

基于 PSR 模型的土地利用系统健康动态评价*

周博^{1,2}, 杜晓霞¹, 马林兵^{1,2}, 何桂林¹

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275;

2. 中山大学广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广东 广州 510275)

摘要: 土地利用系统健康与城市社会经济发展、生态环境、人类生活质量息息相关, 并对城市土地资源的可持续利用机制有着重要影响。采用文献资料法、层次分析法、多指标综合评价模型对 2001 - 2012 年广州市土地利用系统健康状况进行动态诊断与评价。结果发现: 2001 - 2012 年期间, 广州市土地利用系统健康水平总体不断提高, 系统健康综合指数从 0.26 增加到 0.70, 健康等级经历了“不健康 - 临界状态 - 亚健康”状态的演变过程; 土地利用系统健康的压力指数略有增长, 状态指数和响应指数呈现上升趋势; 其中固定资产投资增长率、人均 GDP、人均耕地面积、森林覆盖率、土地市场配置程度等是土地利用系统健康等级提升的关键制约因素。

关键词: PSR 模型; 健康评价; 层次分析法; 综合指数法; 广州市

中图分类号: F301 文献标志码: A 文章编号: 0529 - 6579 (2018) 04 - 0009 - 07

Dynamic health evaluation of land use system based on the pressure-state-response model

ZHOU Bo^{1,2}, DU Xiaoxia¹, MA Linbing^{1,2}, HE Guilin¹

(1. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-Simulation, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The health of land use system is closely related to city's social and economic development, ecological environment and human life, and has an important influence on the sustainable utilization of land resources. In this paper, literature data, analytic hierarchy process, and multi index comprehensive evaluation model were used to dynamically diagnose and evaluate health status of land use system in Guangzhou during 2001 to 2012. The conclusions are as follows: Overall health level of land use system in Guangzhou during 2001 to 2012 was continuously improved. System health index increased from 0.26 to 0.70 with a progress of “unhealthy-critical state-sub health”. The land use system health pressure index rose slightly and state index and response index showed an upward trend. The growth rate of fixed asset investment, land average GDP, per capita arable land area, forest coverage, and land market allocation degree are critical factors of land use system healthy level.

Key words: PSR model; health evaluation; analytic hierarchy process; comprehensive index method; Guangzhou

* 收稿日期: 2017 - 06 - 14

基金项目: 国家自然科学基金 (41671453)

作者简介: 周博 (1993 年生), 男; 研究方向: GIS 与土地资源管理; E-mail: zhoubosysu@163.com

通信作者: 马林兵 (1968 年生), 男; 研究方向: GIS 与土地资源管理; E-mail: malb@mail.sysu.edu.cn

土地作为一个自然经济综合体,既为一种资源又为一种资产,在社会经济生活中起着越来越重要的作用。中国的城市化水平显著提高,目前正处在城市化加速发展时期,城市化水平每年在以约 1.27% 的速度增长,但与此同时我国城市土地利用存在着诸多问题,土地利用结构不合理、城市生态环境恶化,资源环境供给与城市经济社会发展的矛盾日趋严重^[1]。我国人均耕地占有面积逐年递减,根据 2013 年全国土地变更调查数据,全国耕地总量 135 万 km²,人均占有量不足 0.1 hm²。沿海发达城市人口聚集,土地稀缺问题更为突出,部分地区由于经济发展导致土地污染问题严重,土地利用系统健康堪忧。因此,开展土地利用系统健康研究,优化土地利用系统健康的改善路径,提高土地利用系统健康水平,对于加强生态文明建设,保障中国生态安全,促进社会经济可持续发展具有非常重要的理论价值和现实意义。20 世纪 40 年代,Leopold^[2]首先界定了“土地健康 (Land health)”的内涵,并通过研究土地健康监测其生态学参数,以保证人类在利用土地的时候不会使它丧失功能。80 年代,加拿大政府开展全国土壤质量调查,进行“土壤健康”项目研究^[3]。国内学者也曾对土地健康进行探索,蔡为民等^[4-7]在分析土地利用系统的基础上,提出并探讨了土地利用系统健康的概念、本质与目的,并初步建立了土地利用系统健康评价框架体系;张锐等^[8]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”模型 (Pressure-State-Response Model) 的评价指标体系,采用熵值法和灰色预测模型,对中国土地利用系统健康状态进行了评价与预测;郑华伟等^[9]从土地利用系统健康评价指标体系的基本框架出发,构建了 4 个层次的土地利用系统健康评价指标体系,并引用物元分析法及改进的熵值法对四川省土地利用系统健康水平进行了评价。目前,我国大部分城市还存在着土地粗放、低效利用导致的土地利用系统健康情况欠佳的问题,且土地利用系统健康评价研究尚处于起步阶段,定性分析相对较多、定量研究较少。鉴于此,本文在界定土地利用系统健康内涵的基础上,以广州市作为研究区,构建基于 PSR 模型的土地利用系统健康定量评价指标体系,引用系统科学理论对土地利用系统健康评价进行实证研究,揭示当前广州市土地利用系统健康现状、潜在的问题及发展潜力,并对广州市土地利用系统健康现状的改进及未来的发展提出对策和建议。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

本文研究区为广州市辖 11 区 (荔湾、越秀、天河、白云、黄埔、番禺、花都、南沙、萝岗、从化和增城区),总面积约 7 434 km²。21 世纪开始,广州市经济持续高速发展,2001 - 2012 年地区生产总值年均增长率达 15.3%,人口年均增长率达 1.3%,经济发展和人口增长均处于广东省领先水平。

1.2 数据来源

本文所涉及的社会经济发展、生态环境状况、土地利用现状等相关数据主要来源于广东统计年鉴 (2002 - 2013 年)^[10]、广东农村统计年鉴 (2002 - 2013 年)^[11]、广州统计年鉴 (2002 - 2013 年)^[12]和相应的统计公报、广州市土地利用变更数据、广州市环保局统计数据、《广州城市总体发展战略规划 (2001 - 2010 年)》以及广州市各区统计公报。

2 研究方法

在土地利用评价方法的基础上,土地利用系统健康评价方法的框架和指标体系日渐完善,目前常用的方法是 PSR 模型。本文以广州市为研究区,构建基于 PSR 模型的城市土地利用系统健康指标体系,采用层次分析法确定指标的权重,同时从系统科学角度出发,引入综合评价函数进行分析,探究广州市土地利用系统健康的具体水平。

2.1 基于 PSR 模型的指标体系构建

PSR 模型以“因果联系”为纽带将压力、状态、响应 3 个不同的系统进行组合,从而对其巨系统进行综合评价^[13]。PSR 概念模型的主要优势是评价环境系统的持续性、分析系统内在的因果关系,监测各个指标之间连续反馈机制,寻找人类活动与环境影响之间的因果链,体现了人类活动 (压力)、社会政策调整 (响应) 和土地利用系统变化 (状态) 之间的相互制约、相互影响的全过程^[14]。因此 PSR 模型能够反映每个环节对土地利用系统健康状况影响的因素和程度,根据诊断结果可进一步进行决策和管理。

从土地利用系统健康评价指标体系的基本框架出发,遵循指标选取的科学性、系统性、可比性、规范性、综合性和可获取性等原则,借鉴相关学者已有的研究成果,构建了包含 4 个层次的土地利用系统健康评价指标体系 (表 1)。

表 1 城市土地利用系统健康评价指标体系
Table 1 The evaluation index system of urban land-use system health

目的层	准则层	要素层	指标名称	评价函数
系统 压力(p)	人口活动 水平(p_1)		p_{11} 人口密度/(人·km ⁻²)	常住人口/区域总面积
			p_{12} 人口自然增长率/%	当年人口出生率 - 死亡率
	社会经济 发展压力(p_2)		p_{21} GDP 增长率/%	当年 GDP 增量/上年 GDP 总量
			p_{22} 社会固定资产投资增长率/%	当年投资增量/上年投资总量
			p_{31} 土地垦殖率/%	耕地面积/土地总面积
	土地利用 强度(p_3)		p_{32} 土地利用效率/%	农用地和建设用地的和/土地总面积
		p_{33} 建设用地比例/%	建设用地规模/土地总面积	
土地 利用 系统 健康	系统状态 (s)	社会经济 发展水平(s_1)	s_{11} 人均 GDP/(元·人 ⁻¹)	GDP/人口总量
			s_{12} 城镇居民可支配收入/(元·人 ⁻¹)	-
			s_{13} 农民人均纯收入/(元·人 ⁻¹)	-
	土地集约 利用状况(s_2)		s_{21} 地均 GDP/(万元·hm ⁻²)	GDP/区域总量
			s_{22} 人均耕地面积/(hm ² ·人 ⁻¹)	耕地总量/人口总量
			s_{23} 人均建设用地面积/(m ² ·人 ⁻¹)	建设用地总量/人口总量
生态环境 质量(s_3)		s_{31} 森林覆盖率/%	森林面积/土地总面积	
		s_{32} 人均公共绿地面积/(m ² ·人 ⁻¹)	城市公共绿地/市区常住人口	
系统 响应 (r)	政策管理 水平(r_1)		r_{11} 土地市场配置程度/%	当年土地出让面积/总供地面积
			r_{21} 工业废水排放达标率/%	达标工业废水排放量/总排放量
	环境保护 力度(r_2)		r_{22} 城市生活污水处理率/%	生活污水处理量/生活污水总量
			r_{23} 生活垃圾无害化处理率/%	-
		r_{24} 教育投资强度/%	教育支出量/财政支出总量	

2.2 指标权重的确定

土地利用系统健康评价是综合多个指标进行定量评价的过程，指标权重的确定关系到评价结果的可靠性和准确度，为了避免个人主观因素的影响过大，本文结合层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, AHP) 和文献资料法来确定各指标的权重值。AHP 方法确立指标权重的基本步骤如下：

1) 建立层次结构模型。应用 AHP 法时，首先将所要进行的决策问题置于一个大系统中，这个系统中存在互相影响的多种因素，然后根据因素的属性和关系分为若干层次，从而将这些问题层次化，形成一个多层次的层次结构模型^[15]。最后结合数学方法与定性分析方法，层层排序，最终计算得出各指标所占的权重。

2) 构造判断 (成对比较) 矩阵。在建立了层次结构模型后，此处引入 1-9 标度法两两比较各个层次或某一层次下各因素的相对重要性。以 A 表示目标， X_i 、 X_j ($i, j = 1, 2, \dots, n$) 表示因

素， X_{ij} 表示 X_i 对 X_j 的相对重要性数值，并由 X_{ij} 组成 $A-X$ 判断矩阵 P 。

$$P = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

3) 计算重要性排序。根据判断矩阵，求出其最大特征根 λ_{\max} 所对应的特征向量 W ：

$$P \cdot W = \lambda_{\max} \cdot W \quad (2)$$

所求特征向量 W 经归一化，即为各评价因素的重要性排序，即权重分配。

4) 一致性检验。为检验以上得到的权重分配是否合理，需要对判断矩阵进行一致性检验：

① 计算一致性 CI (Consistency Index)，计算公式为：

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (3)$$

式中 n 为矩阵阶数，且 $n > 1$ 。

② RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标, 1 ~ 9 阶的判断矩阵的 RI 值依次为: 0, 0, 0.52, 0.89, 1.12, 1.24, 1.36, 1.41, 1.45。

③ 计算一致性比例 CR (Consistency Ratio):

$$CR = CI \cdot R \quad (4)$$

若有 $CR > 0.1$, 则表明上述判断矩阵的一致性可以接受。同理可求得全部要素层各元素的权重, 并分别对其判断矩阵进行一致性检验。

按照上述方法计算得到广州市土地利用系统健康评价体系各指标的权重 (表 2)。

表 2 各评价指标权重
Table 2 The weight of each evaluation index

评价指标	p_{11}	p_{12}	p_{21}	p_{22}	p_{31}	p_{32}	p_{33}
权重	0.04	0.02	0.06	0.16	0.04	0.02	0.06
评价指标	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{21}	s_{22}	s_{23}	s_{31}
权重	0.04	0.02	0.02	0.11	0.04	0.06	0.08
评价指标	s_{32}	r_{11}	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}	—
权重	0.08	0.05	0.02	0.02	0.02	0.04	—

为消除不同评价指标的单位与量纲差异, 使得数据之间具有可比性, 采用极差标准化法对原始数据进行标准化处理, 得到各评价指标的标准化值。

2.3 土地利用系统健康评价综合评价模型构建

土地利用系统健康综合评价指标体系中的每个因素层及其对应的指标都是从不同侧面来反映土地利用系统健康的状况, 因此采用综合评价模型对将系统中的各个指标的标准化值与其相应的权重相乘后加和成综合指数, 可全面客观地反映系统的整体状况。土地利用系统健康综合指数计算公式为:

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i \quad (5)$$

式中, S 表示土地利用系统健康综合指数, W_i 表示

第 i 个指标的权重, X_i 表示第 i 个指标标准化后的值。

本文在借鉴国内外生态系统健康等级划分的基础上, 将土地利用系统健康级别分为: 病态、不健康、临界状态、亚健康以及健康 5 个等级, 其分级标准及相应含义见表 3。

3 结果与讨论

根据上述研究方法, 对所获取的数据进行处理以及利用相应模型运算后, 得出 2001 - 2012 年广州市土地利用系统健康的评价结果 (表 4)。

表 3 土地利用系统健康分级标准及其含义

Table 3 The health classification standard and its meaning of land-use system

健康级别	分值	含义
病态	0 ~ 0.2	结构完全不合理, 恢复力、服务功能非常差, 有明显的生态压力, 社会经济发展与资源利用、环境保护冲突严重;
不健康	0.2 ~ 0.4	结构很不合理, 恢复力、服务功能差, 存在明显的生态压力, 社会经济发展与资源利用、环境保护存在重大冲突;
临界状态	0.4 ~ 0.6	结构比较不合理, 恢复力、服务功能较差, 有明显的生态压力, 社会经济发展与资源利用、及环境保护存在冲突;
亚健康	0.6 ~ 0.8	结构合理, 恢复力、服务功能一般, 能抵御轻微的生态环境压力, 能承受一般经济发展、资源适度开发对土地的需求;
健康	0.8 ~ 1.0	结构合理, 子系统协调发展, 系统功能正常, 无明显的生态胁迫因子, 恢复力强, 经济发展、资源开发与环境和谐一致, 土地朝着可持续利用的方向发展。

表4 2001-2012年广州市土地利用系统诊断结果
Table 4 The diagnostic results of land-use system in Guangzhou during 2001-2012

年份	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>R</i>	综合指数	健康级别
2001	0.09	0.11	0.10	0.30	不健康
2002	0.07	0.11	0.08	0.26	不健康
2003	0.19	0.13	0.05	0.37	不健康
2004	0.19	0.15	0.07	0.40	临界状态
2005	0.18	0.11	0.11	0.40	临界状态
2006	0.20	0.13	0.07	0.39	不健康
2007	0.21	0.15	0.07	0.42	临界状态
2008	0.17	0.11	0.10	0.38	不健康
2009	0.27	0.17	0.11	0.55	临界状态
2010	0.32	0.26	0.11	0.68	亚健康
2011	0.20	0.29	0.12	0.61	亚健康
2012	0.20	0.33	0.17	0.70	亚健康

通过 EXCEL 的制图功能, 将各个年份的压力 *P*、状态 *S*、响应 *R* 以及健康综合指数以折线图的形式表示, 可以直观地了解和分析各子系统对健康综合指数的影响情况 (图 1)。

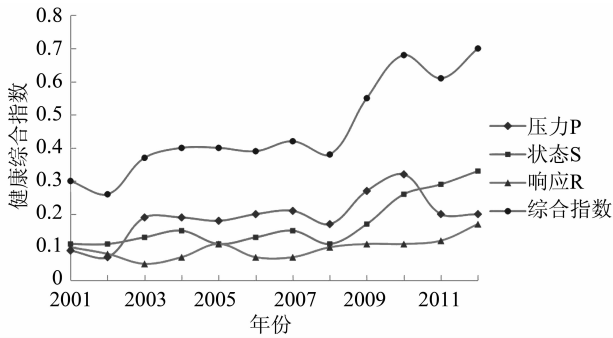


图1 土地利用系统健康结构折线图

Fig. 1 Line charts of land-use system structure

3.1 广州市土地利用系统健康水平时间差异

根据土地利用系统健康诊断结果, 2001-2012年广州市土地利用系统健康综合指数有一定幅度的波动, 但整体水平仍然偏低, 其中2001-2009年健康综合指数均低于0.6, 健康级别属于不健康或临界状态, 城市土地利用系统整体状况不容乐观。2008-2012年广州市土地利用系统健康水平总体上呈现缓慢上升趋势, 健康综合指数从2008年的0.38上升到2012年的0.70, 健康级别由不健康状态转变为亚健康状态, 表现出较为明显的时间差异特征。其中, 2004-2009年可看作是健康级别的过渡时段, 期间健康指数波动范围极小, 维持在临界状态上下; 2001-2003年土地利用系统健康指数较低, 为不健康状态, 土地利用结构不合理, 社

会经济发展与资源利用、环境保护冲突较为严重; 2009-2012年健康综合指数保持较为稳定的上升状态, 处于亚健康状态, 土地利用系统结构调整为更合理状态。

3.2 广州市土地利用系统健康水平的影响因素分析

2001-2005年期间, 广州市土地利用系统健康综合水平较低的主要原因是土地利用状态子系统得分较低, 且响应水平不高, 即前期广州市土地利用系统对压力、冲突的抗干扰能力和自我恢复能力较弱。由于当时的广州处于2001-2010年城市总体规划初期, 土地整治工作成效并未显现, 土地利用空间布局、土地集约节约利用程度等不尽完善, 经济发展对环境冲击较大, 使得广州市这一阶段城市土地利用系统健康整体水平较低。在2005年后, 广州市政府对环境与经济发展的政策调整、加强对环境保护治理力度, 使得土地利用系统状态子系统的指数缓慢上升, 响应指数逐渐上升, 使得即使在环境压力较大的情况下, 全市土地利用系统总体情况向着良好的方向发展。

土地利用系统压力是影响广州土地利用系统健康水平的另一个重要因素, 其包括人口活动、工业三废排放和土地利用的压力等。2001-2012年期间, 随着城市化的不断推进, 广州市人口空间聚集度急剧上升, 人口总量迅速增长, 另外国民生产总值以及社会固定资产投资增长速度较快, 经济和人口的高速增长导致城市的快速扩张, 各种能源消耗增加, 对生态环境造成了巨大的压力。研究时段内, 前期土地利用响应子系统指数较低, 后期呈现缓慢上升的趋势, 主要是由于政府对环境保护政策的调整, 随着政府环保教育投资的加强、工业三废以及

生活废弃物治理率的提高,使得响应子系统指数呈现逐渐上升的趋势,对城市土地利用系统健康水平的稳步提高具有积极促进作用。

4 结 论

本文通过梳理和归纳前人学者的评价体系模型以及相关理论和方法,运用层次分析法和多因素综合评价法,结合 PSR 模型对广州市 2001 - 2012 年 20 余项指标进行相关运算处理,从宏观层次和中观层次对广州市近年的土地利用系统状况进行了动态评价研究。结果表明,广州市土地利用健康水平总体呈现逐步提高的趋势,各阶段土地利用健康水平变化趋势与城市实际发展情况大致相符。同时,

在政策响应水平、相关投资方面仍需加强,不断提高土地利用集约程度、环境保护力度等,才能更有效地促进广州市土地利用系统的健康发展。PSR 模型能准确的反映土地利用系统、社会经济发展和管理决策之间的相互依存、相互制约的关系,进而有效剖析土地利用系统健康评价指标各要素之间的内在联系。但由于研究水平、时间以及可获取资料的限制,本文还存在一些不足之处:在构建土地利用系统健康评价指标体系时,个别指标的数据无法获取,虽然本文中已用其他可获取指标替换了不可获取的指标,但导致评价指标体系中以正向指标为主,缺乏负向指标,指标体系覆盖在一定程度上不够全面。

参考文献:

- [1] 李永乐,吴群,舒帮荣. 城市化与城市土地利用结构的相关研究[J]. 中国人口资源与环境,2013,23(4):104 - 110.
LI Y L, WU Q, SHU B R. Correlation study between urbanization and urban land use structure[J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(4): 104 - 110.
- [2] LEOPOLD A. Wilderness as a land laboratory[J]. Living Wilderness, 1941, 7(6): 3 - 10.
- [3] 肖风劲,欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J]. 自然资源学报,2002,17(2):203 - 209.
XIAO F J, OU Y H. Ecosystem health and its evolution indicator and method[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(2): 203 - 209.
- [4] 蔡为民,唐华俊,陈佑启,等. 土地利用系统健康评价的框架与指标选择[J]. 中国人口资源与环境,2004,14(1):31 - 35.
CAI W M, TANG H J, CHEN Y Q, et al. Framework of conception and option of health assessment index in land use system[J]. China Population, Resources and Environment, 2004, 14(1): 31 - 35.
- [5] 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.
ZHENG H W, ZHANG R, YANG X D, et al. Health evaluation on land use system based on the PSR model and diagnosis of its obstacle indicators[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(9): 1099 - 1105.
- [6] 杨志,赵冬至,林元烧. 基于 PSR 模型的河口生态安全评价指标体系研究[J]. 海洋环境科学,2011,30(1):139 - 142.
YANG Z, ZHAO D Z, LIN Y S. The evaluating index system for estuary ecosystem safety based on PSR model[J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(1): 139 - 142.
- [7] 张晓琴,石培基. 基于 PSR 模型的兰州城市生态系统健康评价研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(3):77 - 82.
ZHANG X Q, SHI P J. The assessment of urban ecosystem health based on PSR model—A case study of Lanzhou city[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(03): 77 - 82.
- [8] 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.
ZHANG R, LIU Y Z, CHOU J L. Dynamic evaluation of health of land use system in China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(2): 197 - 203.
- [9] 郑华伟,张锐,刘友兆. 基于物元分析的土地利用系统健康诊断[J]. 中国土地科学,2012,26(11):33 - 39.
ZHENG H W, ZHANG R, LIU Y Z. Health diagnosis on land use system based on matter element analysis[J]. China Land Sciences, 2012, 26(11): 33 - 39.
- [10] 广东省统计局. 广东统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2002 - 2013.
Statistics Bureau of Guangdong Province. Guangdong statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2002 - 2013.
- [11] 广东农村统计年鉴编辑委员会. 广东农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2002 - 2013.
The editorial board of Guangdong Statistical Yearbook on agriculture. Guangdong statistical yearbook on agriculture [M]. Beijing: China Statistics Press, 2002 - 2013.
- [12] 广州市统计局. 广州统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2002 - 2013.
Guangzhou Statistics Bureau. Guangzhou statistical year-

- book[M]. Beijing:China Statistics Press,2002-2013.
- [13] 段豪伟,孙鹏举,刘学录,等. 基于“低碳”理念的城市土地利用系统健康评价研究[J]. 中国农学通报, 2015,31(21):188-193.
DUAN H W, SUN P J, LIU X L, et al. Evaluation research on the health of city land use system based on the “low carbon” concept[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2015,31(21):188-193.
- [14] 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.
GUO J, WU B. Health assessment on land use system [J]. China Land Science,2011,25(4):71-77.
- [15] 常建娥,蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2007,29(1):153-156.
CHANG J E,JIANG T L. Research on the weight of coefficient through analytic hierarchy process[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Information & Management Engineering),2007,29(1):153-156.
- [16] 龚建周,夏北成,郭烁. 城市生态安全评价与预测模型研究[J]. 中山大学学报(自然科学版),2006(1):107-111.
GONG J Z,XIA B C, GUO L. Assessment and prediction models of urban ecological security[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni,2006(1):107-111.
- [17] XIAO S S,HUANG X J,PENG B Z. Coordinative development between land use change and regional population-resources-environment-development system—A case study of Jiangsu Province[J]. Chinese Geographical Science,2007,17(4):289-296.
- [18] SUN T T,LIN W P, CHEN G S, et al. Wetland ecosystem health assessment through integrating remote sensing and inventory data with an assessment model for the Hangzhou Bay, China[J]. Science of the Total Environment, 2016,566/567:627-640.
- [19] 龚建周,刘彦随,张灵. 广州市土地利用结构优化配置及其潜力[J]. 地理学报,2010,65(11):1391-1400.
GONG J Z,LIU Y S,ZHANG L. The optimal allocation of land use and its potential appraisal in Guangzhou city [J]. Acta Geographica Sinica,2010,65(11):1391-1400.
- [20] 于斌,梁留科. 河南省东北部农用地健康评价[J]. 中国土地科学,2012(8):60-66.
YU B,LIANG L K. Assessment on the health of agricultural land in the northeastern part of Henan province [J]. China Land Sciences,2012(8):60-66.
- [21] 路正,陈英,魏苹,等. 基于熵权可拓物元模型土地利用系统健康诊断——以河西走廊为例[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(1):258-263.
LU Z,CHEN Y,WEI P, et al. Health diagnosis of land use system based on entropy-weighted extentic matter-element model[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2017,35(1):258-263.
- [22] 安佑志. 典型风景名胜城市生态系统健康评价——以广西壮族自治区阳朔县为例[J]. 中国农学通报, 2017,33(1):106-110.
AN Y Z. Ecosystem health assessment of typical scenic urban area—A case of Yangshuo county,Guangxi[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2017,33(1):106-110.
- [23] 刘宝涛,王冬艳,刘惠清. 基于 DPSIR 模型与 TOPSIS 算法的吉林省土地利用系统健康诊断[J]. 吉林农业大学学报,2017,39(1):74-81.
LIU B T,WANG D Y,LIU H Q. Health diagnosis of land use system based on DPSIR model-TOPSIS method in Jilin province[J]. Journal of Jilin Agricultural University,2017,39(1):74-81.
- [24] 刘宝涛,王冬艳,刘惠清. 城镇化发展与土地健康利用协同演化关系——以长春市为例[J]. 经济地理, 2016,36(10):76-83.
LIU B T,WANG D Y,LIU H Q. Co-Evolution relationship between urbanization development and healthy land utilization: A case study of Changchun [J]. Economic Geography,2016,36(10):76-83.
- [25] 洪惠坤,廖和平,魏朝富,等. 基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价[J]. 生态学报,2015,35(24):8016-8027.
HONG H K,LIAO H P,WEI C F, et al. Health assessment of a land use system used in the ecologically sensitive area of the Three Gorges reservoir area, based on the improved TOPSIS method [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015,35(24):8016-8027.
- [26] 何新,姜广辉,张瑞娟,等. 基于 PSR 模型的土地生态系统健康时空变化分析——以北京市平谷区为例 [J]. 自然资源学报,2015,30(12):2057-2068.
HE X,JIANG G H,ZHANG R J, et al. Temporal and spatial variation of land ecosystem health based on the Pressure-State-Response model: A case study of Pinggu District, Beijing [J]. Journal of Natural Resources, 2015,30(12):2057-2068.