

中原城市群核心城市资源环境承载力研究

于洋^{1,2} 韩鹏^{1,2,†} 杨楠³ 李小磊³ 郭昀昊^{1,2}

1. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 2. 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100871;

3. 中国地质环境监测院, 北京 100081; † 通信作者, E-mail: hanpeng@iee.pku.edu.cn

摘要 通过对城市群型地区的分析, 提出资源环境承载力研究要充分考虑资源流动性。选用中原城市群9座核心城市为研究对象, 参考压力状态响应模型构建评价指标体系, 并利用层次分析法进行评价。利用外来资源依赖指数对研究区的资源依赖度进行分析。结果表明: 1) 通过对比郑州市2004—2014年考虑与不考虑资源流动性的评价结果, 表明只有在考虑资源流动性时, 评价结果才能真实地反映区域发展状态; 2) 中原城市群核心城市水和能源资源比较紧张, 但通过外来资源的供应, 可基本上满足区域的发展需求, 然而各核心城市的环境情况均不容乐观; 3) 研究区资源环境承载能力由高到低的顺序为漯河、许昌、新乡、郑州、济源、焦作、洛阳、平顶山、开封; 4) 根据外来资源依赖指数可知, 9座核心城市的粮食资源均可自给自足, 开封、新乡等地的能源资源需外部供应, 郑州、开封等地的水资源需外部供应, 综合来看, 水资源比能源资源的依赖程度大。

关键词 城市群型地区; 资源环境承载力; 资源流动性; 中原城市群; 层次分析法

中图分类号 X822

Research of Carrying Capacity on Resource and Environment in Core Cities of Central Henan Urban Agglomeration

YU Yang^{1,2}, HAN Peng^{1,2,†}, YANG Nan³, LI Xiaolei³, GUO Yunhao^{1,2}

1. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871; 2. The Key Laboratory of Water and Sediment Sciences (MOE), Peking University, Beijing 100871; 3. China Institute of Geo-environment Monitoring, Beijing 100081;

† Corresponding author, E-mail: hanpeng@iee.pku.edu.cn

Abstract By analyzing the characteristic of urban agglomeration areas, proposing that considering the mobility of resource is essential in researching carrying capacity, the research used core cities of Central Henan urban agglomeration as cases to study, referencing press-state-response model to build the target system of carrying capacity, considering resource supply and consumption & environmental pollution and treatment, using AHP method to evaluate. Reliant exponential is used to evaluate the dependence severity. The result shows that according to the comparison of two results considering resource fluidity or not in Zhengzhou in 2004–2014, only considering resource fluidity can reflect the real condition of an area. Core cities of Central Henan urban agglomeration are short of water and energy resources but are enough to use with the supply of external resources. The orders of the carrying capacity index on resource and environment are Luohe, Xuchang, Xinxiang, Zhengzhou, Jiyuan, Jiaozuo, Luoyang, Pingdingshan and Kaifeng. According to the reliant exponential of external resources, grain resources in these nine cities are self-sufficiency. External energy resources are needed in Kaifeng, Xinxiang, etc. External water resources are needed in Zhengzhou, Kaifeng, etc. More external water resources are needed than external water resources.

Key words urban agglomeration region; carrying capacity on resource and environment; resource flow; Henan urban agglomeration; AHP method

城市群型地区是支撑中国人口与经济发展的重要区域,随着中国城市化进程的不断推进,其重要性愈加明显。城市群型地区的发展离不开区域资源和环境的支持,其中资源和环境与人类活动、社会经济间的适应程度可用资源环境承载力表示,因此通过对城市群型地区资源环境承载力的判断可以实现优化区域配置,解决发展现状与发展要求之间的矛盾^[1-2]。

城市群型地区资源环境承载力是目前承载力问题研究的热点,学者大多先分析其含义,然后结合所研究的问题,确定影响资源环境承载力的指标,进而建立评价指标体系,并确定权重,最后通过所选择的评价方法完成评价^[3-6]。在指标体系的构建上,比较典型的方法有两种:一种是考虑资源、环境、经济、社会等要素进行构建^[7-8];另一种是利用压力状态响应模型,将承载力和压力作为系统层构建^[9-10]。在评价方法上,比较典型的有向量模法^[11]、集对分析法^[12]、快速评估法^[13]、状态空间法^[14]等,此外,很多多目标决策的数学方法也应用其中,如矢量投影法等。虽然这些评价方法各自有不同的侧重点,但本质上都是在层次分析法的基础上,结合不同的数学方法进行改进^[15]。因此,评价过程中指标体系的构建是关键步骤,可对评价结果产生直接的影响。需要指出的是,构建时应当考虑资源的流动性,否则可能影响对区域发展的判断。据新华社报道,在2004年初,梁昊光从水资源限制的角度出发,判断北京市人口的极限在1800万^[16],然而实际上在2010年已经达到1972万;根据最新统计数据,2014年已达到2152万,且持续增长。因此,有必要考虑资源流动性,以便更加科学地判断区域发展态势。

本文在充分考虑城市群型地区资源流动性的基础上,构建承载力评价指标体系,并以中原城市群核心城市为例,采用层次分析法对其资源环境承载力进行研究,希冀为科学评价城市群型地区资源环境承载力提供有益的借鉴,为促进区域资源、环境与社会经济的协调发展做贡献。

1 城市群型地区资源环境承载力分析

承载力最早来自力学概念,表示物体在不受到任何破坏时所能承受的最大负荷,后来广泛应用于生态学、环境科学等领域,进而出现各类单项资源以及环境承载力,再不断扩展到资源环境综合承载

力。资源环境承载力指对区域不产生任何破坏时所能承受的最大负荷,即一定时间、一定区域内资源环境系统所能承受的人类各种社会或经济活动的能力^[17]。然而,受传统力学概念的影响,在资源环境承载力概念的形成中,人们往往忽略系统的开放性。实际上,资源是具有流动性的,可以在区域之间相互流通,并不是一个区域的固有属性,因此,对区域资源环境承载力评价需要充分考虑资源的流动性。

城市群型地区通常具有资源短缺、环境压力大的特征^[18]。从资源方面看,由于城市群型地区人口密集,需要大量资源来支撑人类的生产生活,因此资源相对紧张,但由于多数资源具有流动性,因此资源的输入有效降低了城市群型地区发展的压力。从环境方面看,经济的快速发展对环境造成污染,影响人类的生产生活。因此,在构建城市群型地区资源环境承载力评价指标体系时,在资源方面要考虑流动性资源的输入情况,环境方面要侧重考虑经济发展对环境的污染等。

2 评价方法

本文选用层次分析法,对城市群型地区的资源环境承载力进行研究。首先构建含有各项指标的判断矩阵,通过两两指标的比较,得到每个层次中各指标的权重,最终通过数学运算计算资源环境承载力指数^[4]。评价的主要步骤如下。

首先,建立评价指标体系确定评价指标 $S_x(x=1, 2, \dots, n)$;然后,对评价指标进行无量纲化处理;再后,确定每层评价指标相对于上一层评价指标的权重(w_x);最后,计算承载力指数,用其判断城市承载力能力大小。

2.1 评价指标体系的构建

本文遵循构建指标体系的独立性、区域性等基础性原则,参考压力状态响应模型,并考虑城市群型地区的典型性和资源的流动性,建立评价指标体系^[19]。并且,将资源环境承载力认为是一个具有“能力”内涵的概念^[20-21],从承载力和压力两个角度构建指标体系^[22]。在资源方面,考虑资源供应和资源消费两方面^[23-24];在环境方面,考虑环境治理和环境污染两方面。其中,资源供应和环境治理为正向指标,资源消费和环境污染为负向指标。例如,资源消费能力大于供给能力表示资源超载,环境污染状况超过环境治理能力表示环境超载。

2.2 指标的无量纲处理方法

由于指标的量纲不同不利于进行综合分析,因此各在指标数据收集完成后,对其进行无量纲化或标准化处理,以消除量纲的影响,使不同指标数据具有可比性。无量纲化或标准化的方法包括直线型方法、折线型方法和曲线型方法。本文选用直线型方法^[25]对指标进行无量纲化处理。由于本文指标体系中资源供应量和消费量是对应的,因此对同类资源进行统一的无量纲化处理。此外,为方便对比分析,负指标用无量纲化后数值的相反数表示。计算公式如下:

$$I_{mn}(S_x) = \begin{cases} 0, & i_{mn}(S_x) \leq T_i(i_{mn}(S)), \\ \frac{i_{mn}(S_x) - T_i(i_{mn}(S))}{T_u(i_{mn}(S)) - T_i(i_{mn}(S))}, & T_i(i_{mn}(S)) \leq i_{mn}(S_x) \leq T_u(i_{mn}(S)), \\ 1, & i_{mn}(S_x) \geq T_u(i_{mn}(S)), \end{cases}$$

$i_{mn}(S_x)$ 是各项指标(S_x)收集到的原始数据, $I_{mn}(S_x)$ 则是 $i_{mn}(S_x)$ 标准化后数值, T_u 和 T_i 是给定的所有评估单元(S)的上限值和下限值。

2.3 承载力指数计算

为进行整体性的评价,在确定各指标权重和无量纲处理后,需要计算承载力指数,将各项指标进行综合。可用的数学方法很多,需要根据具体问题进行选择。本文认为所构建的资源环境综合承载力指标体系中,各指标之间具有相互独立性^[4],因此采用线性加权求和的方式计算承载力指数 D :

$$D = \sum_x^n d_x w_x,$$

式中, d_x 是下一层指标的承载力指数, w_x 是下一层指标的权重。

这样,从最底层指标层开始,不断计算出上一层的综合指数,最终完成资源环境承载力指数的计算。当资源承载力或环境承载力指数为负值时,表明承载压力超过承载能力,资源或环境系统呈现超载状态。

3 实例分析

3.1 研究区域划定

中原城市群位于河南省中部,区域总面积为 5.87 万 km^2 ,是以郑州、洛阳、开封、许昌、新乡、焦作、平顶山、漯河、济源等 9 座地级市为核心层所构成的具有高度紧密社会经济联系的城市

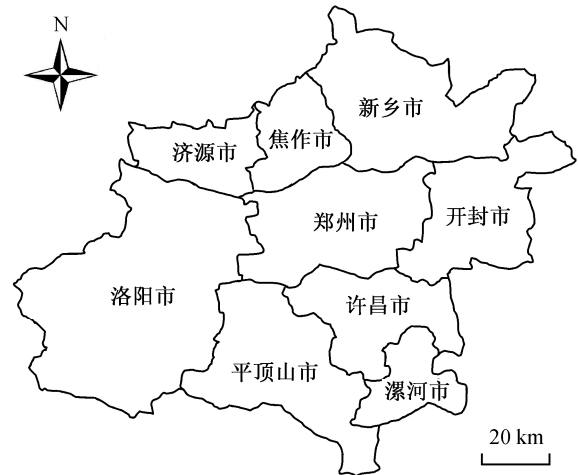


图 1 中原城市群核心城市示意图

Fig. 1 Core cities of Central Henan urban agglomeration

群(图 1)。本文选择中原城市群的这 9 座核心城市为研究对象。

3.2 研究评价指标体系的构建及数据来源

3.2.1 指标体系的构建

中原城市群核心城市资源环境承载力评价指标体系的具体情况如表 1 所示。

3.2.2 数据来源说明

考虑到资源的流动性,水、粮食和能源这些流动性资源的资源供应量除自身资源供应外,还有外来资源的补给,结合城市群型地区的特点,可将其定义为资源输入型地区。但是,资源输入的数据比较难以获得,可获得的是资源消费量和资源保有量数据,因此本文选用资源消费量和资源保有量数据中偏大的数值作为区域资源供应量的数据。资源方面的数据来自 2014 年《河南统计年鉴》和 2013 年《河南水资源公报》,环境数据来自 2014 年《河南统计年鉴》。

3.3 考虑资源流动性的意义

本文建立考虑与不考虑资源流动性的两种资源承载力指标体系,通过对比两种不同指标体系的流动性资源承载力指数来分析考虑资源流动性的意义。其中,流动性资源包括粮食、水和能源资源,考虑资源流动性的资源量用城市资源供应量和保有量数据中数值较大的数据表示,不考虑流动性的资源量用城市资源保有量表示。两种指标体系见表 2,计算结果见表 3。

资源承载力指数分布在 $[-1, 1]$ 区间。数值在 $(0, -1]$ 区间表示该项资源的消耗大于供给,表明区域

表 1 中原城市群资源环境承载力指标体系

Table 1 Target system of carrying capacity on resource and environment of Central Henan urban agglomeration

目标层	准则层	指标层	指标	与目标层指标间的关系
资源环境承载力 指标体系	资源	建设用地指数	人均建设用地面积(m ²)	正
		粮食供应指数	人均粮食年供应量(kg)	正
		水资源供应指数	人均水资源年供应量(t)	正
		能源供应指数	人均能源年供应量(kW·h)	正
	资源消费	粮食消费指数	人均粮食年消费量(kg)	负
		水资源消费指数	人均水资源年消耗量(t)	负
		能源消费指数	人均能源年消耗量(kW·h)	负
	环境	大气污染指数	万元 GDP 大气污染物排放量(kg)	负
		水污染指数	万元 GDP 水污染物排放量(kg)	负
		一般工业固体废物污染指数	万元 GDP 一般工业固体废物产生量(kg)	负
		固体废物治理指数	一般工业固体废物综合利用率(%)	正
		生活垃圾治理指数	生活垃圾无害化处理率(%)	正
		污水治理指数	污水处理厂集中处理率(%)	正

表 2 考虑与不考虑资源流动性的流动性资源承载力评价指标体系

Table 2 Two target systems of carrying capacity on flow resource of considering resource fluidity or not

目标层	准则层	指标层	考虑资源流动性的具体评价指标	不考虑资源流动性的具体评价指标
流动性资源承载力	粮食资源	粮食供应指数	人均粮食供应量(kg)	人均粮食产量(kg)
		粮食消费指数	人均粮食消费量(kg)	人均粮食消费量(kg)
	水资源	水资源供应指数	人均水资源年供应量(t)	人均水资源年保有量(t)
		水资源消费指数	人均水资源年消耗量(t)	人均水资源年消耗量(t)
	能源资源	能源供应指数	人均能源年供应量(kW·h)	人均能源年占有量(kW·h)
		能源消费指数	人均能源年消耗量(kW·h)	人均能源年消耗量(kW·h)

说明: 数据来自 2005—2015 年《河南统计年鉴》和 2004—2014 年《河南水资源公报》。

出现资源危机, 资源严重超载, 难以满足区域正常的生产生活; 数值在[1, 0)区间表示该项资源的供给大于消耗, 数值越大表明区域资源越丰富; 数值等于 0 表示区域资源处于平衡状态。根据两种结果对比可知, 在不考虑资源流动性时, 郑州、开封、洛阳、平顶山、新乡、焦作、许昌等城市的水资源承载力严重超载, 开封、新乡、焦作、漯河等城市的能源资源承载力严重超载; 在考虑资源流动性后, 各大城市的资源供给和消费至少可以满足平衡状态。为更加清楚地说明问题, 本文以九大城市中发展势头最强劲的郑州市为例, 利用两种方法, 对近十年郑州的流动性资源承载力进行评价。

从图 2 可知, 在不考虑资源流动性时, 2004—

2014 年的十年间, 郑州市流动性资源的承载力指数大部分年份小于零, 处于超载状态, 该流动性资源承载力指数是粮食资源指数、水资源指数和能源资源指数的加和。2004 年和 2005 年, 郑州市的水资源情况较好, 粮食产量较高, 因此水资源和粮食资源承载力指数较高, 故整体上未出现超载情况。在考虑资源流动性时, 流动性资源承载力均处于可载状态。2004—2014 年, 郑州市的发展势头强劲, 其中人口增长 30.1%, GDP 增长 79.7%。若水资源、能源资源长期处于超载状态, 郑州的资源系统必然崩溃, 区域发展必然停滞, 这显然与实际情况严重不符。因此, 只有在考虑资源流动性时, 才可以真实地反映区域实际情况。

表3 考虑与不考虑资源流动性的流动性资源承载力指数计算结果
Table 3 Two carrying capacity indexes on flow resource considering resource fluidity or not

城市	考虑资源流动性				不考虑资源流动性			
	粮食资源 承载力指数	水资源 承载力指数	能源资源 承载力指数	流动性资源 承载力指数	粮食资源 承载力指数	水资源承载 力指数	能源资源 承载力指数	流动性资源 承载力指数
郑州市	0.19	0	0.02	0.21	0.19	-0.45	0.02	-0.24
开封市	0.65	0	0	0.65	0.65	-0.57	-0.02	0.06
洛阳市	0.31	0	0.02	0.33	0.31	-0.13	0.02	0.20
平顶山市	0.26	0	0.09	0.35	0.26	-0.18	0.09	0.17
新乡市	0.98	0	0	0.98	0.98	-0.58	-0.02	0.38
焦作市	0.72	0	0	0.72	0.72	-0.69	-0.09	-0.06
许昌市	0.77	0	0.01	0.78	0.77	-0.10	0.01	0.68
漯河市	0.94	0.08	0	1.02	0.94	0.08	-0.02	1.00
济源市	0.14	0.01	0.68	0.83	0.14	0.01	0.68	0.83

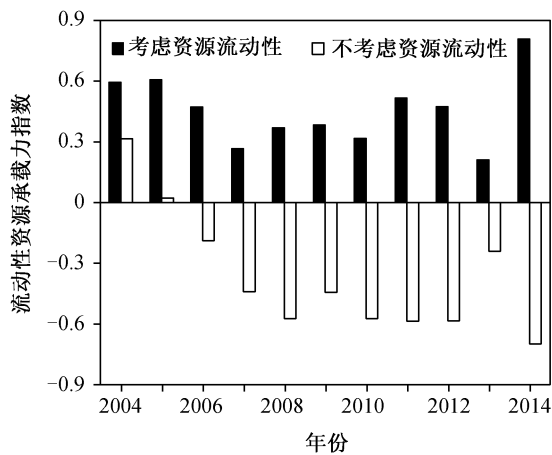


图2 2004—2014年考虑与不考虑资源流动性郑州市
流动性资源承载力指数对比

Fig. 2 Comparison of two kinds of carrying capacity indexes on flow resource considering resource fluidity or not in Zhengzhou in 2004–2014

3.4 评价结果与讨论

3.4.1 资源承载力评价结果

由资源承载力的计算结果(表4)可知,中原城市群核心城市的资源承载力均可载,但承载能力较低。结合表3可知,水资源和能源资源属于区域发展的制约性资源,郑州、开封、新乡等城市均需外部输入;粮食资源方面,因中原城市群是中国粮食主产区,耕地较多,土壤肥沃,因此其承载力均较高,尤其是新乡与漯河;对于非流动性资源——建设用地,漯河、许昌等城市较短缺,济源市较丰富。

3.4.2 环境承载力评价结果

从表5可知,9座城市的环境承载力指数较

低。开封市的环境承载力处于超载状态,位于第9位,与第4位的新乡、第3位的漯河问题相似,主要是水污染比较严重,且水污染治理力度薄弱;平顶山位于第8位,与处于第6位的洛阳和第5位的济源类似,主要原因是大气污染和工业固体废物污染比较严重;处于第7位的焦作市,固体废物治理力度十分薄弱,且各类环境污染相对严重;环境承载力处于前两位是许昌市和郑州市,但郑州市工业固体废物的治理力度还有待加强。根据以上结果可知,水污染和大气污染是制约城市发展的环境问题。

3.4.3 资源环境承载力评价结果

图3是中原城市群9座核心城市的资源环境承载力结果,灰度越深的区域资源环境承载力指数越大,区域资源环境承载能力越强,9座核心城市资源环境承载能力从高到低的排列顺序为漯河、许昌、新乡、郑州、济源、焦作、洛阳、平顶山、开封。

根据资源环境承载力指数,利用核心城市承载力指数的平均值以及标准差,将核心城市划分为高承载力区、中承载力区和低承载力区3种类型区^[18]。低承载力区($D < 0.070$,即低于平均值1个标准差)包括开封和平顶山,二者的共同特征是环境差,资源短缺,依赖外来资源供应,并且开封环境承载力处于超载状态;高承载力区($D > 0.229$,即高于平均值1个标准差)包括许昌和漯河,这两个城市的资源环境情况在9座核心城市中处于较高的水平;中承载力区($0.229 > D > 0.070$,即介于低承载力区和高承载力区之间)包括郑州、洛阳、新乡、焦作和

表 4 资源承载力评价结果
Table 4 Result of carrying capacity on resource

城市	资源供应				资源消费			资源承载力 指数	资源承载力 排序
	建设用地 指数	粮食供应 指数	水资源供应 指数	能源供应 指数	粮食消费 指数	水资源消费 指数	能源消费 指数		
郑州市	0.33	0.20	0.45	0.23	0.01	0.45	0.21	0.065	9
开封市	0.02	0.72	0.67	0.02	0.06	0.67	0.02	0.100	6
洛阳市	0.19	0.37	0.43	0.19	0.05	0.43	0.17	0.069	8
平顶山市	0.23	0.39	0.49	0.15	0.13	0.49	0.06	0.075	7
新乡市	0.29	1.00	0.79	0.08	0.02	0.79	0.08	0.176	2
焦作市	0.12	0.81	1.00	0.16	0.09	1.00	0.16	0.121	4
许昌市	0.02	0.81	0.17	0.05	0.04	0.17	0.04	0.120	5
漯河市	0.00	0.94	0.34	0.03	0.00	0.26	0.03	0.153	3
济源市	1.00	0.36	0.99	1.00	0.21	0.98	0.32	0.224	1

表 5 环境承载力评价结果
Table 5 Result of carrying capacity on environment

城市	环境污染			环境治理			环境承载力 指数	环境承载力 排序
	大气污染 指数	水污染 指数	一般工业固体 废物污染指数	固体废物 治理指数	生活垃圾 治理指数	污水治理 指数		
郑州市	0.00	0.00	0.100	0.38	0.89	0.90	0.35	2
开封市	0.24	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-0.05	9
洛阳市	0.33	0.16	0.65	0.06	0.64	1.00	0.10	6
平顶山市	0.68	0.59	1.00	0.90	0.90	0.78	0.05	8
新乡市	0.27	0.72	0.04	0.94	1.00	0.43	0.24	4
焦作市	0.42	0.41	0.32	0.00	0.94	0.50	0.07	7
许昌市	0.14	0.42	0.07	0.97	0.92	0.96	0.37	1
漯河市	0.00	0.90	0.04	1.00	1.00	0.86	0.34	3
济源市	1.00	0.27	0.85	0.97	1.00	0.92	0.12	5

济源，这几座城市的资源环境承载力在 9 座核心城市中处于中游水平。

从整体上看，中原城市群核心城市的水资源和能源资源比较紧张，但通过外来资源供应，基本上可以满足区域的发展需求；各核心城市的环境情况均不容乐观。评价结果对区域的发展具有指导意义，各区域可根据评价结果反映出的问题进行改进。

3.4.4 中原城市群核心城市外来资源依赖程度分析

为了解中原城市群核心城市对外来资源的依赖程度，本文用外来资源依赖指数对中原城市群 9 座核心城市的外来资源依赖程度进行评价，该指数通过考虑资源流动性的资源供给指数和不考虑流动性的资源供给指数两者之间的差值获得(数据来自

2014 年《河南统计年鉴》和 2013 年《河南水资源公报》)。外来资源依赖指数在[1, 0]区间。数值等于 0 时表明该流动性资源不依赖外部供应；数值在[1, 0)区间说明该流动性资源依赖外部供应，且数值越大表明依赖程度越高。计算结果如图 4 表示。从图 4 可知，郑州、开封、洛阳、平顶山、新乡、许昌和焦作市的水资源依赖外部供应，且开封、新乡、焦作的依赖程度较大，均超过 0.5，焦作的依赖程度最大；开封、新乡、焦作和漯河的能量资源依赖外部供应，且焦作的依赖程度最大；9 座核心城市的粮食资源均可自给自足。由此可知，焦作对外来资源的依赖性最大，9 座核心城市的水资源比较短缺，在较大程度上依赖外来水资源的供应。

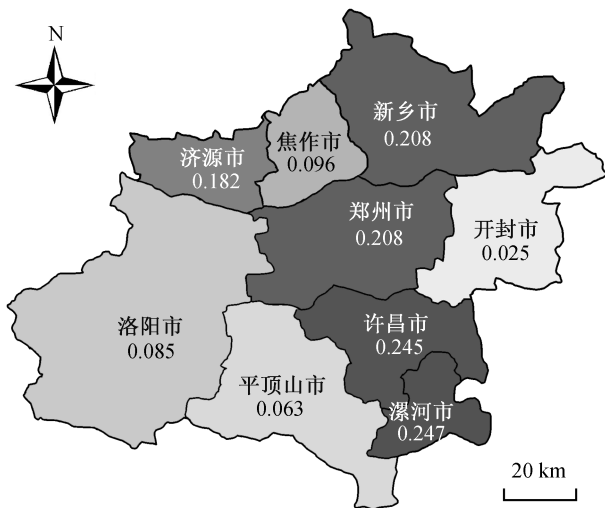


图3 资源环境承载力评价结果
Fig. 3 Result of carrying capacity on resource and environment

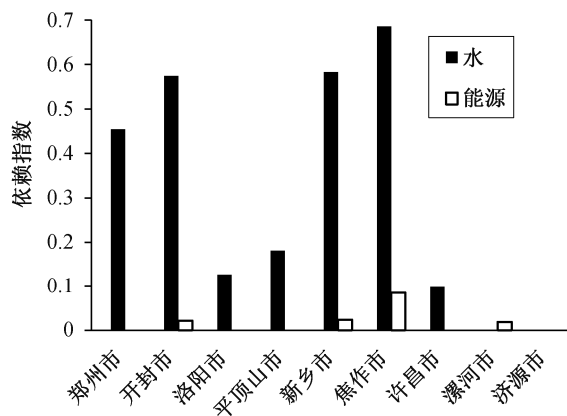


图4 中原城市群地区核心城市外来资源依赖指数
Fig. 4 Reliant exponential to borrowed resources of the core cities of Central Henan urban agglomeration

4 结论与展望

本文对城市群型地区资源环境承载力问题进行分析,并以中原城市群核心城市为例进行研究,提出城市群型地区资源环境承载力评价要在充分考虑资源流动性的前提下进行。另外,本文从资源供给与消费、环境污染与治理的角度,构建中原城市群核心城市的资源环境承载力评价指标体系,并进行实例分析,主要结论如下。

1) 通过对比郑州市 2004—2014 年的十年间考虑与不考虑资源流动性的流动性资源承载力评价结

果,表明只有考虑资源流动性,才能真实地反映城市群型地区资源的真实情况。

2) 中原城市群 9 座核心城市的水资源和能源资源比较紧张,虽然通过外来资源的供应,可以基本满足区域的发展需求,然而各核心城市的环境情况均不容乐观。

3) 9 座核心城市资源环境承载能力从高到低的排列顺序为漯河、许昌、新乡、郑州、济源、焦作、洛阳、平顶山、开封。

4) 从外来资源依赖指数可知,9 座核心城市的粮食资源均可自给自足,其中开封、新乡、焦作和漯河的小部分能源资源需要外部供应,郑州、开封、洛阳、平顶山、新乡、许昌和焦作的水资源需要外部供应。综合来看,水对外来资源的依赖程度大于能源,其中焦作对外来资源的依赖程度最强。

资源流动性是资源环境承载力评价的重点。本文结合当前社会发展情况,对城市群型地区进行研究,考虑到城市群型地区的特点,将其定义为资源输入型地区,所以用资源保有量和资源消耗量中数值较大的数据作为资源供给量,但在其他类型地区(如农业型地区等资源输出型地区)就不能做这种假设。因此,在对其他类型区进行资源环境承载力计算时,要结合区域类型来判断区域资源流动的特点。另一方面,随着社会的发展和科技的进步,资源利用方式和环境治理手段可能会发生变化,因此资源环境承载力的研究也要与时俱进,以期更好地为区域资源、环境与社会经济的协调发展做贡献。

参考文献

- [1] 唐凯,唐承丽,赵婷婷,等. 基于集对分析法的长株潭城市群资源环境承载力评价. 国土资源科技管理, 2012, 29(1): 46-53
- [2] 刘晓丽,方创琳. 城市群资源环境承载力研究进展及展望. 地理科学进展, 2008, 27(5): 35-42
- [3] 杨倩,蒙吉军,王晓东. 基于多维状态空间法的漓江上游生态旅游承载力空间评价及提升策略. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(1): 131-140
- [4] Lane M, Dawes L, Grace P. The essential parameters of a resource-based carrying capacity assessment model: an Australian case study. Ecological Modelling, 2014, 272(1): 220-231
- [5] Dang Xiaohu, Liu Guobin. Emergy measures of carrying capacity and sustainability of a target region for an ecological restoration programme: a case study

- in Loess Hilly Region, China. *Journal of Environmental Management*, 2012, 102: 55–64
- [6] 韩鹏, 李涛. 资源环境承载力综合评价方法研究——以中原经济区为例. *应用基础与工程科学学报*, 2015, 23(S1): 88–101
- [7] 王奎峰. 山东半岛资源环境承载力综合评价与区划[D]. 北京: 中国矿业大学, 2015
- [8] 程广斌, 申立敬. 天山北坡城市群城市综合承载力评价. *中国沙漠*, 2015, 35(5): 1371–1375
- [9] 张小刚, 罗雅. 长株潭城市群资源环境承载力评价及改善措施研究. *中南林业科技大学学报(社会科学版)*, 2015, 9(3): 34–39
- [10] 毕明. 京津冀城市群资源环境承载力评价研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2011
- [11] 郭怀成, 徐云麟, 洪志明, 等. 我国新经济开发区水环境规划研究. *环境科学进展*, 1994(6): 14–22
- [12] 赵克勤. 集对分析及其初步应用. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000
- [13] 倪晋仁, 刘仁志. 突发性泥沙灾害危险性快速区划方法. *应用基础与工程科学学报*, 2004, 12(4): 333–345
- [14] 余丹林, 毛汉英, 高群. 状态空间衡量区域承载状况初探——以环渤海地区为例. *地理研究*, 2003, 22(2): 201–210
- [15] 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. *地理研究*, 2015, 34(1): 39–52
- [16] 王京雪. 北京到底能装下多少人?. *新华每日电讯*, 2010–08–27 013
- [17] 董文, 张新, 池天河. 我国省级主体功能区划的资源环境承载力指标体系与评价方法. *地球信息科学学报*, 2011, 13(2): 177–183
- [18] 孙莉, 吕斌, 周兰兰. 中国城市承载力区域差异研究. *城市发展研究*, 2009, 16(3): 139–143
- [19] 秦成, 王红旗, 田雅楠, 等. 资源环境承载力评价指标研究. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(12): 335–338
- [20] 石忆邵, 尹昌应, 王贺封, 等. 城市综合承载力的研究进展及展望. *地理研究*, 2013, 32(1): 133–145
- [21] 孙莉, 吕斌, 胡军. 中原城市群城市承载力评价研究. *地域研究与开发*, 2008, 27(3): 53–58
- [22] 刘仁志, 汪诚文, 郝吉明, 等. 环境承载力量化模型研究. *应用基础与工程科学学报*, 2009, 17(1): 49–61
- [23] Wei Yigang, Huang Cui, Li Jing, et al. An evaluation model for urban carrying capacity: a case study of China's mega-cities. *Habitat International*, 2016, 53(4): 87–96
- [24] 许亚宣, 赵玉婷, 李小敏, 等. 中原经济区城市资源环境绩效指标体系构建与实证. *环境科学研究*, 2016, 29(6): 925–935
- [25] 郝海, 郑丕谔, 踪家峰. 群组决策中调整判断矩阵的统计平均法. *天津工业大学学报*, 2006, 25(1): 70–73