

# 基于 PSR 模型的快速城市化地区土地利用系统健康性评价

——以深圳市为例

李睿璞<sup>1,2</sup>, 关江华<sup>3</sup>



(1.深圳职业技术学院 建筑与环境工程学院, 广东 深圳 518055;  
2.华中科技大学 国土资源与不动产研究中心, 湖北 武汉 430074;  
3.黄冈师范学院 旅游文化与地理学院, 湖北 黄冈 438000)

**摘要** 在界定土地利用系统健康内涵的基础上, 构建了基于“压力-状态-响应”(PSR)模型的评价指标体系, 采用熵权法和灰色关联度法评价了快速城市化地区土地利用系统的健康状况, 并以深圳市为例进行实证分析。结果表明: 2006—2013 年深圳市土地利用系统健康综合指数逐年提高, 健康等级经历了“不健康-临界状态-亚健康”的演变过程; 土地利用系统压力指数总体变化平稳, 而系统状态指数与响应指数呈现上升趋势; 人口自然增长率、城市垃圾处理率、城市绿地覆盖率、城市污水处理率与土地利用系统健康性评价综合指数之间的灰色关联度较高, 说明城市环境与土地利用健康状况紧密相关。指出快速城市化地区的用地政策应注重提高城市土地利用的综合效益, 关注人口与环境系统对区域可持续发展的影响。

**关键词** 土地利用系统; PSR 模型; 熵权法; 灰色关联度; 深圳市

**中图分类号:** F 301.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-3456(2016)03-0112-06

**DOI 编码:** 10.13300/j.cnki.hnwkxb.2016.03.016

土地资源是人类赖以生存的物质基础, 城市土地更是宝贵的自然资源。快速城市化地区是人类活动最为频繁、对自然改造最为彻底的区域, 也极易产生土地与生态环境问题<sup>[1]</sup>, 例如城市扩张<sup>[2]</sup>、人口膨胀<sup>[3]</sup>、交通拥堵<sup>[4]</sup>、资源过度开发<sup>[5]</sup>等“城市化病”的大量涌现。

为实现土地资源的可持续利用, 国内外学者诠释了土地健康的内涵, 依据持续土地利用管理评价纲要开展一系列实证研究<sup>[6]</sup>。Reed 借助土壤微生物指标测度了加拿大的土壤健康程度<sup>[7]</sup>; Styers 等则评估了快速城市化地区森林生态系统的健康状况, 测算了人口、住房、道路密度与树种丰富度之间的数量关系<sup>[8]</sup>。Vaz 等评估了多伦多地区土地利用的空间异质性, 得出了商业与工业用地扩张有害土地健康等结论<sup>[9]</sup>。而国内多位学者评估了不同地区的土地利用健康水平, 分析人口、社会经济、环境、制度等因子对土地利用健康的综合影响程度<sup>[10-11]</sup>, 并预测土地利用健康的变化趋势<sup>[12]</sup>。但上述研究的评价体系仅包含了耕地面积、土地垦殖率、农村人均收入、土壤退化程度等指标<sup>[13]</sup>, 忽略了社会经济与人类活动等非自然因素对土地健康的影响; 评价结果仅反映了土地利用综合效益的好坏, 并未考虑评价指标与评价系统间的耦合程度。

深圳作为中国改革开放的特区城市, 创造了举世瞩目的“深圳速度”, 但以投资为驱动的经济增长

收稿日期: 2015-09-05

基金项目: 教育部人文社会科学一般项目“快速城市化地区土地可持续利用模式研究”(13YJCZH086); 深圳市哲学社会科学“十二五”规划课题“深圳市土地资源可持续利用模式研究”(125B047); 广东省高等学校“千百十工程”校级人才培养工程项目。

作者简介: 李睿璞(1982-), 男, 讲师, 博士; 研究方向: 土地经济与城市管理。

通讯作者: 关江华(1971-), 男, 副教授, 博士; 研究方向: 土地管理、房地产经济与政策研究。

也加速了城市土地资源的快速消耗<sup>[14]</sup>。因此,文章基于“压力-状态-响应”模型构建了快速城市化地区土地利用系统健康评价体系,借助灰色关联度测算了评价指标与评价指数间的关联强度,确定制约土地可持续利用的影响因子。

## 一、评价模型的构建

### 1. 基于PSR理论的评价体系

“压力-状态-响应”(PSR)模型是由经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNWP)共同提出,用于评价人类活动对生态环境的影响程度,是较为成熟的评价指标体系。此模型中, $P$ 代表土地系统受到的外部压力, $S$ 代表自然资源的变化状况, $R$ 代表人类为改善不良影响而采取的保护措施。借助PSR模型构建土地利用系统健康性评价体系可衡量人口增长、社会经济发展等因素给城市土地利用施加的压力,描述在当前状况下的经济发展水平、资源产出水平和土地生态质量等土地产出水平<sup>[15]</sup>,分析土地利用系统对压力的适应能力以及环境保护措施和治理手段的成效性。压力、响应、状态之间相互制约、相互影响,反映了环境压力与环境变化之间的因果关系。

依据上述指标构建思路并结合快速城市化地区的实际状况,遵从指标选取的系统性、针对性等原则,在参考国内外相关资料的基础上构建了具有准则层、要素层、指标层、含义层的土地利用系统健康评价的指标体系(表1)。

表1 土地利用健康性评价指标体系与涵义

准则层	要素层	指标层及指向性	评价函数	熵权值	
系统压力( $P$ ) 0.427 6	人口增长压力	人口土地负荷量 $X_1$ (负向)	总人口/土地总面积	0.137 1	
		人口自然增长率 $X_2$ (负向)	当年自然增长人口/前一年户籍人口数	0.013 0	
		人口城市化水平 $X_3$ (正向)	非农业人口/总人口	0.055 9	
	经济发展压力	$GDP$ 增长率 $X_4$ (正向)	当年 $GDP$ /前一年 $GDP-1$	0.031 9	
		固定资产增长率 $X_5$ (正向)	当年固定资产投资/前一年固定资产投资-1	0.053 0	
		城市用地增长弹性系数 $X_6$ (正向)	城市用地增长率与城市人口增长率之比	0.039 2	
		建设用地比例 $X_7$ (负向)	当年建设用地数量/土地总面积	0.054 1	
	资源禀赋压力	自来水供水总量 $X_8$ (正向)		0.043 7	
	系统状态( $S$ ) 0.469 1	经济发展水平	人均 $GDP$ $X_9$ (正向)	$GDP$ /总人口	0.056 2
			城镇人均可支配收入 $X_{10}$ (正向)		0.063 6
建设用地集约度 $X_{11}$ (正向)			建设用地面积/总人口	0.049 6	
资源产出水平		地均 $GDP$ $X_{12}$ (正向)	$GDP$ /总土地面积	0.056 9	
		地均二、三产业产值 $X_{13}$ (正向)	二、三产业产值/土地总面积	0.056 9	
		地均从业人数 $X_{14}$ (正向)	从业人口/土地总面积	0.048 7	
		空气质量状况 $X_{15}$ (负向)	可吸入颗粒物年平均值	0.082 3	
生态环境水平	城市绿地覆盖率 $X_{16}$ (正向)	城市绿地面积/土地总面积	0.054 9		
系统响应( $R$ ) 0.103 3	土地市场	地价增长幅度 $X_{17}$ (负向)	土地购置费的大小	0.013 1	
		城市污水处理率 $X_{18}$ (正向)	生活污水处理量占总排放量的比重	0.053 3	
	环境保护	垃圾无害化处理率 $X_{19}$ (正向)	生活垃圾无害化处理量占总排放量的比重	0.036 9	

快速城市化地区的土地利用最易受到来自社会-经济系统的外在压力,所以在评价系统压力准则层中,设列了人类活动、经济发展与资源环境禀赋这三个方面的要素层。之后分析在经济发展和资源禀赋限制的前提下,土地利用系统的综合产出效益水平。最后剖析了土地利用系统在土地市场与环境保护之间的均衡性。在分析人-地协同发展的系统特点后,选择与人口城市化、土地城市化和生态环境状况有关联的一系列指标,用以评价快速城市化地区土地利用的健康水平,增强评价结果的可信度。总体来说,评价指标较多考虑了土地利用系统的社会性、经济性与生态性,没有将土壤有机质、灌排率等农业经济指标纳入评价体系。

### 2. 指标体系的构建

(1)数据标准化处理。在多指标综合评价中,数据的标准化处理用以消除量纲对评价结果准确性的不良影响。此外,由于每个指标作用效果的指向性不同,应采用不同的标准化处理方式,如式(1)和

式(2):

$$\text{正向效果: } X_{ij} = (X_{ij} - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j) \quad (1)$$

$$\text{负向效果: } X_{ij} = (\max X_j - X_{ij}) / (\max X_j - \min X_j) \quad (2)$$

其中,  $\max X_j$  为指标的最大值,  $\min X_j$  为指标的最小值,  $X_{ij}$  为指标的原始值。

(2) 指标权重值的确定。权重值表征了评价指标间的相对重要程度, 可采用熵权法、离差最大化法、变异系数等方法进行测算。在指标较少的情况下, 熵权法对指标间的细微差异更为敏感, 可避免指标区分度的趋同性<sup>[16-17]</sup>。根据信息论对信息熵的定义, 一组数据的信息熵为:

$$E_j = -\ln n^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

式(3)中,  $p_{ij} = X_{ij} / \sum_{i=1}^n X_{ij}$ , 如果  $p_{ij} = 0$ , 则定义  $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \times \ln p_{ij} = 0$ 。

将标准化处理的数据代入公式(3)中, 得出各评价指标的信息熵  $E_1, E_2, \dots, E_{19}$ , 计算各数据指标的权重值:

$$W_i = \frac{1 - E_i}{k - \sum E_i}, (i = 1, 2, \dots, k) \quad (4)$$

信息熵不仅衡量了系统的无序程度, 也可判断指标的离散程度, 其离散度越大, 信息熵越小, 该指标的权重越大。

(3) 计算综合指数。采用综合度指数测算土地利用系统健康状况, 是依据每项指标的权重值乘以指标的标准值, 如式(5)。

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \times x_i \quad (5)$$

式(5)中,  $S$  代表土地利用系统健康综合指数,  $w_i$  为熵权值,  $x_i$  为标准化后的指标值。

在借鉴国内外现有的研究成果<sup>[18]</sup>, 将土地利用系统健康级别划分以下 5 个等级, 如表 2 所示。

表 2 土地利用系统健康分级标准

综合指数	(0.8~1.0]	(0.6~0.8]	(0.4~0.6]	(0.2~0.4]	(0~0.2]
等级	健康	亚健康	临界状态	不健康	病态

### 3. 土地利用系统灰色关联度分析

灰色关联度分析是根据变量之间发展趋势的相似性来寻求各子系统(因素)之间的数量关系, 确定影响因子在整个评价系统中的重要程度<sup>[19]</sup>。灰色关联系数的计算方法如式(6):

$$\xi_{0i} = \frac{\Delta(\min) + \rho \Delta(\max)}{\Delta_{0i}(K) + \rho \Delta(\max)} \quad (6)$$

式(6)中,  $\xi_{0i}$  为关联系数;  $\Delta(\min)$  与  $\Delta(\max)$  代表参考序列与比较序列差值绝对值的最小值与最大值;  $\Delta_{0i}(K)$  是为比较序列曲线上数据点与参考数列曲线上的数据点差值的绝对值;  $\rho$  为分辨系数一般取 0.5。关联度的计算如式(7):

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n \xi_i(K) \quad (7)$$

式(7)中,  $r_i$  为灰色关联度, 表征两组动态数据之间的关联性。其值越接近于 1, 代表关联性越好。

## 二、实证分析

### 1. 区域概况与数据来源

深圳地处珠江三角洲东岸, 是中国改革开放以来建立的第一个经济特区, 已发展成为具有较大影响力的国际化都市。但受资源禀赋的限制, 全市农用地资源十分稀缺, 耕地数量总体呈现下降的趋

势,人均耕地面积仅为0.01亩<sup>①</sup>;部分地区建设用地利用粗放、利用效率低下。随着区域经济的快速发展、外来人口大量涌入、用地需求的增加,全市耕地保护所面临的形势依然严峻,城市生态环境状况也不容乐观。偷排工业“三废”、水土流失、洪涝灾害<sup>②</sup>等环境问题时有发生,城市土地利用系统的健康程度偏低。

本研究选用的指标数据主要源于《深圳统计年鉴(2010—2014)》、《中国城市统计年鉴(2007—2014)》、《广东省统计年鉴(2007—2014)》<sup>③</sup>。

## 2. 评价方法

依据前文的分析过程,采用熵权值法对评价数据进行分析与处理。评价指标熵权值的大小反映了各评价指标在评价系统中的重要程度。其值越大,数据的离散性越小,而其权重越大。

## 3. 评价结果分析

按照前文的分析方法先将数据标准化处理,再测算土地利用系统健康指标的权重值(表1)。依据公式(5)计算深圳市2006—2013年的土地利用系统健康性评价指标的综合指数。由于指标对系统的指向性有正负,文章将不利于土地利用系统健康的指标定义为负向指标。此外,每个指标权重值的大小也反映该指标在评价系统中的重要性。

(1)综合评价指数。2006—2013年深圳市土地利用系统健康状况总体呈现了逐年改善的发展趋势(图1所示),综合指数从2006年的0.3036增长到2013年的0.7225,年均增长率达到5.24%,增长幅度高于全国平均水平<sup>[12]</sup>。依据土地利用系统健康分级标准(表2),2006—2008年间深圳市土地利用系统处于不健康状态,健康综合指数均低于0.4;2009—2012年,健康综合指数从0.4194上升到0.5967,土地健康状态维持在临界水平;2013年土地利用系统健康综合指数上升到0.7225,健康级别提升至亚健康水平。

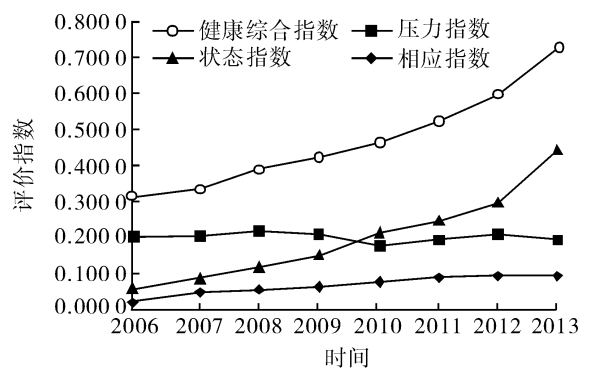


图1 深圳市土地利用系统健康评价指数分析图

2006—2013年间,深圳城市化进程持续高速推进、固定资产投资额逐年增加,国民生产总值持续增长<sup>④</sup>,全市建设用地面积从2009年的893.85km<sup>2</sup>增长到2012年的941.67km<sup>2</sup>。但此类增长以资源高消耗和环境重污染为代价,部分地区建设用地利用粗放、土地集约利用水平较低<sup>⑤</sup>。

(2)各分类指数对比。压力指数:2006—2013年深圳市土地利用系统压力指数变化幅度较小,系统压力年均值为0.2。2006—2009年,压力指数均在0.2050之上,2008年出现最大值点为0.2174,2010—2013年间系统压力指数有所降低,特别是2009年出现压力最小值点为0.1763。近8年间,深圳市土地利用系统压力变化较为稳定。状态指数:由图1可知,系统健康状态指数逐年增长,由2006年的0.0884增长到2013年的0.4403,年均增长率为4.3%。自2009年起土地利用系统状态指数增长势头迅猛,特别是2013年其增长幅度最大。响应指数的提升反映了区域土地利用系统健康状况的改善。由于城市污水处理和生活垃圾处理状况得以改善,土地利用系统健康响应指数也呈现了逐年上升的发展趋势,由2006年的0.0101增加到2013年的0.0100,年均增长1%。经研究发现,近几年深圳市加大了对环境治理与保护力度,增加市内公园建设并提升城市绿化覆盖率,市内多座天然水体与多条河流的水质得以改善,全年空气质量也优于其他一线城市。

(3)评价指标的灰色关联度。图1中四条曲线呈现了相同的变化趋势,可借助灰色关联度法分析

① 数据来源:深圳市第二次土地调查及2010—2012年度变更调查主要数据成果公报。

② [http://wb.sznews.com/html/2013-03/26/content\\_2418721.htm](http://wb.sznews.com/html/2013-03/26/content_2418721.htm)。

③ 截至作者投稿之时,《深圳市统计年鉴》与《广东省统计年鉴》并未出2015版,其公布的数据均为前一年的相关统计资料,故下文测算的是2006—2013年间的土地利用健康度指数,特此说明。

④ 2013深圳固定资产投资总额为24022691万元、户籍人口310.47万人,增长幅度高于往年水平。

⑤ 数据来源:深圳市第二次土地调查及2010—2012年变更调查成果公报。

综合指数与各因子之间数量关系,从而确定影响因子的重要程度。通过测算,土地利用系统健康性评价的 19 个指标与综合指数的关联度大小如表 3 所示。从单项测算指标来看,首先是人口增长率与健康综合评价指数间的相关度最高,其次是城市垃圾处理率、城市绿地覆盖率、城市污水处理率以及年均可吸入颗粒这四项测度城市生态环境的数量指标,建设用地水平、人口城市化率以及 GDP 等经济发展指标位列第二个等级单元。排在最后的是测度系统状态水平的各类产值指标,如地均二、三产业产值、固定资产增长率等。深圳市土地利用系统健康性评价的综合指数与系统压力、系统响应程度关联度较高,反而与系统状态性因子的关联度相对较低。

表 3 深圳市土地利用系统健康影响因子的灰色关联度分析

数量指标	$X_2$	$X_{19}$	$X_{16}$	$X_{18}$	$X_{15}$	$X_6$	$X_4$	$X_7$	$X_3$	$X_{14}$
$r_i$	0.890	0.701	0.681	0.675	0.665	0.664	0.659	0.658	0.656	0.655
数量指标	$X_8$	$X_{17}$	$X_{11}$	$X_{13}$	$X_1$	$X_5$	$X_{12}$	$X_9$	$X_{10}$	
$r_i$	0.654	0.653	0.652	0.650	0.649	0.649	0.646	0.646	0.643	

表 3 的计算结果还表明,人口城市化是影响城市土地利用系统健康的最主要因素,城市环境的改善可促进城市土地利用健康的良性发展。而系统响应指数与土地利用系统健康性的相关程度较小。

### 三、结论与讨论

城市土地利用系统健康性评价是一项复杂的系统工程,因此本文在 P-S-R 理论框架下综合分析社会经济、生态环境等要素的基础上结合国内外研究成果,构建了快速城市化地区土地利用系统健康评价指标体系,并以深圳市为例进行实证分析。本文评价指标体系不同于现有评价体系<sup>[20]</sup>,侧重选取土地利用系统中的经济-社会因素,评价结果客观反映了快速城市化地区土地利用特点,研究结论也更符合区域土地利用的实际状况。

从计算结果可以看出,从 2006—2013 年深圳市土地利用系统的健康性评价结果表明近 8 年来城市土地利用的综合效益日益增强、生态环境状况得以改善。文章还通过灰色关联度指数证明了人口自然增长率、城市垃圾处理率、城市绿地覆盖率、城市污水处理率与土地利用系统综合指数有较高的相关性。而美国的凤凰城同样是快速城市化区域的代表,其人口因素、自来水供应率、科学技术等指标也是影响土地利用系统健康状况的驱动因子<sup>[21]</sup>。这也佐证了快速城市化地区的用地政策应注重城市土地利用综合效益的提高,关注人口与环境系统对区域可持续发展的影响程度。

城市土地利用系统健康性评价可以度量人类活动对土地利用系统的破坏与退化程度,为管理者提供科学的决策依据。随着快速城市化地区社会经济的持续高速发展,其外来人口不断增加将进一步加重地区资源环境的压力。如何实现城市土地资源的可持续发展,不仅需要借鉴国内外城市发展的先进经验,还更需要客观、准确地评价地区土地利用系统的健康程度,特别是对评价系统与评价指标的适用性、客观性、科学性进行深入讨论。本文虽然侧重选取了土地利用系统的经济性与社会性指标,但各评价因子选取的完备程度,各评价要素层设置的合理性仍需进一步探讨。此外,土地利用系统响应准则,是否仅从污水与垃圾处理率两个方面就能全面衡量环境保护这一要素层,是否存在其他更贴合实际的指标也是值得深究的另一个问题。但目前国内外可供借鉴的相关研究还屈指可数,评价数据的获取还较为困难。有关土地利用系统健康性的研究仍需注重基础指标的探讨,加强对土地利用系统健康性顶层理论设计的研究。

### 参 考 文 献

- [1] JOHN W D, MICHAEL R Z. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality [J]. *Applied Soil Ecology*, 2000, 15(1): 3-11.
- [2] 刘新卫, 吴初国, 张丽君. 中国城镇化健康发展的土地利用策略[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- [3] FOLEY J A, DEFRIES R, ASNER G P, et al. Global consequences of land use [J]. *Science*, 2005, 5734 (309): 570-574.

- [4] CINDY C H, JOELLEN H, STEPHANIE E G, et al. Wetland degradation and loss in the rapidly urbanizing area of Portland, Oregon [J]. *Wetlands*, 1995, 15(4): 336-345.
- [5] JEFFREY A H, MARINA A, JOHN M M. Predicting land cover change and avian community responses in rapidly urbanizing environments [J]. *Landscape Ecology*, 2008, 23(10): 1257-1276.
- [6] LEOPOLD A. Wilderness as a land laboratory [J]. *Living Wilderness*, 1941(7): 3.
- [7] REED F N. Sustainability and wilderness [J]. *Conservation Biology*, 1991, 5(1): 120-122.
- [8] STYERS D M, CHAPPELKA A H, MARZEN L J, et al. Developing a land-cover classification to select indicators of forest ecosystem health in a rapidly urbanizing landscape [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 94(3): 158-165.
- [9] VAZ E, CUSIMANO M, et al. Land use perception of self-reported health: exploratory analysis of anthropogenic land use phenotypes [J]. *Land Use Policy*, 2015(46): 232-240.
- [10] 郭杰, 吴斌. 土地利用系统健康评价 [J]. *中国土地科学*, 2011, 25(4): 71-77, 96.
- [11] 郑华伟, 张锐, 杨兴典, 等. 基于 PSR 模型的土地利用系统健康评价及障碍因子诊断 [J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(9): 1099-1105.
- [12] 张悦, 宋戈. 城市土地利用系统健康评价——以哈尔滨市为例 [J]. *城市问题*, 2013(12): 26-31.
- [13] SHEPHERD K D, SHEPHERD G, WALSH M G. Land health surveillance and response: a framework for evidence-informed land management [J]. *Agricultural Systems*, 2015(132): 93-106.
- [14] 张锐, 刘友兆, 丑建立. 中国土地利用系统健康动态评价 [J]. *水土保持通报*, 2014, 34(2): 197-203.
- [15] 谢涤湘, 陈惠琪. 高度城市化地区的土地问题及其思考——以深圳为例 [J]. *生态经济*, 2013(4): 48-51, 57.
- [16] 金晓斌, 张鸣辉, 周寅康. 农用地等级综合评价中权重系数确定方法探讨 [J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(4): 447-455.
- [17] 李晓倩, 刘学录. 土地评价指标权重赋值方法的比较分析 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2012, 47(5): 129-133.
- [18] 蔡为民, 唐华俊. 土地利用系统健康评价 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [19] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [20] STYERS D M, CHAPPELKA A H, MARZEN L J. Developing a land-cover classification to select indicators of forest ecosystem health in a rapidly urbanizing landscape [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 94(3-4): 158-165.
- [21] MILAN K S, ABIGAIL M Y, CHRISTOPHER G B, et al. Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix metropolitan area: analyzing the spatiotemporal patterns and drivers [J]. *Applied Geography*, 2012, 32(2): 522-531.

(责任编辑: 陈万红)