

面向空间开发利用的土地资源承载力评价技术

贾克敬, 张 辉, 徐小黎, 祁 帆

(中国土地勘测规划院, 北京 100035)

摘 要:开展区域土地资源承载力评价技术研究,对区域经济社会的可持续发展以及党中央提出的“五位一体”发展思路顺利实现具有重要意义。本文从空间开发利用角度出发,综合考虑对土地开发建设影响显著的因子,运用分步式算法测算适宜建设用地规模及分布,确定土地合理开发强度及分布区域,通过分析现状开发状态与合理开发状态之间的差异评价区域承载状况。并以京津冀地区为例开展案例研究,结果表明:现状开发状态与合理开发状态之间的关系能够有效地反映土地资源承载开发利用的状态;同时以承载建设开发行为为明确承载对象,有显著的政策指向,为精细化、差异化制定空间格局优化调控政策提供了可能。本文从面向国土空间开发利用优化应用出发提出的承载力评价路径,可为中国制定和完善承载力评价相关技术规范提供一些新思路。

关键词:承载力;土地资源;空间开发利用;评价技术;京津冀地区

1 引言

随着中国工业化、城镇化的快速推进,有限的国土空间面临着承载规模更大、强度更高的经济与社会活动,人口、资源、环境之间的矛盾和冲突越来越严重。按照人口资源环境相协调、经济社会生态效益相统一的原则,开展区域土地综合承载力评价技术研究,对实现区域社会经济协调稳定发展、促进党的十八大提出的经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态文明建设“五位一体”发展思路的顺利实现具有重要意义。

目前,由于土地资源承载力评估和监测预警的关键技术的缺失,尤其是面向国土空间开发利用格局优化的承载力评估、过程分析和趋势预测等方面的技术不足,以及数据采集、分析和决策支撑平台尚未建立等问题制约了土地资源承载力评价工作的顺利进行,为此,亟需加强土地资源承载力评估和监测预警的基本理论、关键技术和分析决策平台的研究。基于此,本文通过对土地资源承载力评价

领域国内外技术现状、发展趋势进行梳理,分析现有评价方法的优缺点,以期从面向建设开发利用格局优化角度出发,提出一条可行的评价路径,为制定和完善承载力评价相关技术规范提供一些新思路。

2 文献综述与相关概念

2.1 文献综述

土地资源承载力评价国内外已开展大量研究工作,如陈百明(1991)从资源、环境、人口、发展的互相关系出发,探讨了无具体时间尺度的理想承载力;余万军等(2007)使用生态足迹法,计算区域内的人口承载力,并将研究结果与使用农业生态系统所计算出的人口承载力相比较;陈芳森等(2015)基于Costanza的生态系统服务价值计算方法,建立了供给生态服务价值的土地资源承载力评估参数。近年来,各类数学模型也相继应用于人口承载力研究,促使人口承载力研究进一步摆脱静态的分析,

收稿日期:2017-01;修订日期:2017-03。

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

作者简介:贾克敬(1966-),男,研究员,主要从事土地利用规划、国土规划研究,E-mail: jiakejing@mail.cslpi.org.cn。

引用格式:贾克敬,张辉,徐小黎,等. 2017. 面向空间开发利用的土地资源承载力评价技术[J]. 地理科学进展, 36(3): 335-341. [Jia K J, Zhang H, Xu X L, et al. 2017. Evaluation techniques of land resources carrying capacity catering to land development and utilization[J]. Progress in Geography, 36(3): 335-341.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.03.009

走向动态的预测。从已有的研究成果来看,以单一的人口承载力为目标的承载力评价已较为成熟,多目标多角度的土地综合承载力评价已成为热点,但在有关土地综合承载力时空演变规律及影响因素辨识方面尚未形成系统的理论体系。从评价方法研究来看,有关承载力评价技术方法众多,如生态足迹法(William, 1992)、指数评价法(曾维华等, 1998)、主成分分析法(潘东旭等, 2003)、系统动力学方法(黄国勇等, 2003)、状态空间法(许联芳等, 2009)、粒子群优化投影寻踪模型(姜秋香等, 2011)等,但这些方法均以指标定量为基础开展评价,空间评价缺位,无法衡量土地资源承载力限制因素的空间分布差异性,基于定量而不定位的评价方法难以解决资源在空间上的配置不均衡导致的承载力不足问题。

2.2 面向空间开发利用的土地资源概念

承载力概念的发展经历了从自然生态系统的种群承载力、人类生态系统的资源承载力、环境承载力到生态承载力的过程。每一个概念的产生和定义,不仅包含了对前一个阶段含义的拓展,而且也与人类社会发展背景存在着极强的相关关系(徐琳瑜等, 2011)。由于研究基点与目标诉求不同,各类承载力的定义往往不同。土地资源承载力研究实质上是围绕耕地—食物—人口而展开的,它以耕地为基础、食物为中介、人口容量的最终测算为目标。其对特定历史阶段、特定区域中的粮食自给、粮食安全、挖掘耕地潜力以及产业协调发展有重要的意义。但是,这些研究最终都归结为“养活多少人”(乔盛等, 2011),因而也就难以揭示人类活动对于土地资源承载力的影响。故本文拟从国土空间格局优化角度出发,构建面向建设开发利用的土地资源承载力概念,将土地资源的承载对象定义为人类活动影响国土空间格局最直接的开发利用行为,用土地资源承载建设开发行为的能力表征区域土地资源条件对人口集聚、工业化和城镇化发展的支撑能力。据此,将土地资源承载力定义为:在一定空间区域,一定的社会、经济、资源、生态、环境条件约束下,区域土地资源所能支撑的最大国土开发规模和强度。

本文所构建的评价方法就是在这一概念基础上形成,将承载的对象由人口转为开发规模和强度,是对土地承载力相关评估方法的拓展和有益尝

试,可为土地资源承载力评估及空间规划编制提供科学依据。

3 面向空间开发利用的土地资源承载力评价方法探索

3.1 总体思路

综合考虑对土地开发建设影响显著的因子,运用分步式算法测算适宜建设用地规模及分布,确定土地合理开发强度及分布区域,通过分析现有开发状态与合理开发状态之间的差异评价区域承载状况。以建设用地资源配置及政策制度引导为切入点,统筹国土空间合理配置。

3.2 算法与步骤

3.2.1 要素筛选与分级

从粮食安全、生态安全、国土安全三个维度出发,筛选农用地、生态用地、地质灾害、地形限制、水资源约束等显著影响土地建设开发的构成要素,根据影响程度对要素进行评价分级。并根据构成要素对土地建设开发的限制程度,将要素分为强限制因子与较强限制因子两类。

3.2.2 建设开发适宜性评价

运用专家打分等方法,对区域建设开发适宜性的构成要素进行赋值。其中,对属于强限制因子的要素,采用0和1赋值;对属于较强限制因子的要素,按限制等级分类进行0~100赋值。

采用限制系数法计算土地建设开发适宜性。计算公式如下:

$$E = \prod_{j=1}^m F_j \times \sum_{k=1}^n w_k f_k \quad (1)$$

式中: E 为综合适宜性分值; j 为强限制性因子编号; k 为适宜性因子编号; F_j 为第 j 个强限制性因子适宜性分值; f_k 为第 k 个适宜性因子适宜性分值; w_k 为第 k 个适宜性因子的权重; m 为强限制性因子个数; n 为适宜性因子个数。

根据适宜性评价分值结果,通过聚类分析方法将建设开发适宜性划分为适宜、基本适宜、基本不适宜和不适宜四类,其中不受强限制性因子约束、且非强限制性因子分值最高的区域为适宜开发的区域。

3.2.3 现状建设开发程度评价

将自然地理单元开发适宜性评价结果及实际

开发建设单元进行以县域单元为归口的统计,分析现状建设用地适宜、基本适宜建设开发土地之间的空间关系,并计算区域现状建设开发程度。计算公式如下:

$$P = S / (S \cup E) \tag{2}$$

式中: P 为区域现状建设开发程度, S 为区域现状建设用地面积, E 为土地建设开发适宜性评价中的适宜、基本适宜区域, $S \cup E$ 为二者空间的并集。

3.2.4 基于主体功能定位及聚集度分析确定开发程度阈值

依据主体功能区规划中各评价单元的主体功能定位,采用专家打分法将优化开发区域、重点开发区域、农产品主产区、重点生态功能区的开发程度基准阈值分别确定为90%、80%、70%和60%。

并根据区域建设开发综合适宜性评价结果,对适宜空间进行聚集度分析,得出各评价单元的适宜空间聚集度指数。其中,聚集度分析采用栅格数据邻域统计的方法,将适宜及基本适宜区域视为适宜空间并记为1,基本不适宜和不适宜区域记为0,计算每个分值为1的栅格相邻栅格值的和,其算术平均数即为适宜空间聚集度指数。将各评价单元分为离散型(聚集度指数位于0~3)、一般聚集性(聚集度指数位于3~6)与高度聚集型(聚集度指数位于6~9)三类。针对这三类评价单元,采用专家打分法确定各类评价单元开发程度阈值修正值。

3.2.5 土地资源压力指数评价

对比分析现状建设开发程度与适宜建设开发程度阈值,通过二者的偏离度计算确定土地资源压力指数。计算公式如下:

$$D = (P - T) / T \tag{3}$$

式中: D 为土地资源压力指数, P 为现状建设开发程度, T 为基于聚集度分析测算的适宜建设开发程度阈值。

3.3 土地资源承载状态评价

根据土地资源压力指数,将土地资源评价结果划分为土地资源压力大、压力中等和压力小三种类型。土地资源压力指数越小,即现状建设开发程度与适宜建设开发程度的偏离度越低,表明目前建设开发格局与土地资源条件趋于协调。试点经验表明,当 $D \geq 0$ 时,土地资源压力大,处于超载状态;当 D 介于-0.3~0时,土地资源压力中等,处于临界超载;当 $D < -0.3$ 时,土地资源压力小,处于可载。土地资源压力指数的划分标准可结合各类主体功能区对国土开发强度的管控要求进行差异化设置。

4 京津冀地区案例研究

4.1 土地资源承载力结果分析

4.1.1 建设开发适宜性

筛选优质耕地、天然牧草地、采空塌陷、重要湿地、生态红线、地震断裂带、突发地质灾害、坡度限制、水资源约束等因子为影响京津冀地区土地建设开发的构成要素,并根据影响程度对要素进行评价分级。结合京津冀地区实际情况,强限制因子包括:最优质耕地(5~8等级耕地)、天然牧草地、采空塌陷区、生态红线、重要湿地等因素;较强限制因子包括:地震活动及地震断裂带、农用地、坡度限制、水资源约束、突发地质灾害等因素。运用专家打分等方法,对区域建设开发适宜性的构成要素进行赋值分值(表1)。

从限制系数法计算结果来看,京津冀地区适宜

表1 建设开发适宜性评价的要素构成与分类赋值表
Tab.1 Construction suitability evaluation factors and classification

因子类型	因子	分类	适宜性分值
强限制性因子	最优质耕地	5~8 等级耕地	0
		其他	1
	天然牧草地	天然牧草地	0
		其他	1
	采空塌陷区	严重区	0
		非严重区	1
	生态红线	生态红线区	0
		其他	1
	重要湿地	现状湿地	0
		其他	1
较强限制性因子	地震活动及地震断裂带	地震设防区	40
		其他	100
	农用地	耕地 9~11 级	60
		耕地 12~15 级、园地、林地、人工草地	80
		其他	100
		坡度限制	15°以上
	8~15°		60
	2~8°		80
	0~2°		100
	水资源约束	极严重	40
		严重	60
		一般	80
		其他	100
	突发地质灾害	高易发区	40
中易发区		60	
低易发区		80	
无地质灾害风险		100	

建设的空间十分有限。经统计,京津冀中超过71%的空间不适宜建设或基本不适宜建设。适宜开发空间相对集中分布在唐山、廊坊、天津和沧州,四个城市的适宜开发建设面积接近整个区域适宜开发量的46.73%(图1)。

4.1.2 现状建设开发程度

将已建成的空间与适宜建设空间进行比较,京津冀地区整体开发程度约为30%,发展空间充足,但局部地区开发程度接近饱和(图2)。

4.1.3 开发程度阈值及集聚度

根据京津冀适宜空间聚集度分析结果,该地区整体适宜空间聚集指数为5.62,为一般聚集型。除承德无高聚集型地区外,各地均有分布,且空间上多以围绕各地市辖区范围分布为主(图3)。

结合主体功能定位的基准阈值,适宜空间高度聚集型与离散型地区阈值分别上浮10%与下调10%,一般聚集型地区保持基准阈值不变(图4)。

4.1.4 土地资源承载状态

对比各评价单元现状开发建设程度与开发程度阈值,并进行压力指数计算,将压力指数 ≥ 0 判别

为超载,介于0~-0.3判别为临界超载, < -0.3 判别为不超载。根据判别标准,京津冀地区从县级单元层面看,有东城区、和平区、井陉县等20个县域超载,临界超载的有朝阳区、河东区、定兴县等41个区县(图5)。

4.2 土地资源承载力成因分析

将超载区域按照适宜性评价过程中评价因子限制区域比例进行排序,分析导致超载的主要因素,具体情况如下:

北京市的东城区、西城区,天津市的和平区、河西区、南开区、红桥区 and 河北省邯郸市的丛台区因现状开发建设用地接近极限,无开发潜力导致超载。

北京市门头沟区、天津市宁河县、河北省张北县、武安市因现状开发程度与重点生态功能区定位不匹配导致超载。

河北省的井陉县、涉县、康保县、沽源县、新河县大部分区域位于生态保护红线内,开发潜力低导致超载。

河北省安新县因区域内存有现状湿地、大面积宜湿地修复区及优质耕地限制开发导致超载。

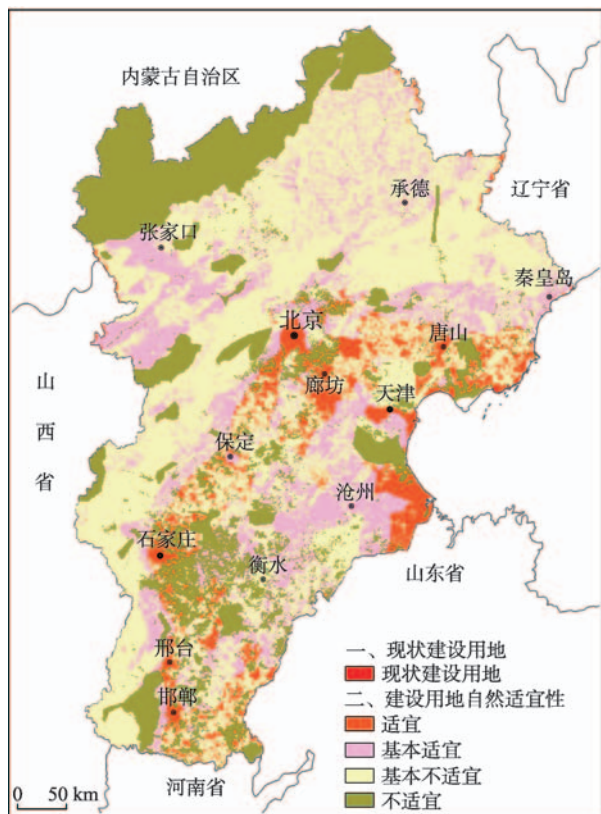


图1 京津冀地区自然适宜性评价图

Fig.1 Natural condition suitability evaluation result for the Beijing-Tianjin-Hebei region

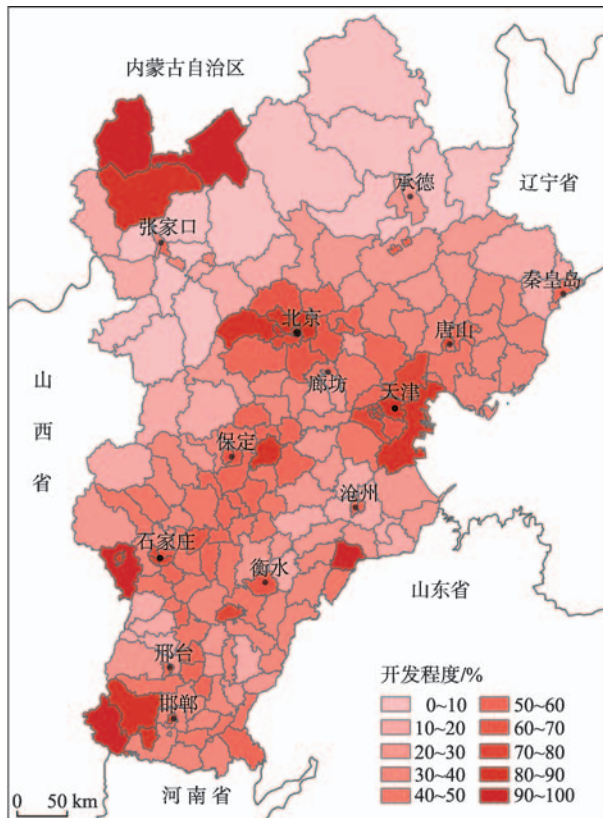


图2 京津冀地区现状建设开发程度分布图

Fig.2 Current construction development level in the Beijing-Tianjin-Hebei region

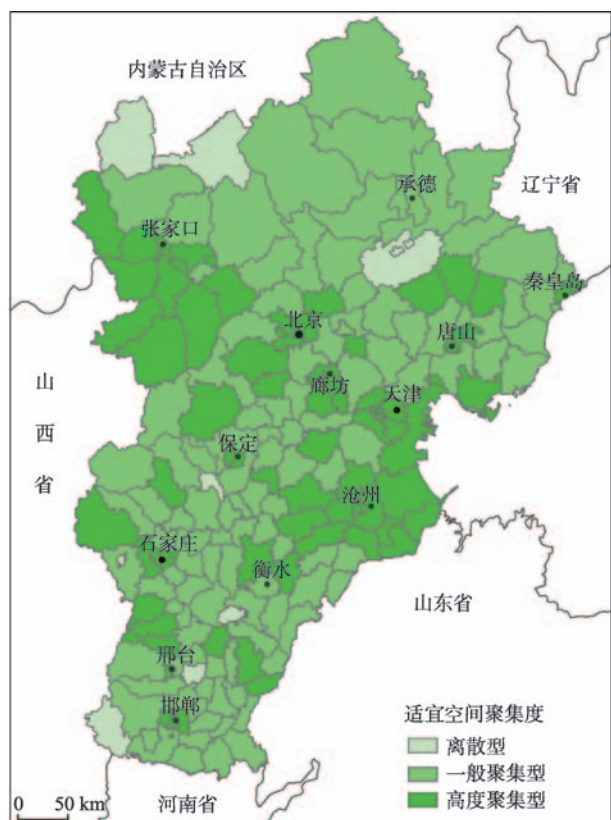


图3 京津冀地区适宜空间聚集度类型分布图

Fig.3 Suitable area spatial aggregation types in the Beijing-Tianjin-Hebei region

河北省井陘矿区与峰峰矿区因区域内突发地质灾害高发易导致对建设开发限制性较强、可开发潜力低导致超载。

沧州市东光县处于水资源约束极严重区,且优质耕地集中连片,导致超载。

4.3 政策建议

4.3.1 积极培育京津冀东南部地区经济增长点,提高东南部建设开发潜力

在京津冀区域核心城市北京和主要港口城市天津的联合带动下,廊坊和唐山具有较高的经济发展潜力,是未来城市发展和基础设施建设相对适宜的地区。保定和邢台受北京、天津和石家庄经济发展的辐射影响,具有一定的建设开发潜力,未来最有可能成为京津唐地区以外新的城市经济增长点。秦皇岛、沧州、衡水由于经济发展水平低、人口密度小、基础设施相对薄弱,在一定程度上制约了未来城市发展。建议加大京津冀东南部区域基础设施投入力度,积极培育新的经济增长点,提高区域建设开发潜力,以缓解首都周边地区的城市发展压力,促进区域协调发展。

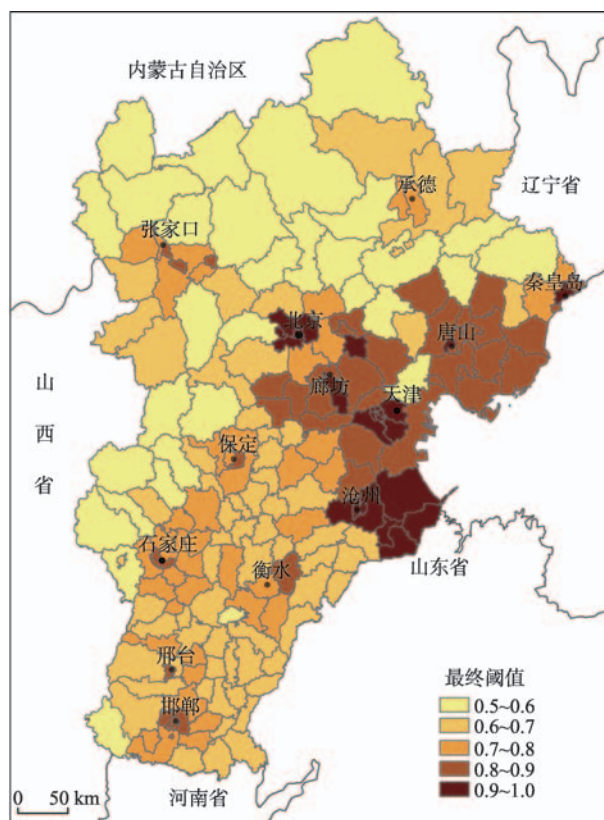


图4 京津冀地区开发程度阈值分布图

Fig.4 Development level threshold in the Beijing-Tianjin-Hebei region

4.3.2 京津冀区域存在多种资源环境问题,应加强防范和修复

石家庄、秦皇岛、邯郸、保定4个城市有超过1/5的土地面积处于突发地质灾害高易发区,未来应加强对滑坡、泥石流等突发地质灾害防范;衡水、沧州地下水严重超载区域面积超过30%,廊坊、邯郸、石家庄等地严重超采区域面积较大,未来应严格控制这些地区的地下水开采,限制人口和用地在超采区进一步集聚扩张;廊坊、沧州、邢台、衡水等地有较为明显的地裂缝,在基础设施、城市建设时应注意防范;沧州等地地面沉降有加剧趋势,应尽快采取工程措施加以防范和修复。

4.3.3 特大城市应控制建设用地规模,加大节约集约用地力度

分析表明,京津冀区域未来适宜建设面积仅占区域总面积的7.1%,且在空间分布上较为零散。北京、天津等大城市土地资源已经临界超载。要进一步控制建设用地总规模,加大北京、天津等城市用地内涵挖潜,进一步优化建设用地结构和布局,避免土地资源进一步过载。

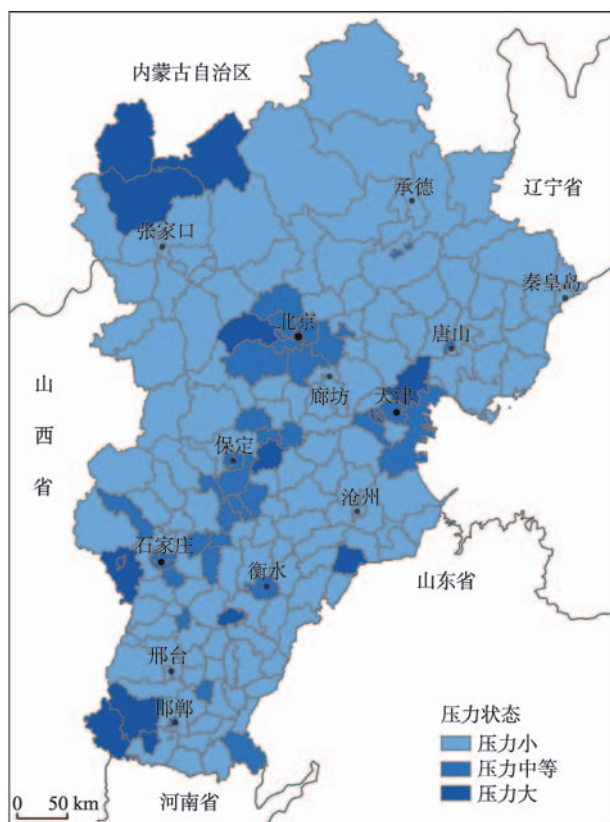


图5 京津冀地区土地资源承载状态类型分布图

Fig.5 Land resources carrying status types in the Beijing-Tianjin-Hebei region

5 结论与讨论

通过综合考虑对土地开发建设影响显著的强限制性和较强限制性因子,运用分步式算法测算适宜建设用地规模及分布,计算区域现状建设开发程度与开发程度阈值的偏离度 D 。按照 $D > 0$, $-0.3 < D < 0$, $D < -0.3$,将土地资源评价结果划分为土地资源超载、临界超载和可载3种类型。上述评价方法不同于其他基于定量的分析评价之处为:以空间评价为对象,评价结果以行政区为单位进行汇总分析;以承载建设开发行为为明确承载对象,具有显著的政策指向,同时引入空间分析的评价过程,也为精细化、差异化制定空间格局优化调控政策提供了可能,实现以建设用地资源配置及政策制度引导为切入点,统筹国土空间合理配置的目的。

本文在不同评价单元的开发程度阈值确定过程中,主要参考主体功能定位和适宜建设空间的聚集程度,以专家打分的方式予以确定,该方法虽对评价单元的本底情况和发展定位有所考虑,但从阈

值的内涵来看,还应考虑评价单元所处的发展阶段。同时,本文中基于建设开发利用是最直接的开发利用行为,仅对建设开发利用行为作出了分析与评价。但根据土地资源承载力的概念定义,对土地资源进行的耕种等其他开发利用行为,也应纳入土地资源承载力评价的范畴统筹考虑。有关开发程度阈值确定方法的完善及农业开发利用行为的具体评价方法,有待于在今后的工作中有待进一步深入研究。

参考文献(References)

- 陈百明. 1991. “中国土地资源生产能力及人口承载力”项目研究方法论概述[J]. 自然资源学报, 6(3): 197-205. [Chen B M. 1991. An outline of the research method of the project "the productivity and population carrying capacity of the land resource in China"[J]. Journal of Natural Resources, 6 (3): 197-205.]
- 陈芳森, 田亦陈, 袁超, 等. 2015. 基于供给生态服务价值的云南土地资源承载力评估方法研究[J]. 中国生态农业学报, 23(12): 1605-1613. [Chen F M, Tian Y C, Yuan C, et al. 2015. Methods of land carrying capacity research based on ecological services supply value in Yunnan[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 23(12): 1605-1613.]
- 黄国勇, 陈兴鹏. 2003. 甘南藏族自治州土地承载力的系统动力学分析[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 39(4): 75-79. [Huang G Y, Chen X P. 2003. System dynamics analysis of land bearing capacity in Gannan Tibetan Autonomous Prefecture, Gansu Province[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 39(4): 75-79.]
- 姜秋香, 付强, 王子龙. 2011. 基于粒子群优化投影寻踪模型的区域土地资源承载力综合评价[J]. 农业工程学报, 27(11): 319-324. [Jiang Q X, Fu Q, Wang Z L. 2011. Comprehensive evaluation of regional land resources carrying capacity based on projection pursuit model optimized by particle swarm optimization[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 27(11): 319-324.]
- 潘东旭, 冯本超. 2003. 徐州市区域承载力实证研究[J]. 中国矿业大学学报, 32(5): 596-600. [Pan D X, Feng B C. 2003. Research on regional carrying capacity in Xuzhou [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 32(5): 596-600.]
- 乔盛, 白宏涛, 张稚妍, 等. 2011. 生态导向的城市发展土地资源承载力评价研究[J]. 生态经济, (7): 33-37. [Qiao S, Bai H T, Zhang Z Y, et al. 2011. Evaluation on land carry-

- ing capacity of urban development integrated with ecological issues[J]. *Ecological Economy*, (7): 33-37.]
- 徐琳瑜, 杨志峰. 2011. 城市生态系统承载力[M]. 北京: 北京师范大学出版社. [Xu L Y, Yang Z F. 2011. Urban ecological carrying capacity[M]. Beijing, China: Beijing Normal University Publishing Group.]
- 许联芳, 谭勇. 2009. 长株潭城市群“两型社会”试验区土地承载力评价[J]. *经济地理*, 29(1): 69-73. [Xu L F, Tan Y. 2009. Study on the land carrying capacity of resource-saving and environment-friendly development experimental area in Changzhutan megalopolis[J]. *Economic Geography*, 29(1): 69-73.]
- 余万军, 吴次芳. 2007. 基于生态足迹和农业生态区域法的土地人口承载力比较研究: 以贵阳市为例[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 33(4): 466-472. [Yu W J, Wu C F. 2007. Comparative study on land bearing capacity based on ecological footprint and agro-ecological zone model stake Guiyang as an instance[J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences*, 33(4): 466-472.]
- 曾维华, 王华东, 薛纪渝, 等. 1998. 环境承载力理论及其在湄州湾污染控制规划中的应用[J]. *中国环境科学*, 18(增刊): 71-74. [Zeng W H, Wang H D, Xue J Y, et al. 1998. Theory of environment carrying capacity and it's application of environmental planning on Meizhou Bay[J]. *China Environmental Science*, 18(SI): 71-74.]
- William E R. 1992. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. *Environment and Urbanization*, 4(2): 121-130.

Evaluation techniques of land resources carrying capacity catering to land development and utilization

JIA Kejing, ZHANG Hui, XU Xiaoli, QI Fan

(China Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100035, China)

Abstract: Carrying out research on evaluation techniques of regional land resources carrying capacity is of great significance for the smooth implementation of national strategic objectives. From the perspective of land development and utilization, this article comprehensively considers the factors that have marked impact on land development and construction. First it estimates the scale and distribution of construction land by distributed algorithm, and then it determines the reasonable intensity of land exploitation and its spatial distribution. Finally, it evaluates the regional carrying status through the analysis of the present development state and reasonable development state. In a case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region, the results show that the relationship between the present situation of development and the reasonable development state can effectively reflect the state of land development and utilization with regard to the carrying capacity. Using construction development activities as the evaluation focus has important policy implications because it enables refined and differentiated spatial structure optimization regulation policy making.

Key words: carrying capacity; land resources; land development and utilization; evaluation technique; Beijing-Tianjin-Hebei region