J]. *生态学报*, 2013,33(18):5893-5904.
- Wei C, Ye S F, Guo Z Y, et al. Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: A case in Nantong [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013,33(18):5893-5904.
- [31] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估 [J]. *自然资源学报*, 2003,(2):189-196.
- Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Natural Resources*, 2003,(2):189-196.
- [32] 李磊,贾磊,赵晓雪,等.层次分析—熵值定权法在城市水环境承载力评价中的应用 [J]. *长江流域资源与环境*, 2014,23(4):456-460.
- Li L, Jia L, Zhao X X, et al. Application of the AHP and the entropy weight method in evaluation on city water environmental carrying capacity [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(4):456-460.
- [33] 毛汉英,余丹林.区域承载力定量研究方法探讨 [J]. *地球科学进展*, 2001,(4):549-555.
- Mao H Y, Yu D L. A study on the quantitative research of regional carrying capacity [J]. *Advance in Earth Science*, 2001,(4):549-555.
- [34] 徐勇,张雪飞,周侃,等.资源环境承载能力预警的超载成因分析方法及应用 [J]. *地理科学进展*, 2017,36(3):277-285.
- Xu Y, Zhang X F, Zhou K, et al. Method and application of cause analysis for early-warning of resource and environmental system overloading [J]. *Progress in Geography*, 2017,36(3):277-285.
- [35] 芮冬梅,张予燕.南京市环境空气质量与气象条件的关系分析 [J]. *环境科学导刊*, 2009,28(2):37-38.
- Rui D M, Zhang Y Y. Analysis on relation of air quality and meteorological condition in Nanjing [J]. *Environmental Science Survey*, 2009,28(2):37-38.
- [36] 张予燕,芮冬梅,周灵辉.南京钟山风景区对主城环境空气质量的影响 [J]. *环境监控与预警*, 2010,2(1):47-50.
- Zhang Y Y, Rui D M. Nanjing Zhongshan Mountain Scenic's influence on the air quality in main urban area [J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2010,2(1):47-50.
- [37] 赵海霞,蒋晓威,崔建鑫.泛长三角地区工业污染重心演变路径及其驱动机制研究 [J]. *环境科学*, 2014,35(11):4387-4394.
- Zhao H X, Jiang X W, Cui J X. Shifting path of industrial pollution gravity centers and its driving mechanism in Pan-Yangtze River Delta [J]. *Environmental Science*, 2014,35(11):4387-4394.

作者简介: 孟菲(1995-),女,山东滨州人,硕士研究生,主要从事环境经济与环境地理方面研究。