

# 城市土地集约利用评价及障碍因子诊断

## ——基于生态健康与低碳发展视角

樊鹏飞<sup>1</sup>, 梁流涛<sup>1,2</sup>, 陈常优<sup>1</sup>, 段朋辉<sup>1,2</sup>, 彭宏杰<sup>1</sup>, 郭椿阳<sup>1</sup>

(1. 河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475004; 2. 河南大学 黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 河南 开封 475004)

**摘要:** [目的] 揭示京津冀地区城市土地集约利用状况, 为生态健康与低碳发展视域下的城市土地集约利用提供理论基础。[方法] 相对熵组合赋权法、多因素综合评价法、协调度测算法和障碍因子诊断法。[结果] (1) 京津冀地区城市土地集约利用水平呈现出以京津为核心的“十字形”扩散态势。(2) 系统协调度与土地集约利用水平之间显著相关, 但不同城市间存在相对差异。(3) 高度集约区的北京市和天津市, 主要障碍因子集中在与生态健康和低碳环保有关的指标上; 中度集约区的秦皇岛市和唐山市, 主要障碍因子集中在与土地利用程度和布局相关的指标上, 石家庄、邯郸和保定地区则集中在与生态健康相关的指标上; 低度集约区的沧州、廊坊和邢台地区的主要障碍因子集中在与生态环境和低碳投入相关的指标上, 承德和衡水地区集中在与经济发展和土地投入相关的指标上; 粗放利用区的张家口, 主要障碍因子集中在与经济发展和生态保护相关的指标上。[结论] 将生态健康与低碳发展理念纳入城市土地集约利用研究中, 可以较为科学全面地刻画出城市土地集约利用状况, 为今后城市土地的科学利用提供决策支持。

**关键词:** 生态健康; 低碳发展; 城市土地集约利用; 相对熵; 障碍因子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)04-0273-07

中图分类号: F323. 211

**文献参数:** 樊鹏飞, 梁流涛, 陈常优, 等. 城市土地集约利用评价及障碍因子诊断[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 273-279. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 20160425. 002

## Urban Land Intensive Use Evaluation and Obstacle Factor Diagnosis

### —Based on Ecological Health and Low-carbon Development

FAN Pengfei<sup>1</sup>, LIANG Liutao<sup>1,2</sup>, CHEN Changyou<sup>1</sup>, DUAN Penghui<sup>1</sup>, PENG Hongjie<sup>1</sup>, GUO Chunyang<sup>1</sup>

(1. College of Environment and Planning, He'nan University, Kaifeng,

He'nan 475004, China; 2. Key Laboratory of Geospatial Technology for Middle

and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Kaifeng, He'nan 475004, China)

**Abstract:** [Objective] Revealing the urban land intensive utilization in Beijing-Tianjin-Hebei area, to provide basis for the study of urban land intensive utilization under the perspective of ecological health and low-carbon development. [Methods] The relative entropy method of combination weighting, multi-factor comprehensive evaluation method, coordinate measuring method and obstacle factor diagnosis method were used in this study. [Results] (1) The urban land intensive utilization of Beijing-Tianjin-Hebei region showed a “cross” diffusion situation with Beijing City and Tianjin City as its core. (2) Correlation between coordination of the system and the intensive use of land was found significant and different regionally. (3) The main obstacle factors focused on the ecological health and low carbon-related indicators in Beijing and Tianjin cities, and focused on the land use structure-related indicators in Qinhuangdao and Tangshan cities. It is focused on the ecological health-related indicators in Shijiazhuang, Handan and Baoding cities, and in the low-carbon and ecological environment-related obstacle indicators in Cangzhou, Langfang and Xingtai cities. It is

收稿日期: 2015-08-05

修回日期: 2015-09-16

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于 PSER 分析框架的农户环境保护行为机制及政策调控研究”(41301641); 教育部人文社会科学研究一般项目(11YJC790095); 国家博士后科学项目(2012M510175; 2013T60695)

第一作者: 樊鹏飞(1990—), 男(汉族), 河南省焦作市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用与估价研究。E-mail: 18438703566@163.com。

通讯作者: 梁流涛(1981—), 男(汉族), 河南省开封市人, 博士, 副教授, 主要从事资源经济与环境经济方面的研究。E-mail: liangliutao415@163.com。

focused on the obstacle factors of economic development and investment in Chengde and Hengshui cities, and factors focused on the economic development and ecological protection in Zhangjiakou City. [Conclusion] Taking the concept of ecological health and low-carbon development into the study could provide us more scientific and comprehensive view to reflect the urban land intensive use, and provide support for the scientific land use in the future.

**Keywords:** ecological health; low-carbon development; urban land intensive use; relative entropy; obstacle factor

人多地少、耕地资源紧缺的国情决定了在快速城市化过程中,中国必须走土地节约集约之路<sup>[1]</sup>。当前,在城市土地集约利用的实践过程中出现了一些新问题,如生态环境恶化、温室气体排放激增等。实现城市土地的可持续集约利用,必须走生态健康与低碳发展的集约之路,促进城市土地利用结构优化和功能提升<sup>[2]</sup>,保障土地的经济效益、社会效益和生态效益的协调统一。2015年4月30日中共中央政治局审议通过了《京津冀协同发展规划纲要》,要求通过调整经济结构和空间结构,走一条内涵集约的发展新路径。在推进京津冀一体化建设过程中,不仅极易出现土地的粗放利用,而且区域生态环境恶化和碳排放激增等问题也日益显现。因此,针对京津冀各城市的土地利用现状,开展基于生态健康与低碳发展的城市土地集约利用评价及障碍因子诊断研究具有十分重要的现实意义。

目前关于城市土地集约利用的研究主要集中在土地集约利用水平评价<sup>[3-4]</sup>、影响因素分析<sup>[5]</sup>、效率测算<sup>[6]</sup>和潜力评价<sup>[7]</sup>等方面,这些研究偏重于土地的经济效益,少数研究虽已关注到生态和低碳<sup>[8-9]</sup>与土地集约利用间的关系,但并没有把这两者统一纳入城市土地集约利用评价的范畴中,研究的深度和广度仍然不能满足低碳经济发展和生态文明建设的现实需求。因此,探索生态健康与低碳发展理念下的城市土地集约利用的内涵、构建指标体系和研究方法具有重要的学术价值。鉴于此,本研究尝试着对土地的生态健康、土地低碳发展和土地集约利用间的作用机理进行分析,构建起相应的模型框架和指标体系,对京津冀地区各城市开展土地集约利用综合评价与障碍因子诊断研究。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 土地集约利用评价方法

1.1.1 评价模型框架 城市范围内土地的生态健康和低碳水平与土地的集约利用之间存在着密切的交互关系(图1)。(1)土地生态健康与土地集约利用关系密切,如外延式的粗放利用方式会引起建设用地扩

张、交通拥堵、生态损毁等问题,从而威胁区域土地生态健康<sup>[10]</sup>;而土地生态健康作为土地集约利用的约束条件,通过优化土地利用方式和空间布局,能够实现“土地集约,生态健康”的双重效应<sup>[8]</sup>。(2)土地低碳水平与土地集约利用也密切相关。土地利用/覆被变化已经成为了仅次于化石燃料的碳排放源<sup>[11]</sup>,粗放利用方式带来的城市无序扩张,使得大量园林绿地被建筑与硬化路面所替代,区域碳汇量降低、空气粉尘和悬浮颗粒增加<sup>[12]</sup>,工业和交通用地布局的不合理更会导致交通拥堵、工业污染加剧,碳排放量激增;而作为一种绿色集约的土地利用方式,土地低碳利用所要求的合理布局、精明增长,有利于控制建设用地规模,提高土地利用效率,实现土地集约利用<sup>[13]</sup>。(3)土地生态健康与土地低碳利用也关系明显。土地的生态健康要求增加森林绿地并减少工矿、交通等温室气体排放,这无疑会带来碳汇量的增加和碳源的减少;土地的低碳利用要求以节能减排为抓手来调整优化能源结构,这必然也会带来区域内土地生态环境的改善。

总的来说,土地生态健康要求低能耗、低污染和高效益,土地低碳利用要求低排放、低能耗和高效益。因而,本研究认为城市土地集约利用是以“生态”“低碳”和“集约”为特征,以实现土地利用的“低排放、低能耗、低污染、高效益”为目标,通过合理增加土地投入、降低土地利用消耗,优化土地利用结构和空间布局<sup>[14]</sup>,降低土地利用碳排放量,改善土地生态环境质量,实现土地的经济效益、社会效益和生态环境效益的最大化。本研究整合了以上3个特征和4项要求,构建起了包含5个子系统的城市土地集约利用评价模型。

1.1.2 指标体系构建与部分指标说明 从“生态”“低碳”“集约”三方面入手,结合京津冀地区的现实情况,构建起城市土地集约利用评价指标体系(表1)。在指标选取方面特别突出土地的生态健康和低碳利用,以此来弥补以往研究的不足。根据指标不同的作用功效,可以分为正向指标和负向指标。由于部分指标是通过间接计算得到,需要进行简要说明。

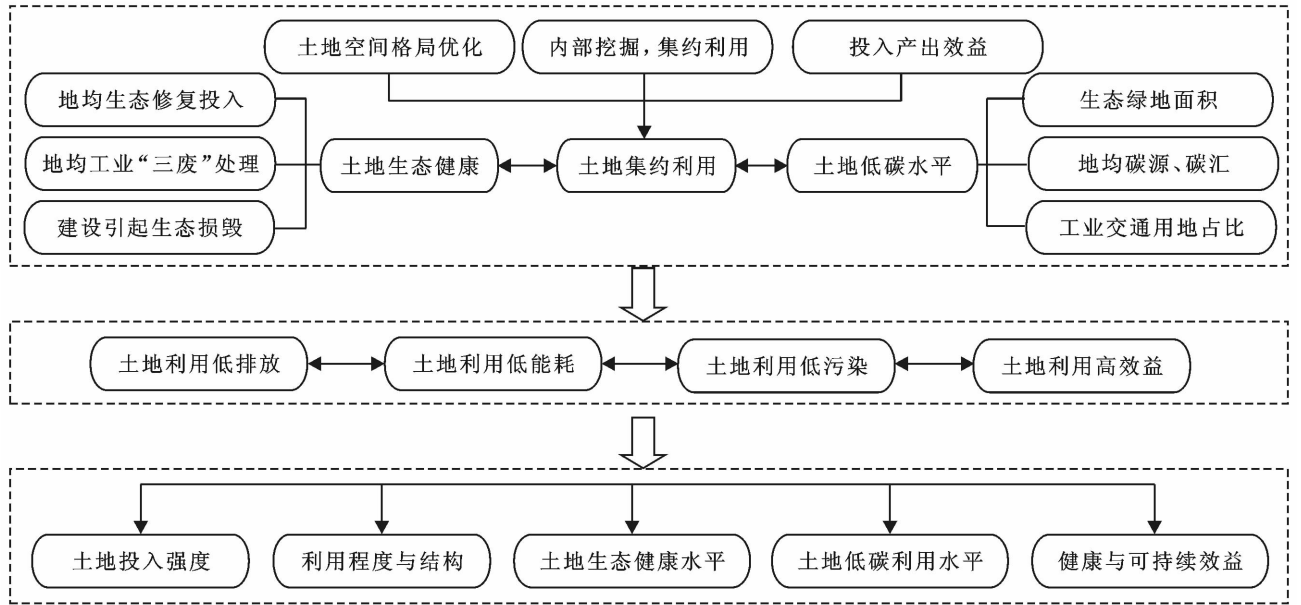


图 1 土地集约利用评价模型

表 1 城市土地集约利用评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	基准值	功效	基准值	组合权重
的基 城于 市生 态地 健 康 约与 利低 用碳 度发 展	土地投入 强度 $B_1$	$C_1$ 地均固定资产投资额/( $10^4 \cdot \text{km}^{-2}$ )	固定资产投资/市区面积	+	同类城市最高值	0.062 1
		$C_2$ 地均能源消耗/( $10^4 \cdot \text{km}^{-2}$ )	能源消耗/市区面积	+	同类城市最高值	0.045 6
		$C_3$ 地均环保投入/( $10^4 \cdot \text{km}^{-2}$ )	市区环保投资/市区面积	+	同类城市最高值	0.043 2
		$C_4$ 地均从业人数/(人· $\text{km}^{-2}$ )	从业人员/市区面积	+	同类城市最高值	0.048 1
	土地利用 程度与结 构布局 $B_2$	$C_5$ 建设用地面积占比/%	城市建设用地面积/市区面积	+	同类城市最高值	0.049 3
		$C_6$ 绿化用地占比/%	绿化用地面积/市区面积	+	国际标准	0.030 1
		$C_7$ 工业用地占比/%	工业用地面积/市区面积	-	同类城市最低值	0.042 7
		$C_8$ 道路广场用地比例/%	道路广场用地/城市建设用地	+	经验值	0.030 4
		$C_9$ 综合容积率/%	建成区建筑面积/建成区面积	+	国家标准	0.049 6
	土地生态 健康水平 $B_3$	$C_{10}$ 生态用地占比/%	生态用地/市区面积	+	同类城市最高值	0.046 1
		$C_{11}$ 灾害发生频次/(次· $\text{a}^{-1}$ )	年度灾害发生次数	-	同类城市最低值	0.022 5
		$C_{12}$ 环境质量综合指数	环境质量综合指数	+	同类城市最高值	0.048 3
		$C_{13}$ 生活污水处理率/%	处理量/污水产生水量	+	国家标准	0.030 5
		$C_{14}$ 地均固体废物承载量/( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$ )	固体废物排放量/市区面积	-	同类城市最低值	0.031 2
	土地低碳 水平 $B_4$	$C_{15}$ 地均碳排放量/( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$ )	碳排放/全市面积	-	同类城市最低值	0.045 6
		$C_{16}$ 低碳能源比重/%	低碳能源/总能源	+	国际标准	0.041 9
		$C_{17}$ 人均机动车保有量(辆/人)	机动车数量/城镇人口	-	同类城市最低值	0.043 4
		$C_{18}$ 森林覆盖率/%	市区森林面积/市区面积	+	同类城市最高值	0.036 5
		$C_{19}$ 能源消费弹性指数	$\Delta$ 能源消费/ $\Delta$ GDP	-	国际标准	0.047 8
土地健康 与可持续 效益 $B_5$	$C_{20}$ 植物多样性/种	城市内绿地植被的种类	+	同类城市最高值	0.028 3	
	$C_{21}$ 人均耕地( $\text{hm}^2$ /人)	耕地面积/总人口数	+	经验值	0.014 5	
	$C_{22}$ 地均生态修复投入/( $10^4$ 元· $\text{km}^{-2}$ )	生态修复投入/建设用地面积	+	同类城市最高值	0.046 5	
	$C_{23}$ 地均消费品零售总额/( $10^8$ 元· $\text{km}^{-2}$ )	社会消费品零售额/市区面积	+	同类城市最高值	0.047 6	
	$C_{24}$ 城镇人均可支配收入/(元/人)	—	+	同类城市最高值	0.048 2	

注：“+”，“-”分别表示正、负向指标。

(1) 地均能源消耗。该指标主要用来表现城市的开发程度，与低度开发区相比，发达地区的地均能源消耗量更高。通过计算区域内各行业能源消耗总量与区域面积之比。

(2) 道路广场用地比。道路广场的合理布局可以对交通拥堵和人群聚集起到一定疏解，从而减少机动车尾气排放和降低环境污染。但比例过高也会因为占用大量的公共绿地而引起碳汇量变化，故应保持

适度水平,考察发现京津冀各城市的道路广场用地比例仍较低,故其功效取正。所指道路为城市支路和居住区级道路,回车场和停车场包括在道路内。

(3) 环境质量综合指数。主要用来表现城市范围内的综合环境状况。计算公式为:

环境质量综合指数=(环境空气质量良好天数百分率×30)+(集中式饮用水源地水质达标率×20)+(水域功能区水质达标率×40)+(城市环境噪声达标区覆盖率×10)。

(4) 地均碳排放量。采用间接估算法,通过计算区域内化石能源的碳排放得到。计算公式为:

$$E_c = \sum M_i \cdot \theta_i \cdot \delta_i \quad (1)$$

式中: $E_c$ ——城市碳排放量(t);  $M_i$ ——第  $i$  种化石能源的消耗量(t);  $\theta_i$ ——第  $i$  种化石能源的标准煤折算系数;  $\delta_i$ ——第  $i$  种化石能源的碳排放系数。

1.1.3 指标标准化 由于京津冀各城市发展差距较大,为了能更真实地测算出区域内不同级别城市的土地集约利用水平,本研究引入了同类城市的相应值作为基准值来进行无量纲化。若有相应的国际标准或国家标准则优先采用,对于无法定性的个别指标采用专家经验值。

(1) 正向指标:

$$C_i = \begin{cases} 1 & (X_i \geq S_i) \\ X_i/S_i & (X_i < S_i) \end{cases} \quad (2)$$

(2) 逆向指标:

$$C_i = \begin{cases} 1 & (X_i \leq S_i) \\ S_i/X_i & (X_i > S_i) \end{cases} \quad (3)$$

式中: $X_i$  ( $i=1,2,3,\dots,m$ )——第  $i$  指标的实际值;  $S_i$  ( $i=1,2,3,\dots,m$ )——第  $i$  指标的基准值;  $C_i$ ——该指标的标准化指数,  $0 \leq C_i \leq 1$ 。

1.1.4 指标权重的确定 为提高所得权重的科学性和准确性,在对主客观赋权法的优缺点进行充分分析基础上,选择主客观相结合的组合赋权法来确定指标权重,并尝试引入相对熵思想来对确定组合系数。

(1) 熵值法确定权重。熵值法作为一种经典的客观赋权法,指标值变异程度越大,信息熵越小,该指标提供的信息量越大,相应权重也越大,反之,权重越小<sup>[15]</sup>。首先,计算各个指标的相应熵值;其次,计算出指标相应的变异系数;最后,计算出相应指标的熵权,故所得到的指标权重向量为: $u_{fi} = (u_{f1}, u_{f2}, u_{f3}, \dots, u_{f24})^T$

(2) 层次分析法确定权重。作为一种定性与定量相结合的赋权方法,层次分析法需要专家对指标两两比较,逐层判断打分,并构造出矩阵。本研究借助

AHP 软件求得最大特征根对应的特征向量,并进行一致性检验,最终得到权重向量为: $u_{fi} = (u_{f1}, u_{f2}, u_{f3}, \dots, u_{f24})^T$

(3) 组合权重的确定。

$$W_i = \sum_{f=1}^R \delta_f \cdot u_{fi} \quad (4)$$

式中: $W_i$ ——最终的组合权重;  $u_{fi}$ ——第  $f$  种赋权法中指标的相应权重;  $\delta_f$ ——组合系数。由此可以看出,组合权重确定的关键是如何计算出相应的组合系数。

(4) 组合系数的确定。以往研究多采用专家赋权法来确定组合系数,其主观性较强。为此,引入“可信度”概念<sup>[16]</sup>,并利用相对熵来确定可信度。通过求最优解计算得到了一组与各单一赋权法所得权重最接近的集结权重为  $V = (v_1, v_2, \dots, v_M)$ ,各单一赋权方法集合为  $U = (u_1, u_2, \dots, u_R)$ 。利用相对熵构建求最优解模型<sup>[17]</sup>:

$$\begin{aligned} \min: & \sum_{f=1}^R \sum_{i=1}^M V_i \lg \frac{V_i}{u_{fi}} \\ \text{s.t.} & \sum_{i=1}^M V_i = 1 \\ & V_i \geq 0, \quad \forall i \in M \end{aligned} \quad (5)$$

求得上式中的最优解为: $v_i = \frac{\prod_{f=1}^R (u_{fi})^{\frac{1}{R}}}{\sum_{i=1}^M \prod_{f=1}^R (u_{fi})^{\frac{1}{R}}}$ ; 然后

计算每一种赋权结果  $u_f$  与集结权重  $V$  的贴适度  $h[u_f, v]$ ,利用贴适度测算相应的可信度即组合系数:

$$\delta_f = \frac{h[u_f, V]}{\sum_{f=1}^R h[u_f, V]} \quad (6)$$

利用熵值法和层次分析法分别计算得到一组指标权重,带入公式(4)–(6)利用相对熵思想计算得到组合系数  $\delta_f$  为 0.572 9 和 0.427 1,最终所得组合权重(表 1)。

1.1.5 土地集约利用度计算 利用标准化值及相应权重,可以计算得到城市土地集约利用度,计算公式为:

$$Y_i = C_i \cdot W_i \quad (7)$$

$$P_{\text{综合}} = \sum_{i=1}^{24} C_i \cdot W_i \quad (8)$$

式中: $Y_i$ ——指标单向值;  $P_{\text{综合}}$ ——城市土地集约利用度。

1.1.6 土地集约利用协调度测算 从系统科学理论来看,城市土地集约利用水平的高低不仅在于各子系统评价价值的高低,系统协调性也起着极大作用。一般而言,各子系统评价价值越接近,说明土地集约利用协调度越高,测算公式<sup>[3,18]</sup>为:

$$CI(B_1, B_2, B_3, B_4, B_5) = \left\{ \frac{F(B_1) \cdot F(B_2) \cdot F(B_3) \cdot F(B_4) \cdot F(B_5)}{\left[ \frac{F(B_1) + F(B_2) + F(B_3) + F(B_4) + F(B_5)}{5} \right]^5} \right\}^K \quad (9)$$

$$F_i = Y_i / \text{MAX}(Y_i) \quad (10)$$

考虑到各子系统指标个数不同,利用公式(10)进行指标二次标准化来提高其可比性,为二次标准化后的子系统分值;鉴于城市土地集约利用各子系统  $B_1 - B_5$  同等重要,本研究取调节系数  $k=5$ ;协调度  $CI$  介于  $0 \sim 1$ ,其值越大,系统协调度越高。结合相关研究<sup>[18-20]</sup>,当  $CI \geq 0.75$  时,表明土地集约利用子系统高度协调;当  $0.45 \leq CI < 0.75$  时,表明各子系统基本协调;当  $CI < 0.45$ ,表明各子系统不协调。

**1.1.7 土地集约利用级别划分** 土地集约利用级别划分还未形成统一的划分标准,特别是基于生态健康和低碳发展视角。本研究结合京津冀地区社会经济发展现状,参考相关研究成果<sup>[13,21-22]</sup>,并在咨询相关专家意见基础上,构建起了城市土地集约利用评价标准(表 2)。

表 2 城市土地集约利用级别划分

土地集约利用等级	粗放利用	低度集约	中度集约	高度集约
综合得分	$p < 0.45$	$0.45 \leq p < 0.6$	$0.6 \leq p < 0.75$	$0.75 \geq p$

**1.2 土地集约利用障碍因子诊断**

引入因子贡献度(单项因素对总目标的作用程度即  $W_i$ )、标偏离度  $O_i$ (单项指标距离 100% 目标的差值)、障碍度  $M_i$  进行诊断分析<sup>[4]</sup>,计算公式为:

$$O_i = 1 - Y_i \quad (11)$$

$$M_i = \frac{O_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{24} O_i \cdot F_i} \quad (12)$$

**1.3 数据来源**

原始数据来源于《京津冀地区各城市统计年鉴 2013 年》《河北省统计年鉴 2013 年》《中国城市统计年鉴 2013 年》《中国城市建设统计年鉴(报)2013 年》《中国环境统计年鉴 2013 年》《中国国土资源统计年鉴 2013 年》《城市用地分类与规划建设用地标准(GB50137-2011)》《京津冀地区各城市土地利用总体规划(2006—2020 年)》以及各地市统计局网站数据。部分缺失数据通过多年平均增长率进行插值计算得到。基准值主要是通过文献调研和同类城市逼近法来确定。城市级别划分依据国务院印发的《关于调整城市规模划分标准的通知》,通过找出该指标在同类城市中的最高值或最低值来确定;国际标准和国家标准主要是通过参考相关研究和文件资料确定;无法定性的基准值,依据相关专家学者经验确定。

**2 结果与分析**

**2.1 空间格局分析**

利用公式(2)一(8)可以计算得到京津冀 13 个城

市土地集约利用的单向值和综合值(图 2)。结合表 2 中的划分标准,利用 ArcGIS 空间分析技术,绘制出的各城市土地集约利用程度空间分布(图 3),呈现出以北京和天津市为核心的“十字形”扩散态势。

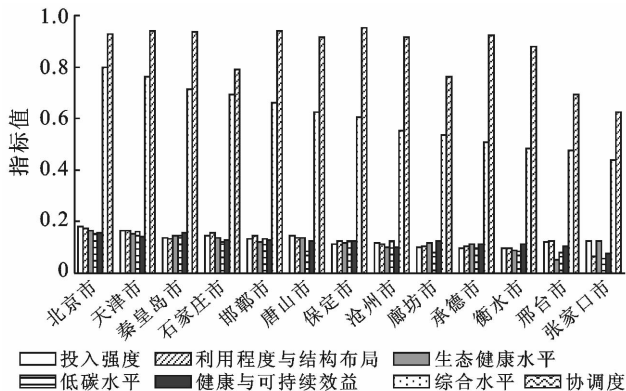


图 2 京津冀地区城市土地集约利用状况

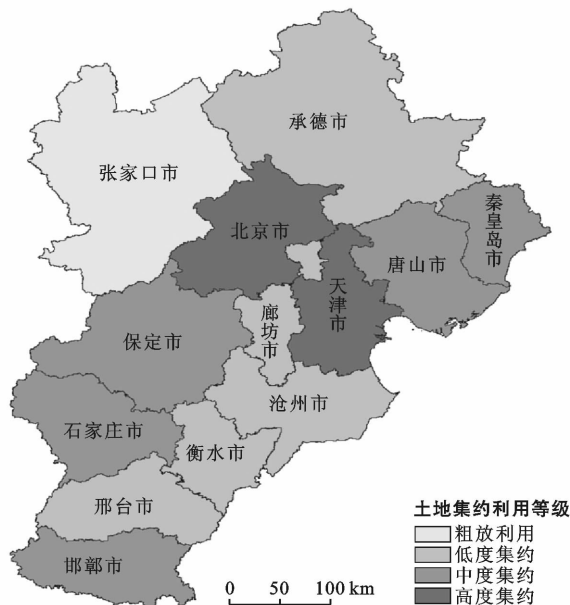


图 3 京津冀地区城市土地集约利用等级空间分布

高度集约区分布在本区中东部的北京和天津地区,面积占到该区的 13.05%,综合值分别达到 0.798 3 和 0.763 6。作为京津冀都市带的核心区,其土地的投入强度、利用程度与结构布局以及健康与可持续效益的系统分值都超过了 0.15;中度集约区分布在本区的东北部、西南部和南部地区,面积占到 32.79%,包括秦皇岛、石家庄、邯郸、唐山、保定 5 个城市,综合值分别为 0.715 6,0.692 5,0.662 5,0.625 2,0.603 6。秦皇岛和唐山地区临近渤海湾,生态条件好,经济发达,其土地的投入强度和与健康与可持续效益分值都高达 0.14 以上,而位于河北省经济重心地带的石家庄、邯郸和保定地区,虽然其土地的投入强度、利用程度

与布局分值分别超过了 0.13 和 0.12,但由于近年来大搞能源重化工产业,使得其生态健康和低碳水平分值都低于了 0.1;低度集约区分布在东南部和北部地区,面积占到 37.17%,包括沧州、廊坊、承德、衡水和邢台,综合值分别为 0.553 4, 0.536 3, 0.506 3, 0.485 2, 0.476 2。沧州地区作为沿海开放城市和北方重要陆海交通枢纽,其土地的投入强度和利用程度与结构布局分值都超过了 0.11,而被誉为“京津走廊上明珠”的廊坊地区,尽管土地健康与可持续效益分值高达 0.124 5,但其结构布局与低碳水平仅为 0.092 3, 0.082 5。邢台地区既是京津冀重要的工业、能源基地,又是中原经济区最北端,虽然其土地的投入强度、利用结构与布局分值较高,但生态健康和低碳利用分值却仅有 0.053 2 和 0.071 3,而承德和衡水地区受工业污染影响小,生态和低碳分值分别超过了 0.09 和 0.08,但其土地投入强度却都低于 0.09;粗放利用区仅分布在西北部的张家口地区,占到区域面积的 16.97%,综合分值仅为 0.441 4。受自身条件限制以及北京“虹吸效应”的影响,张家口地区经济发展水平相对落后。农业过度开垦一定程度上诱发了区域内水土流失、土地沙化等问题。其土地投入强度、利用程度与结构布局以及可持续效益仅为 0.100 3, 0.065 2 和 0.075 1,这使得张家口地区的土地集约利用水平在整个京津冀地区排名垫底。

## 2.2 协调度分析

从系统协调度与土地集约利用水平之间的相关性分析结果来看, Pearson 系数达到了 0.763 2,两者显著相关,协调度越高,土地集约程度也越高<sup>[19,23]</sup>。但从各城市角度来看,两者存在一定差异性(图 2)。北京、天津、秦皇岛、邯郸、唐山地区的协调度都超过了 0.9,城市土地集约利用各子系统之间已经实现了良性互动;保定、沧州、承德、衡水的土地集约利用水

平不高但协调度较高,都超过了 0.85,系统的协调能够一定程度促进土地集约利用水平的提高<sup>[3,23]</sup>;石家庄、廊坊地区的协调度都低于 0.8,与其土地集约利用水平不相协调,系统协调性已经成为了土地集约利用的限制因素;邢台、张家口地区的协调度低于 0.7,成为土地集约利用水平较低的原因之一,系统间未形成良性互动。

## 2.3 障碍因子诊断

利用公式(11)~(12)可计算得到京津冀各城市土地集约利用的指标障碍度。由于涉及的城市和指标较多,本研究按照障碍度大小排序,筛选出排序前 6 的主要障碍因子(表 3),以此诊断影响京津冀各城市土地集约利用的主要障碍因素。从表 3 可以看出,高度集约区的北京和天津,主要障碍因子集中在与生态健康和低碳环保有关的指标上,如地均环保投入、生态用地占比、地均碳排放量、能源消费弹性指数等指标;中度集约区的秦皇岛、石家庄、邯郸、唐山和保定,各城市间主要障碍因子差异较大。位于环渤海地区的秦皇岛和唐山,主要障碍因子集中在建设用地面积占比、道路广场用地比、生活污水处理率、综合容积率这几个指标。位于西南部的石家庄、邯郸和保定地区,主要障碍因子集中在绿化和工业用地占比、生态用地占比、环境质量综合指数、地均碳排放量、地均生态修复投入等指标;低度集约区的沧州、廊坊、承德、衡水、邢台地区,各城市的主要障碍因子也各不相同。沧州、廊坊和邢台的主要障碍因子集中在地均环保投入、地均生态修复投入、低碳能源比重、能源消费弹性指数等指标。承德和衡水地区的主要障碍因子集中在地均固定资产投资、综合容积率、地均消费品零售总额、城镇人均可支配收入等指标;粗放利用区的张家口地区,主要障碍因子集中在地均固定资产投资额、生态用地占比、灾害发生频次、地均生态修复投入、城镇人均可支配收入等指标。

表 3 城市土地集约利用主要障碍因素

北京	天津	秦皇岛	石家庄	邯郸	唐山	保定	沧州	廊坊	承德	衡水	邢台	张家口
C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>11</sub>
C <sub>22</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>6</sub>
C <sub>17</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>19</sub>	C <sub>20</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>19</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>10</sub>
C <sub>6</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>23</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>19</sub>
C <sub>19</sub>	C <sub>19</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>24</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>18</sub>
C <sub>16</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>20</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>22</sub>

## 3 讨论与结论

(1) 京津冀地区城市土地集约利用的空间差异显著,呈现出以北京和天津为核心的“十字形”扩散态势。高度集约区分布在本区中东部的北京和天津地

区;中度集约区分布在本区的东北部、西南部和南部地区,包括秦皇岛、石家庄、邯郸、唐山和保定地区;低度集约区分布在该区的东南部和北部地区,包括沧州、廊坊、承德、衡水和邢台地区;粗放利用区仅分布在本区西北部的张家口地区。

(2) 协调度与土地集约利用水平的 Pearson 系数达到 0.763 2, 两者显著相关。北京、天津、秦皇岛、邯郸、唐山地区的土地集约利用水平和协调度都比较高; 保定、沧州、承德、衡水地区的土地集约利用水平不高但协调度较高; 石家庄、廊坊地区的土地集约利用水平与其较低的协调度不相协调; 邢台、张家口地区的土地集约利用水平和协调度都比较高。

(3) 从障碍因子诊断结果来看, 不同集约水平的城市, 其障碍因子存在着显著差异。北京和天津市的主要障碍因子集中在与生态健康和低碳环保有关的指标上, 两市应通过不断增加生态绿地、园林花卉面积来改善生态环境, 通过产业结构调整 and 公共交通网络优化来降低碳排放, 通过城市周边永久基本农田划定来限制城市快速扩张, 通过推动多规融合来实现空间布局优化; 秦皇岛和唐山地区的主要障碍因子集中在土地利用程度和布局相关的指标上, 两市应通过增加土地单位投入和综合容积率, 优化道路广场和绿化用地布局来提高土地集约利用效益。石家庄、邯郸和保定地区的主要障碍因子集中在与生态健康相关的指标上。这些城市应以产业结构调整为突破口, 优化用地结构与布局, 增加生态和环保投入; 沧州、廊坊和邢台地区的主要障碍因子集中在与生态环境和低碳投入相关的指标上, 这 3 个城市应在优化城市内部土地功能分区基础上, 不断淘汰落后产能, 发展清洁能源技术, 增加生态绿地面积; 承德和衡水地区的主要障碍因子集中在与经济发展和土地投入相关的指标上, 应大力发展地区经济, 不断增加单位土地资本投入, 优化土地的利用结构与布局, 增加居民可支配收入; 张家口地区的主要障碍因子集中在与经济发展和生态保护相关的指标上, 应设法增加单位用地的投入产出比, 减少土地闲置浪费, 在保障生态环境健康发展的基础上, 大力发展地区经济提升土地价值, 促进土地集约利用水平的提高。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] 秦鹏, 陈健飞. 香港与深圳土地集约利用对比研究[J]. 地理研究, 2011, 30(6): 1129-1136.

[2] 化龙雷, 雷国平, 张慧. 煤炭城市土地集约利用评价及其驱动因子分析: 以黑龙江省七台河市为例[J]. 水土保持研究, 2012(1): 212-216.

[3] 聂艳, 于婧, 胡静, 等. 基于系统协调度的武汉城市土地集约利用评价[J]. 资源科学, 2009, 31(11): 1934-1939.

[4] 陈莹, 谢媛媛. 武汉市土地集约利用时空分异及障碍因素诊断[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(1): 8-15.

[5] 渠丽萍, 张丽琴, 胡伟艳. 城市土地集约利用变化影响因

素研究: 以武汉市为例[J]. 资源科学, 2010, 32(5): 970-975.

- [6] 周峰. 基于数据包络方法的南京市城市土地集约利用效率分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014(S1): 48-52.
- [7] 周璐红, 洪增林, 薛旭平, 等. 西安市大兴新区旧城改造土地集约利用潜力评价[J]. 中国土地科学, 2009, 23(2): 49-57.
- [8] 杨伟, 廖和平, 谢德体, 等. 基于生态健康的重庆市南岸区城市土地集约利用综合评价[J]. 中国土地科学, 2012, 26(4): 78-83.
- [9] 黎孔清, 陈银蓉. 低碳理念下的南京市土地集约利用评价[J]. 中国土地科学, 2013, 27(1): 61-66.
- [10] 郑华伟, 刘友兆, 丑建立. 中国城市土地集约利用与生态环境协调发展评价研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 227-232.
- [11] Houghton R A, Hobble J E, Mwilillo J M, et al. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere[J]. Ecological Monographic, 1983, 33(5): 235-262.
- [12] 曹彦鹏, 冯忠江. 精明增长理念下低碳经济发展与城市土地集约利用动态耦合研究: 以石家庄市为例[J]. 水土保持通报, 2015, 35(1): 242-248.
- [13] 赵敏宁, 周治稳, 曹玉香, 等. 陕西省城市土地集约利用评价及其区域差异研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 210-215.
- [14] 黎孔清, 陈银蓉, 陈家荣. 基于 ANP 的城市土地低碳集约利用评价模型研究: 以南京市为例[J]. 经济地理, 2013, 33(2): 156-161.
- [15] 张文斌. 基于改进 PSR 模型的西北干旱区土地利用系统健康评价: 以玉门市为例[J]. 中国农学通报, 2014, 30(34): 74-80.
- [16] 李春燕, 南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J]. 中国土地科学, 2015, 29(4): 72-81.
- [17] 周宇峰, 魏法杰. 组合赋权法在企业绩效评价中的应用[J]. 工业工程与管理, 2007(4): 51-54.
- [18] 范辉, 刘卫东, 吴泽斌. 城市土地集约利用内部协调性的时空演变: 以武汉市中心城区为例[J]. 地理科学, 2014, 34(6): 696-704.
- [19] 唐爽, 莫宏伟, 袁志芬, 等. 湘江流域主要城市土地利用效率差异性评价[J]. 地理空间信息, 2015, 13(1): 134-136.
- [20] 曲长祥, 刘璐, 冯翔迪. 城市土地集约利用评价及其驱动因子分析: 以绥化市为例[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(4): 94-100.
- [21] 于尚云, 郭建科. 辽宁省城市土地利用集约度测定及其时空差异[J]. 经济地理, 2014, 34(11): 140-145.
- [22] 石培基, 吴燕芳. 陇南市建设用地集约利用时空差异评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(1): 80-85.
- [23] 范辉, 刘卫东, 吴泽斌. 城市土地集约利用内部协调性的时空演变: 以武汉市中心城区为例[J]. 地理科学, 2014, 34(6): 696-704.