

基于 TOPSIS 模型的京津冀城市群土地综合承载力评价

孙 钰^{1,2} 李新刚¹ 姚晓东³

(1. 天津大学 管理与经济学部, 天津 300072 ;2. 天津商业大学 公共管理学院, 天津 300134 3. 天津经济发展研究所 天津 300202)

摘要: 城市群土地综合承载力反映了区域核心竞争力的大小和经济、科技与文化发展水平的高低,并成为支撑城市人口及经济社会活动可持续发展的重要条件。京津冀城市群在环渤海区域经济发展中起到示范和引领作用,构建科学的土地综合承载力评价体系并提出提升综合承载力的建设性措施是非常有意义的。本文利用 TOPSIS 法,针对局部变权 TOPSIS 模型进行计算,分析了京津冀城市群土地综合承载力空间差异和不平衡性,给出了京津冀城市群 10 个城市辖区的土地综合承载力排序和“短板子承载力”,并针对 10 个城市各自特点,分别给出提升其综合承载力水平的差异性发展策略。

关键词: 京津冀城市群; 土地综合承载力; TOPSIS 模型; “短板子承载力”

中图分类号:F127 文献标识码:A 文章编号:1005-1007(2012)11-0071-10

随着城市人口的不断增加,土地资源已不能满足经济社会发展的需要,人口集聚增加与土地资源短缺之间的矛盾愈加突出,土地承载力将成为城市化发展的重要条件。《国民经济和社会发展规划第十二个五年规划纲要》明确提出“坚持以人为本,提高城市建成区人口密度,调整优化建设用地结构,增强城镇综合承载力”的目标要求。京津冀城市群土地资源利用强度偏高,承载能力减弱,这一趋势如不加遏制将制约城市化发展。因此,进行土地综合承载力的科学客观的评价,进而有针对性地提出策略是非常必要的。

一、当前文献研究之不足及其弥补构想

通过查阅研究文献得知,有学者^[1]设计了一套适合我国东部沿海地区土地综合承载力的理论构架,为土地综合承载力研究提供了重要的借鉴。有的文献^[2-5]分别构建了合理的土地综合承载力评价模型,其一级指标、二级指标的选取与前者研究^[1]具有共性。有的研究者^[6]还针对北京市的特点,构建了综合评价指标体系,在指标选取上与上述文献存在某些差异。从评价方法看,

收稿日期:2012-05-18

基金项目:教育部人文社科基金资助项目(10YJA790167)。

作者简介:孙钰,女,天津大学管理与经济学部博士生导师,天津商业大学公共管理学院院长,教授,主要从事城市土地资源优化利用和城市公共设施运营机制研究;李新刚,男,天津大学管理与经济学部博士研究生,主要从事城市土地综合承载力研究;姚晓东,男,天津经济发展研究所高级经济师,主要从事城市经济与金融管理研究。

文献[2]采用均方差决策法求权重,进而对土地承载力进行综合评价;文献[2]则采用主成分分析法,通过主成分方差贡献率所占比重求出权重,并结合 TOPSIS 法对土地利用与区域发展的协调性进行评价;文献[3]采用粒子群优化投影寻踪模型对土地资源承载力进行综合评价;文献[4]采用主成分分析、聚类分析来对土地综合承载力进行评价;文献[5]采用层次分析法、德尔菲法求权重,进而对土地综合承载力进行评价;文献[6]采用均方差决策法、变异系数法分别求权重,然后对土地综合承载力进行对比分析。

上述文献中构建的城市土地综合承载力评价指标体系考虑了城市土地的“客观”承载力,但没有纳入城市土地的“虚拟”承载力,例如文献[7]指出,城市综合承载力除了包括硬件承载力以外,还包括科技、文化、制度、政策、管理、学习、开放等在内的软件承载力;文献[8]指出,应注重科技进步、文化管理等“虚拟”承载力的研究,但以往研究均没有达到“虚拟承载力”研究深化的要求。

为弥补当前研究的不足,本文首次将“虚拟”承载力纳入到城市土地综合承载力评价指标体系中并对“虚拟”承载力进行量化,将“虚拟”承载力界定为科技文化承载力,将其视为城市土地综合承载力系统的“催化剂”。第一,为了使城市土地综合承载力系统整体优势得以充分发挥,应对系统内优质子承载力进行激励,并且不能使其中任何一个较弱子承载力成为系统的“短板”。第二,目前的常数静态评价不能充分反映系统的整体性、动态性要求^[9-12],故此本文将运用局部变权理论来确定城市土地综合承载力系统子承载力的权重并验证该理论的可行性。

二、基于 TOPSIS 模型的京津冀城市群土地综合承载力评价体系

由于在城市土地综合承载力研究方面存在诸多不足,为了使评价更加客观、真实和具可操作性,我们采用局部变权法来确定各个子承载力相对于不同城市的权重,运用各个城市子承载力的变权重与 TOPSIS 法相结合(即文中将其定义

为局部变权 TOPSIS 模型)来对京津冀城市群土地综合承载力进行评价。

(一)局部变权 TOPSIS 模型构建

1. 变权重测算方法

李洪兴^[17,18]基于因素空间理论构建了变权综合原理的公理化体系,并提供了局部变权的公理体系;借鉴该理论与方法,在构建指标体系时既注重城市土地综合承载力系统整体优势,又对城市土地优质子系统承载力进行激励。本文将局部变权理论^[12]中的定义 1—3 及定理做如下引述:

定义 1^[17]: 若 $\forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$, 称 $W^0 = (\omega_1^0, \omega_2^0, \dots, \omega_m^0) \in (0, 1]^m$ 为一个 m 维常权向量,且满足 $\sum_{j=1}^m \omega_j^0 = 1$ 。

定义 2^[12]: 给定映射 $W: [0, 1]^m \rightarrow (0, 1]^m$, 称向量 $W(X) = (\omega_1(X), \omega_2(X), \dots, \omega_m(X))$ 为一个 m 维局部变权向量,若满足条件:

(1) 归一性: $\sum_{j=1}^m \omega_j(X) = 1$ 。

(2) 对 $\forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$, 存在 $0 \leq \alpha_j \leq \beta_j \leq 1$, 使得 $\omega_j(X)$ 关于 x_j 在 $[0, \alpha_j]$ 内单调递减, 在 $[\beta_j, 1]$ 内单调递增。

定义 3^[12]: 给定映射 $S: [0, 1]^m \rightarrow (0, \infty)^m$, 称向量 $S(X) = (S_1(X), S_2(X), \dots, S_m(X))$ 为一个 m 维局部状态变权向量,若对 $\forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$, 存在 $0 < \alpha_j \leq \beta_j < 1$, 满足条件:

(3) 对任一常权向量 $W^0 = (\omega_1^0, \omega_2^0, \dots, \omega_m^0)$, $\omega_j(X) = \omega_j^0 S_j(X) / \sum_{p=1}^m \omega_p^0 S_p(X)$ 关于 x_j 在 $[0, \alpha_j]$ 内单调递减, 在 $[\beta_j, 1]$ 内单调递增。这说明了局部变权向量与局部状态变权向量的内在联系。

(4) 当 $0 \leq x_p \leq x_q \leq \alpha_p \wedge \alpha_q$ 时, $S_p(X) \geq S_q(X)$; 当 $\beta_p \vee \beta_q \leq x_p \leq x_q \leq 1$ 时, $S_p(X) \leq S_q(X)$ 。这说明了在一定条件下,不同因素状态值与其权值成反变、正变关系。

定理[12]给定映射 $S: [0, 1]^m \rightarrow (0, +\infty)^m$, $S(X) = (S_1(X), S_2(X), \dots, S_m(X))$, 对任一常权向量 $W^0 = (\omega_1^0, \omega_2^0, \dots, \omega_m^0)$, 若 $S(X)$ 满足条件 c , 则 $W(C)$ 为一局部变权向量,如公式(1)所示。

$$W(X) = W^0 S(X) / \sum_{p=1}^m \omega_p^0 S_p(X) = [\omega_1^0 S_1(X) / \sum_{p=1}^m \omega_p^0 S_p(X), \omega_2^0 S_2(X) / \sum_{p=1}^m \omega_p^0 S_p(X), \dots, \omega_m^0 S_m(X) / \sum_{p=1}^m \omega_p^0 S_p(X)] \quad (1)$$

基于文献[17-18]中均衡函数的构造、均衡函数与状态变权向量之间关系及文献[19]状态变权向量的构造和文献[12]局部状态变权向量(即1中定义1-3和定理),考虑到京津冀城市群土地综合承载力研究的可操作性,采用分段函数^[11]给出了较为合理的城市子承载力的状态变权向量 $S_j(X), j=1, 2, \dots, 6$, 如公式(2)所示。

$$S_j(X) = \begin{cases} \frac{1-c}{a^2}(x_j-a)^2+c, & x_j \in [0, a] \\ c, & x_j \in (a, b] \\ \frac{1-c}{(1-b)^2}(x_j-b)^2+c, & x_j \in (b, 1] \end{cases} \quad (2)$$

其中, a 为惩罚水平, b 为激励水平, c 为不惩罚不激励区间状态变权值, 且 $a, b, c \in [0, 1]$, 如图1实线所示, 下文将给出具体的向量函数, 进而通过公式1^[12]测算出不同城市的各子承载力的变权重。

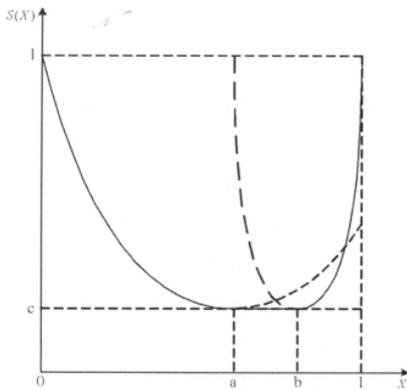


图1 局部状态变权向量分段函数

2. 局部变权 TOPSIS 模型

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 法, 是对理想解接近度的排序方法^[20]。借鉴文献[14, 15], 我们构建的局部变权 TOPSIS 模型计算步骤如下:

(1) 城市土地综合承载力评价指标数据的规范化处理。文中的评价指标分为两类: 一类是效益型指标, 即指标值越大越好的指标; 一类是成本型指标, 即指标值越小越好。设有 p 个城市的 q 个评价指标构成的原始指标矩阵为: $Z = (z_{ij})_{p \times q}, i=1, 2, \dots, p, j=1, 2, \dots, q$, 由于评价指标类型和量纲的不同, 对原始指标数据进行规范化处理, 公式^[15]如下:

效益型指标:

$$a_{ij} = (z_{ij} - \min_{1 \leq i \leq p} z_{ij}) / (\max_{1 \leq i \leq p} z_{ij} - \min_{1 \leq i \leq p} z_{ij}) \quad (3)$$

成本型指标:

$$a_{ij} = (\min_{1 \leq i \leq p} z_{ij} - z_{ij}) / (\max_{1 \leq i \leq p} z_{ij} - \min_{1 \leq i \leq p} z_{ij}) \quad (4)$$

(2) 子承载力客观变权重的测算及加权规范矩阵的构建。首先, 由均方差决策法^[1]计算出准则层指标(即下文中6个子承载力)及各子承载力相应指标的层次单排序常权向量 W^0 , 由于该方法比较成熟, 计算步骤在此就不再赘述; 其次, 由指标层指标标准值加权求和得到 p 个城市子承载力的状态值 $B = (b_{ij})_{p \times n}, i=1, 2, \dots, p, j=1, 2, \dots, n$; 根据(1)中的测算方法, 由公式1^[12]计算出 p 个城市 n 个子承载力的客观变权重, 即 $W_i(X) = (\omega_{i1}(X), \omega_{i2}(X), \dots, \omega_{in}(X)), i=1, 2, \dots, p$; 最后, 将 p 个城市子承载力的变权重与相应的状态值加权, 构成规范加权矩阵 $R = (r_{ij})_{p \times n}, i=1, 2, \dots, p, j=1, 2, \dots, n$, 其中, $r_{ij} = W_i(X) \times b_{ij}, i=1, 2, \dots, p, j=1, 2, \dots, n$ 。

(3) 确定 p 个城市的最优指标值 r_j^+ 、最劣指标值 r_j^- ; 以及计算 p 个城市到最优指标值 r_j^+ 的距离 V_i^+ 、到 r_j^- 的最劣指标值距离 V_i^- , 其公式^[14]为:

$$r_j^+ = \max_{1 \leq i \leq p} \{r_{ij}\}, j=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$r_j^- = \min_{1 \leq i \leq p} \{r_{ij}\}, j=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$V_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2}, i=1, 2, \dots, p \quad (7)$$

$$V_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2}, i=1, 2, \dots, p \quad (8)$$

(4) 计算 p 个城市与最优指标值的相对贴近度 U_i , 其公式^[14]为:

$$U_i = \frac{V_i^-}{V_i^+ + V_i^-}, i=1, 2, \dots, p \quad (9)$$

若 U_i 越大, 则表明该城市的土地综合承载力水平与最优水平的贴近度越高; 若 U_i 越小, 则表明该城市的土地综合承载力水平与最优水平的贴近度越低。

(二) 京津冀城市群土地综合承载力评价指标体系构建

在借鉴前人研究成果^[1-7, 9, 21-24]的基础上, 我们对城市土地综合承载力系统进行了深化和完善, 将城市土地综合承载力看成由“客观承载力”和“虚拟承载力”两大部分构成。其中, 前者包括资源承载力、环境承载力、经济承载力、社会承载力、交通承载力五个部分, 是客观现实中存在的城市土地支撑力; “虚拟承载力”主要以科技文化承载力为代表, 它能对城市土地支撑力起到助推作用。对于准则层中各个承载力评价指标的拟定, 根据频度统计法选取文献中出现频率颇高的评价指标, 结合京津冀城市群的区位优势特点, 选取针对京津冀城市群土地可持续发展较强的评价指标, 同时考虑到选取兼拟定指标数据的可获得性, 选取统计年鉴中有可靠数据来源的评价指标。评价指标及指标计算公式如下:

资源承载力 (I_1) 包括: 城市建设用地率 (I_{11}) = 市辖区城市建设用地面积/市辖区土地面积; 城市建设用地利用率 (I_{12}) = 市辖区建成区面积/市辖区城市建设用地面积; 人均城市建设用地 (I_{13}) = 市辖区城市建设用地面积/市辖区总人口; 人均供水量 (I_{14}) = 市辖区供水总量/市辖区土地面积; 人均居民生活用水量 (I_{15}) = 市辖区生活用水总量/市辖区总人口。

环境承载力 (I_2) 包括: 建成区绿化覆盖率 (I_{21}) = 统计数据(市辖区); 人均公共绿地面积 (I_{22}) = 统计数据(市辖区); 人均工业废水排放量 (I_{23}) = 全市工业废水排放总量/全市土地面

积; 人均三废综合利用产品产值 (I_{24}) = 全市三废综合利用产品产值/全市土地面积; 生活垃圾无害化处理率 (I_{25}) = 统计数据(全市); 生活污水处理率 (I_{26}) = 统计数据(全市)。

经济承载力 (I_3) 包括: 人均 GDP (I_{31}) = 统计数据(市辖区); 人均 GDP (I_{32}) = 市辖区地区生产总值/市辖区土地面积; GDP 增长率 (I_{33}) = 统计数据(市辖区); 人均工业总产值 (I_{34}) = 市辖区工业总产值/市辖区土地面积; 人均第二三产业增加值 (I_{35}) = (市辖区第二产业增加值 + 市辖区第三产业增加值)/市辖区土地面积。

社会承载力 (I_4) 包括: 市辖区人均人口数 (I_{41}) = 市辖区总人口/市辖区土地面积; 市辖区人口自然增长率 (I_{42}) = 统计数据(市辖区); 市辖区职工平均工资 (I_{43}) = 统计数据(市辖区); 人均失业人口 (I_{44}) = 市辖区失业人口/市辖区土地面积; 医院床位万人平均拥有量 (I_{45}) = 市辖区医院床位数/市辖区总人口。

交通承载力 (I_5) 包括: 市辖区土地道路面积率 (I_{51}) = 市辖区城市道路面积/市辖区土地面积; 人均城市道路面积 (I_{52}) = 统计数据(市辖区); 公共汽车万人拥有量 (I_{53}) = 统计数据(市辖区); 人均客运量 (I_{54}) = 全市客运总量/全市土地面积; 人均货运量 (I_{55}) = 全市货运总量/全市土地面积。

科技文化承载力 (I_6) 包括: 科技教育支出占 GDP 比率 I_{61} = 市辖区(科技支出 + 教育支出)/市辖区地区生产总值; 从事科技文化教育活动的从业人员数 (I_{62}) = 市辖区(科技人员数 + 文化人员数 + 教育人员数); 市辖区公共图书馆总藏书量 (I_{63}) = 统计数据(市辖区); 市辖区公共图书馆人均藏书量 (I_{64}) = 统计数据(市辖区)/100; 市辖区新技术产业化能力 (I_{65}) = 统计数据(市辖区)。

这 31 个评价指标中, 除 I_{12} 、 I_{23} 、 I_{41} 、 I_{42} 、 I_{44} 、 I_{53} 这 6 个指标为成本型指标外, 其余指标均为效益型指标。

三、基于 TOPSIS 模型的京津冀城市群土地综合承载力研究

(一) 京津冀城市群概况及指标原始数据的

获取

京津冀城市群地区社会和谐,经济发达,人口密度大,资源环境和交通压力巨大,包涵了直辖市、省会城市、地级市等不同类型的城市,对其土地综合承载力进行评价能够为制定我国城市土地开发措施具有示范作用^[21]。本文选取北京、天津、石家庄、廊坊、唐山、秦皇岛、保定、张家口、承德、沧州 10 个城市辖区,并进行土地综合承载力评价。直接可得的本样本指标原始数据来源于 2010 中国城市统计年鉴^[23],间接可得的本样本指标原始数据基于该统计年鉴及 2010 中国城市年

鉴^[24]进行简单的数学运算得到。其中,对于无市辖区统计数据的指标: I_{25} 、 I_{26} 用全市统计数据近似替代, I_{23} 、 I_{24} 、 I_{54} 、 I_{55} 用全市统计数据的数学计算值近似替代;由于年鉴中无科技、文化从业人员的切实数值,故 I_{62} 用科学研究技术服务和地质勘探业、文化体育和娱乐业及教育从业人员数的数学计算值近似替代。由于 2010 中国城市年鉴中没有张家口、承德这两个城市的新技术产业化能力测评值,且本文无法对其进行测算,故在接下来的计算中将不包括新技术产业化能力这个评价指标。样本指标原始数据如表 1 所示。

表 1 京津冀城市群土地综合承载力评价指标原始数据

指标(单位)/城市	北京	天津	石家庄	廊坊	唐山	秦皇岛	保定	张家口	承德	沧州
I_{11} (%)	11.08	8.95	44.30	20.21	18.13	25.07	41.99	22.34	6.58	21.86
I_{12} (%)	100.00	100.00	99.50	100.00	100.45	97.80	100.00	97.62	172.00	110.00
I_{13} (km ² /万人)	1.149 3	0.824 5	0.832 0	0.728 1	0.726 4	1.101 3	1.232 9	0.937 0	0.917 3	0.750 6
I_{14} (万 t/km ²)	12.457 1	9.479 4	53.405 7	13.534 2	22.448 8	28.104 7	27.477 6	24.853 7	7.550	24.623 0
I_{15} (吨/人)	50.189 4	26.026 9	30.995 1	22.683 0	34.469 1	34.999 4	31.425 9	25.231 5	39.460 6	27.772 6
I_{21} (%)	47.68	30.31	41.53	46.24	45.00	45.84	39.95	35.65	41.34	39.25
I_{22} (m ² /人)	52.52	21.63	33.89	51.80	28.46	49.97	42.02	30.22	59.22	26.52
I_{23} (万 t/km ²)	0.530 9	1.653 1	1.201 7	0.928 8	1.488 0	0.681 9	0.653 3	0.265 5	0.154 2	0.576 2
I_{24} (万 y/km ²)	4.367 8	15.976 4	4.107 0	3.292 3	23.081 9	4.740 3	2.732 9	0.476 1	0.238 5	2.151 5
I_{25} (%)	98.22	94.30	100.00	94.93	91.13	96.93	100.00	69.80	90.52	90.89
I_{26} (%)	77.85	80.10	83.28	85.78	92.50	89.20	89.02	82.28	82.96	76.98
I_{31} (元/人)	72 536	82 093	44 089	34 658	62 671	41 289	45 882	32 789	36 129	55 101
I_{32} (万 y/km ²)	9 823.582 5	9 501.615 8	23 730.844 3	9 740.931 5	15 604.595 1	12 861.162 5	15 412.740 4	8 237.295 2	2 500.265 8	17 894.929 0
I_{33} (%)	10.40	16.00	8.10	12.00	11.20	9.00	11.15	9.98	11.00	20.80
I_{34} (万 y/km ²)	8 905.122 7	16 141.610 1	20 387.028 5	12 588.274 0	27 807.801 6	17 293.639 1	27 160.839 7	12 749.492 0	5 031.303 9	31 678.612 0
I_{35} (万 y/km ²)	9 745.926 0	9 398.375 2	23 579.519 7	9 075.794 5	14 855.587 0	12 681.231 4	15 206.516 0	8 063.936 2	2 445.75	17 645.322 4
I_{41} (人/km ²)	963.84	1 085.15	5 324.12	2 775.00	2 495.93	2 276.31	3 405.45	2 384.31	717.24	2 912.02
I_{42} (%)	3.91	3.14	6.28	9.19	3.76	3.83	7.38	4.07	6.93	6.51
I_{43} (元/人)	58 804.50	45 247.67	30 646.22	39 917.65	36 626.77	35 989.60	28 084.10	31 044.21	30 477.64	26 753.27
I_{44} (人/km ²)	6.422 5	20.273 0	68.092 1	26.729 5	14.799 2	17.942 1	26.000 0	43.566 5	20.372 4	40.284 2
I_{45} (张/万人)	70.823 2	47.997 3	93.912 2	88.609 2	66.035 8	62.749 6	128.997 6	56.006 7	72.151 9	219.328 2
I_{52} (%)	0.753 2	1.129 5	8.361 8	2.702 1	2.216 3	3.922 9	4.538 5	3.119 7	0.664 5	4.825 1
I_{52} (m ² /人)	7.81	10.41	15.71	9.74	8.88	17.23	13.33	13.08	9.26	16.57
I_{53} (辆/万人)	18.49	9.84	17.05	5.81	6.27	12.44	19.97	10.32	11.25	20.83
I_{54} (万人/km ²)	8.157 5	2.151 3	0.632 7	0.796 7	0.779 6	0.335 9	0.620 0	0.080 7	0.120 7	0.908 3
I_{55} (万 t/km ²)	1.248 3	3.634 7	0.956 0	1.236 7	1.869 6	0.798 5	0.568 9	0.141 0	0.121 3	1.312 5
I_{61} (%)	3.990 0	2.727 0	2.525 3	2.905 7	1.443 1	1.963 0	1.776 6	3.766 0	3.955 2	2.810 3
I_{62} (万人)	99.45	21.64	7.69	2.26	4.77	2.23	2.74	2.00	1.40	1.33
I_{63} (千册)	43 040	11 565	3 202	473	1 131	546	727	706	334	249
I_{64} (册/人)	3.664 1	1.440 4	1.318 9	0.583 7	0.368 4	0.660 8	0.684 2	0.787 5	0.612 7	0.467 3

注:上述评价指标原始数据难免存在一定程度的误差。

资料来源:中国城市统计年鉴(2010)、中国城市年鉴(2010)其中 I_{23} 、 I_{24} 、 I_{25} 、 I_{26} 、 I_{54} 、 I_{55} 、 I_{62} 为市辖区原始数据的近似替代值。

(二)京津冀城市群土地综合承载力评价
 说明一:评价指标原始数据的规范化处理。
 将表 1 中的效益型评价指标原始数据带入

公式 3,成本型评价指标原始数据带入公式(4)
 对评价指标原始数据进行规范化处理,并由 R
 软件进行计算,所得数据如表 2 所示。

表 2 京津冀城市群土地综合承载力评价指标规范化数据及初始权重

指标/城市	北京	天津	石家庄	廊坊	唐山	秦皇岛	保定	张家口	承德	沧州
$I_{11}(0.2117)$	0.1193	0.0628	1.0000	0.3613	0.3062	0.4902	0.9388	0.4178	0.0000	0.4051
$I_{12}(0.1931)$	0.9680	0.9680	0.9747	0.9680	0.9620	0.9976	0.9680	1.0000	0.0000	0.8336
$I_{13}(0.2280)$	0.8349	0.1937	0.2085	0.0034	0.0000	0.7402	1.0000	0.4158	0.3769	0.0478
$I_{14}(0.1826)$	0.1070	0.0421	1.0000	0.1305	0.3249	0.4482	0.4346	0.3774	0.0000	0.3723
$I_{15}(0.1846)$	1.0000	0.1216	0.3022	0.0000	0.4285	0.4478	0.3178	0.0927	0.6070	0.1850
$I_{21}(0.1593)$	1.0000	0.0000	0.6459	0.9171	0.8457	0.8941	0.5550	0.3074	0.6350	0.5147
$I_{22}(0.1805)$	0.8218	0.0000	0.3262	0.8026	0.1817	0.7539	0.5424	0.2285	1.0000	0.1301
$I_{23}(0.1719)$	0.7487	0.0000	0.3012	0.4832	0.1101	0.6479	0.6670	0.9257	1.0000	0.7185
$I_{24}(0.1678)$	0.1808	0.6889	0.1693	0.1337	1.0000	0.1971	0.1092	0.0104	0.0000	0.0837
$I_{25}(0.1506)$	0.9411	0.8113	1.0000	0.8321	0.7063	0.8983	1.0000	0.0000	0.6861	0.6983
$I_{26}(0.1699)$	0.0561	0.2010	0.4059	0.5670	1.0000	0.7874	0.7758	0.3415	0.3853	0.0000
$I_{31}(0.2251)$	0.8062	1.0000	0.2292	0.0379	0.6061	0.1724	0.2656	0.0000	0.0677	0.4525
$I_{32}(0.1831)$	0.3449	0.3298	1.0000	0.3410	0.6172	0.4880	0.6082	0.2702	0.0000	0.7251
$I_{33}(0.1940)$	0.1811	0.6220	0.0000	0.3071	0.2441	0.0709	0.2402	0.1480	0.2283	1.0000
$I_{34}(0.2150)$	0.1454	0.4169	0.5763	0.2836	0.8547	0.4602	0.8305	0.2896	0.0000	1.0000
$I_{35}(0.1828)$	0.3454	0.3290	1.0000	0.3137	0.5872	0.4843	0.6038	0.2658	0.0000	0.7192
$I_{41}(0.1942)$	0.9465	0.9201	0.0000	0.5533	0.6139	0.6616	0.4165	0.6381	1.0000	0.5236
$I_{42}(0.2201)$	0.8727	1.0000	0.4810	0.0000	0.8975	0.8860	0.2992	0.8463	0.3736	0.4430
$I_{43}(0.2000)$	1.0000	0.5770	0.1215	0.4107	0.3081	0.2882	0.0415	0.1339	0.1162	0.0000
$I_{44}(0.1905)$	1.0000	0.7754	0.0000	0.6707	0.8642	0.8132	0.6825	0.3977	0.7738	0.4509
$I_{45}(0.1952)$	0.1332	0.0000	0.2680	0.2370	0.1053	0.0861	0.4728	0.0467	0.1410	1.0000
$I_{51}(0.1873)$	0.0115	0.0604	1.0000	0.2647	0.2016	0.4233	0.5033	0.3190	0.0000	0.5405
$I_{52}(0.2249)$	0.0000	0.2760	0.8386	0.2049	0.1136	1.0000	0.5860	0.5594	0.1539	0.9299
$I_{53}(0.2255)$	0.1558	0.7317	0.2517	1.0000	0.9694	0.5586	0.0573	0.6997	0.6378	0.0000
$I_{54}(0.1845)$	1.0000	0.2564	0.0683	0.0886	0.0865	0.0316	0.0668	0.0000	0.0050	0.1025
$I_{55}(0.1778)$	0.3208	1.0000	0.2376	0.3175	0.4976	0.1927	0.1274	0.0056	0.0000	0.3390
$I_{61}(0.2784)$	1.0000	0.5041	0.4249	0.5743	0.0000	0.2041	0.1309	0.9120	0.9863	0.5368
$I_{62}(0.2433)$	1.0000	0.2070	0.0648	0.0095	0.0351	0.0092	0.0144	0.0068	0.0007	0.0000
$I_{63}(0.2454)$	1.0000	0.2644	0.0690	0.0052	0.0206	0.0069	0.0112	0.0107	0.0020	0.0000
$I_{64}(0.2329)$	1.0000	0.3253	0.2884	0.0653	0.0000	0.0887	0.0958	0.1272	0.0741	0.0300

说明二:首先,由均方差决策法计算出京津冀城市群土地综合承载力评价指标层次单排序权重,如表 2 中第一列所示;其次,通过加权求和得到 $p(10)$ 个城市 6 个子承载力的状态值,如表 3 所示;并由均方差决策法计算出子承载力初始权重,写入表 3 第一列;然后,根据研究问题的实

际情况,并结合表 3 中 10 个城市 6 个子承载力的状态值,令 $a=0.17, b=0.80, c=0.60$,由公式(2)得到这 10 个城市的状态变权数值,如表 3 中下划线值;最后,由公式(1)计算出这 10 个城市 6 个子承载力的客观变权重,如表 4 中下划线值所示,然后将这 10 个城市 6 个子承载力的变

权重与表 3 中对应的状态值加权,得到这 10 个城市的加权值,列入表 4 中。

表 3 京津冀城市群土地子承载力状态值、初始权重及状态变权值

指标/城市	北京	天津	石家庄	廊坊	唐山	秦皇岛	保定	张家口	承德	沧州
$I_1(0.173\ 3)$	0.606 7 /0.600 0	0.274 5 /0.600 0	0.685 8 /0.600 0	0.288 0 /0.600 0	0.389 0 /0.600 0	0.629 7 /0.600 0	0.751 7 /0.600 0	0.462 4 /0.600 0	0.198 0 /0.600 0	0.359 8 /0.600 0
$I_2(0.139\ 7)$	0.617 9 /0.600 0	0.271 9 /0.600 0	0.461 5 /0.600 0	0.618 1 /0.600 0	0.630 5 /0.600 0	0.692 0 /0.600 0	0.601 7 /0.600 0	0.309 1 /0.600 0	0.622 3 /0.600 0	0.348 2 /0.600 0
$I_3(0.193\ 8)$	0.374 2 /0.600 0	0.555 9 /0.600 0	0.541 4 /0.600 0	0.248 9 /0.600 0	0.587 9 /0.600 0	0.329 4 /0.600 0	0.506 7 /0.600 0	0.189 0 /0.600 0	0.059 5 /0.769 0	0.775 1 /0.600 0
$I_4(0.152\ 5)$	0.792 4 /0.600 0	0.661 9 /0.600 0	0.182 5 /0.600 0	0.363 6 /0.600 0	0.563 6 /0.600 0	0.552 9 /0.600 0	0.377 3 /0.600 0	0.421 8 /0.600 0	0.474 6 /0.600 0	0.480 3 /0.600 0
$I_5(0.089\ 1)$	0.278 8 /0.600 0	0.463 5 /0.600 0	0.487 5 /0.600 0	0.394 0 /0.600 0	0.386 3 /0.600 0	0.470 2 /0.600 0	0.274 0 /0.600 0	0.344 3 /0.600 0	0.179 4 /0.600 0	0.389 6 /0.600 0
$I_6(0.251\ 6)$	1.000 0 /1.000 0	0.331 4 /0.600 0	0.218 2 /0.600 0	0.178 7 /0.600 0	0.013 6 /0.938 6	0.081 4 /0.708 6	0.065 0 /0.752 6	0.287 8 /0.600 0	0.292 5 /0.600 0	0.156 4 /0.602 6

表 4 京津冀城市群土地子承载力变权重、加权值及最优最劣指标值

指标/城市	北京	天津	石家庄	廊坊	唐山	秦皇岛	保定	张家口	承德	沧州	r_j^+	r_j^-
I_1	0.148 4 /0.090 0	0.173 3 /0.047 6	0.173 3 /0.118 8	0.173 3 /0.049 9	0.151 8 /0.059 0	0.165 7 /0.104 4	0.162 9 /0.122 4	0.173 3 /0.080 1	0.164 3 /0.032 5	0.173 1 /0.062 3	0.122 4	0.032 5
I_2	0.119 6 /0.073 9	0.139 7 /0.038 0	0.139 7 /0.064 5	0.139 7 /0.086 3	0.122 3 /0.077 1	0.133 6 /0.092 5	0.131 3 /0.079 0	0.139 7 /0.043 2	0.132 5 /0.082 4	0.139 6 /0.048 6	0.092 5	0.038 0
I_3	0.166 0 /0.062 1	0.193 8 /0.107 7	0.193 8 /0.104 9	0.193 8 /0.048 2	0.169 7 /0.099 8	0.185 4 /0.061 1	0.182 1 /0.092 3	0.193 8 /0.036 6	0.235 5 /0.014 0	0.193 6 /0.150 1	0.150 1	0.014 0
I_4	0.130 6 /0.103 5	0.152 5 /0.100 9	0.152 5 /0.027 8	0.152 5 /0.055 4	0.133 5 /0.075 3	0.145 9 /0.080 6	0.143 3 /0.054 1	0.152 5 /0.064 3	0.144 6 /0.068 6	0.152 3 /0.073 2	0.103 5	0.027 8
I_5	0.076 3 /0.021 3	0.089 1 /0.041 3	0.089 1 /0.043 4	0.089 1 /0.035 1	0.078 0 /0.030 1	0.085 2 /0.040 1	0.083 7 /0.022 9	0.089 1 /0.030 7	0.084 5 /0.015 2	0.089 0 /0.034 7	0.043 4	0.015 2
I_6	0.359 1 /0.359 1	0.251 6 /0.083 4	0.251 6 /0.054 9	0.251 6 /0.045 0	0.344 7 /0.004 7	0.284 2 /0.023 1	0.296 6 /0.019 3	0.251 6 /0.072 4	0.238 6 /0.069 8	0.252 4 /0.039 5	0.359 1	0.004 7

说明三:由公式(5)、公式(6)确定这 10 个城市的最优指标值 r_j^+ 、最劣指标值 r_j^- ,如表 4 中第 12、13 列所示;由公式(7)、公式(8)计算出各子承载力到最优指标值的距离 t_j^+ , $j=1,2,\dots,6$,到最劣指标值的距离 t_j^- 以及综合承载力到最优指标值的距离 V_i^+ , $i=1,2,\dots,6$ 最劣指标值

的距离 V_i^- ,如表 5 所示;由公式 9 分别计算出 10 个城市子承载力与最优指标值的相对贴进度 T_j , $j=1,2,\dots,6$ 以及综合承载力与最优指标值的相对贴进度 U_i ,如表 5 所示;同时,给出 10 个城市 6 个子承载力及综合承载力的排名,如表 5 中括号所示。

表5 距离 $t_j^+ t_j^- V_i^+ V_i^-$ 、相对贴适度 $T_j U_i$ 及排名

指标/城市	北京	天津	石家庄	廊坊	唐山	秦皇岛	保定	张家口	承德	沧州
t_{1i}^+ / t_{1i}^-	0.032 4 /0.057 5	0.074 9 /0.015 0	0.003 6 /0.086 3	0.072 5 /0.017 4	0.063 4 /0.026 5	0.018 1 /0.071 8	0.000 0 /0.089 9	0.042 3 /0.047 6	0.089 9 /0.000 0	0.060 1 /0.029 7
t_{2i}^+ / t_{2i}^-	0.018 5 /0.035 9	0.054 5 /0.000 0	0.028 0 /0.026 5	0.006 1 /0.048 4	0.015 3 /0.039 1	0.000 0 /0.054 5	0.013 5 /0.041 0	0.049 3 /0.005 2	0.010 0 /0.044 5	0.043 9 /0.010 6
t_{3i}^+ / t_{3i}^-	0.088 0 /0.048 1	0.042 3 /0.093 7	0.045 1 /0.090 9	0.101 8 /0.034 2	0.050 3 /0.085 8	0.089 0 /0.047 0	0.057 8 /0.078 3	0.113 4 /0.022 6	0.136 0 /0.000 0	0.000 0 /0.136 0
t_{4i}^+ / t_{4i}^-	0.000 0 /0.075 7	0.002 5 /0.073 1	0.075 7 /0.000 0	0.048 0 /0.027 6	0.028 2 /0.047 4	0.022 8 /0.052 8	0.049 4 /0.026 2	0.039 2 /0.036 5	0.034 9 /0.040 8	0.030 3 /0.045 3
t_{5i}^+ / t_{5i}^-	0.022 2 /0.006 1	0.002 1 /0.026 1	0.000 0 /0.028 3	0.008 3 /0.019 9	0.013 3 /0.015 0	0.003 4 /0.024 9	0.020 5 /0.007 8	0.012 8 /0.015 5	0.028 3 /0.000 0	0.008 8 /0.019 5
t_{6i}^+ / t_{6i}^-	0.000 0 /0.354 4	0.275 7 /0.078 7	0.304 2 /0.050 2	0.314 1 /0.040 3	0.354 4 /0.000 0	0.336 0 /0.018 4	0.339 8 /0.014 6	0.286 7 /0.067 7	0.289 3 /0.065 1	0.319 6 /0.034 8
T_1 /排名	0.639 6 /(4)	0.167 2 /(9)	0.960 1 /(2)	0.193 3 /(8)	0.294 7 /(7)	0.799 1 /(3)	1.000 0 /(1)	0.529 5 /(5)	0.000 0 /(10)	0.330 9 /(6)
T_2 /排名	0.659 7 /(6)	0.000 0 /(10)	0.486 2 /(7)	0.887 8 /(2)	0.718 6 /(5)	1.000 0 /(1)	0.753 0 /(4)	0.095 4 /(9)	0.816 0 /(3)	0.194 7 /(8)
T_3 /排名	0.353 5 /(6)	0.688 9 /(2)	0.668 3 /(3)	0.251 6 /(8)	0.630 4 /(4)	0.345 8 /(7)	0.575 4 /(5)	0.166 2 /(9)	0.000 0 /(10)	1.000 0 /(1)
T_4 /排名	1.000 0 /(1)	0.966 4 /(2)	0.000 0 /(10)	0.365 1 /(8)	0.627 0 /(4)	0.698 1 /(3)	0.346 9 /(9)	0.482 4 /(7)	0.539 3 /(6)	0.599 3 /(5)
T_5 /排名	0.216 3 /(9)	0.924 4 /(2)	1.000 0 /(1)	0.705 4 /(4)	0.529 8 /(7)	0.880 9 /(3)	0.275 4 /(8)	0.548 8 /(6)	0.000 0 /(10)	0.690 2 /(5)
T_6 /排名	1.000 0 /(1)	0.222 0 /(2)	0.141 7 /(5)	0.113 6 /(6)	0.000 0 /(10)	0.052 1 /(8)	0.041 2 /(9)	0.191 1 /(3)	0.183 7 /(4)	0.098 2 /(7)
V_i^+ / V_i^-	0.098 1 /0.371 9	0.293 9 /0.145 7	0.318 0 /0.140 5	0.341 6 /0.081 2	0.365 2 /0.109 8	0.348 8 /0.118 7	0.349 1 /0.129 8	0.317 8 /0.094 7	0.335 3 /0.088 8	0.329 7 /0.152 2
U_i /排名	0.791 3 /(1)	0.331 4 /(2)	0.306 4 /(4)	0.192 0 /(10)	0.231 2 /(7)	0.253 9 /(6)	0.271 1 /(5)	0.229 5 /(8)	0.209 3 /(9)	0.315 8 /(3)

说明四：京津冀城市群土地综合承载力空间差异比较。

本文以北京、天津、石家庄、廊坊、唐山、秦皇岛、保定、张家口、承德、沧州 10 个城市为横坐标，以表 5 中资源承载力、环境承载力、经济承载力、社会承载力、交通承载力、科技文化承载力 6 个子承载力以及综合承载力的相对贴适度评价值为纵坐标构成二维平面图(图略)。

(三) 京津冀城市群土地综合承载力评价结果

据笔者构建的二维立面图，京津冀城市群土地综合承载力相对贴适度综合评价价值，若由大到

小的顺序排列，依次为：北京、天津、沧州、石家庄、保定、秦皇岛、唐山、张家口、承德、廊坊。具体评价结果如下。

第一，北京市辖区土地承载资源、环境、经济、社会、交通、科技文化的强度最大，廊坊市辖区土地承载资源、环境、经济、社会、交通、科技文化的强度最小，最大综合评价价值是最小综合评价价值的 4.12 倍，这表明城市辖区土地综合承载力与单位辖区土地面积承载的强度成正相关关系。

第二，京津冀城市群土地综合承载力系统可持续发展受各个城市土地“短板子承载力”的影响和制约，例如，交通承载力为北京市辖区土地

综合承载力的“短板子承载力”,环境承载力为天津市、张家口市辖区土地综合承载力的“短板子承载力”,社会承载力为石家庄市辖区土地综合承载力的“短板子承载力”,科技文化承载力为廊坊市、唐山市、秦皇岛市、保定市、沧州市辖区土地综合承载力的“短板子承载力”,资源承载力、经济承载力、交通承载力为承德市辖区土地综合承载力的“短板子承载力”。

第三,京津冀城市群土地综合承载力评价曲线与京津冀城市群土地科技文化承载力评价曲线趋势基本一致,科技文化承载力对各个城市辖区土地综合承载力的贡献率均大于其他子承载力的贡献率,且均大于 0.23,这表明科技文化承载力对京津冀城市群土地综合承载力具有较大影响,且其作用是不可替代的。

四、提升京津冀城市群土地综合承载力之见解

城市土地综合承载力的提高具有硬性约束和软性约束两方面,硬性约束是随着文化、制度、政策、技术等软性约束的改变而发生变化,提高城市土地综合承载力就是要释放硬件和软件约束,强化危机预警,制定积极的提升策略。

第一,北京市应增加交通用地供给,加大交通基础设施建设,优化现有的交通网络,积极提倡“绿色交通”,合理地引导限制市民购置私家车,继续深化现有的限行政策^[21]。天津市、张家口市应加大绿地面积供给,增加建成区内绿色植被的种植面积,尽可能地减少工业废水的排放量,提高污水垃圾的处理能力,并有效地利用“三废”作为原料进行产品的生产再加工。

第二,石家庄市应深化人口政策,控制人口自然增长率,制定合理的政策措施促进城市居民的就业,尽可能地减少失业人口数量,增加对医疗卫生事业的财政支出。廊坊市、唐山市、秦皇岛市、保定市、沧州市应持续加大对科技文化的投入力度,加大科技文化硬件设施建设,制定合理的政策措施积极引导和培养更多的人来从事科技文化教育活动,提高新技术、科研创新成果的产业化能力,实现“产学研”的紧密对接。

第三,承德市应增加城市建设用地供给,增加城市辖区内供水量,加大对经济科学发展的支持力度,不断提高产业增加值。

参考文献

- [1]王书华,毛汉英. 土地综合承载力指标体系设计及评价——中国东部沿海地区案例研究[J]. 自然资源学报,2001,16(3):248—254.
- [2]李朝旗,金晓斌,周寅康. 土地利用与区域发展协调性评价——基于土地综合承载力的视角[J]. 经济问题探索,2010,(3):159—162.
- [3]姜秋香,付强,王子龙. 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,2011,27(11):319—324.
- [4]倪超,雷国平. 资源枯竭型城市土地综合承载力评价研究[J]. 水土保持研究,2011,18(2):164—173.
- [5]李蕾,郭文华,张迪等. 城市土地综合承载力评价——以深圳市为例[J]. 国土资源情报,2010,(11):34—38.
- [6]郭志伟. 北京市土地资源承载力综合评价研究[J]. 城市发展研究,2008,15(5):24—30.
- [7]李东序,赵富强. 城市综合承载力结构模型与耦合机制研究[J]. 城市发展研究,2008,15(6):37—42.
- [8]刘晓丽,方创琳. 城市群资源环境承载力研究进展及展望[J]. 地理科学进展,2008,27(5):35—42.
- [9]吕斌,孙莉,谭文垦. 中原城市群城市承载力评价研究[J]. 中国人口·资源与环境,2008,18(5):53—58.
- [10]吴冠岑,牛星. 土地生态安全预警的惩罚型变权评价模型及应用——以淮安市为例[J]. 资源科学,2010,32(5):992—999.
- [11]舒帮荣,黄琪,刘友兆等. 基于变权的城镇用地扩展生态适宜性空间模糊评价——以太仓市为例[A]. 2010年中国土地学会学术年会论文集[C]. 北京:地质出版社,2011.
- [12]姚炳学,李洪兴. 局部变权的公理体系[J]. 系统工程理论与实践,2000,(1):106—109.
- [13]杨宝臣,陈跃. 基于变权和 TOPSIS 方法的灰色关联决策模型[J]. 系统工程,2011,29(6):106—112.
- [14]邵景波,李柏洲,周晓莉. 基于加权主成分 TOPSIS 价值函数模型的中俄科技潜力比较[J]. 中国软科学,2008,(9):132—139.

- [15]李刚,迟国泰,程视秋. 基于熵权 TOPSIS 的人的全面发展评价模型及实证[J]. 系统工程学报, 2011, 26(3):400-407.
- [16]汪培庄. 模糊集与随机集落影[M]. 北京:北京师范大学出版社,1985.
- [17]李洪兴. 因素空间理论与知识表示的数学框架(Ⅷ)——变权综合原理[J]. 模糊系统与数学, 1995,9(3):1-9.
- [18]李洪兴. 因素空间理论与知识表示的数学框架(Ⅸ)——均衡函数的构造与 Weber—Fechner 特性[J]. 模糊系统与数学,1996,10(3):12-19.
- [19]李德清,李洪兴. 状态变权向量的性质与构造[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2002, 38(4):455-461.
- [20]秦寿康. TOPSIS 价值函数模型[J]. 系统工程学报, 2003,18(1):37-42.
- [21]中国科学技术协会. 中国城市承载力及其危机管理研究报告[M]. 北京:中国科学技术出版社,2008.
- [22]方创琳,宋吉涛,蔺雪芹. 中国城市群可持续发展理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [23]国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴(2010)[M]. 北京:中国统计出版社,2011.
- [24]中国城市发展研究会. 中国城市年鉴(2010)[M]. 北京:中国城市年鉴社,2010.

An Evaluation of Land Comprehensive Carrying Capacity of Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration based on TOPSIS Model Analysis

SUN Yu^{1,2}, LI Xin-Gang¹, YAO Xiao-dong³

- (1. School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. School of Public Management, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;
3. Tianjin Economic Development Institute, Tianjin 300202, China)

Abstract: Land comprehensive carrying capacity of urban agglomerations reflects the regional core competitiveness and economic and technological and cultural development level, which has become the important condition to support the sustainable development of urban population and economic and social activities. Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomerations play an exemplary and leading role in the Bohai Rim regional economic development, so it is very significant to establish a scientific evaluation system of land comprehensive carrying capacity and to provide constructive measures to improve comprehensive carrying capacity. In this paper, we use the TOPSIS model of local variable weight to calculate and analyze the spatial difference and imbalance of land comprehensive carrying capacity of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomerations, and row the order of land comprehensive carrying capacity and "the short boards of secondary carrying capacity" of 10 urban districts of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomerations, and according to the individual features of ten cities, we propose the different development strategies to enhance their comprehensive carrying capacity respectively.

Key words: Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomerations; land comprehensive carrying capacity; the TOPSIS model; "the short boards of secondary carrying capacity"

责任编辑 刘治泰