

基于三角模型的土地生态安全动态评价

——以西安市为例

祝培甜, 赵中秋, 陈勇, 刘少青, 李茜

(中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083)

摘要:土地生态安全关乎人类的生存与发展,是土地资源可持续利用的核心。针对西安市的土地利用特点,选取自然、经济、社会各方面的15项评价指标,从经济可行性指数(EI)、非社会可接受性指数(NSI)和非资源环境合理性指数(NREI)三方面构建了三角模型,对西安市2005—2013年土地生态安全的状态和趋势进行了动态评价。结果表明:(1)三角模型在土地生态安全评价方面具有可行性;(2)西安市土地生态安全状态向积极方向发展。从2005年的不安全状态,演变为了2013年的一般安全状态;(3)西安市土地生态安全的变化相对有弱安全趋势→很安全趋势→一般安全趋势→很安全趋势→弱安全趋势五种变化趋势,总的来说是趋于向安全的方向发展,说明西安市土地利用日趋合理。

关键词:土地生态安全; 状态及趋势分析; 三角模型; 西安市

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)01-0244-05

Dynamic Assessment of Land Ecologic Safety Based on Triangle Model

—A Case Study of Xi'an City

ZHU Peitian, ZHAO Zhongqiu, CHEN Yong, LIU Shaoqing, LI Qian

(School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The relationship between land use ecology safety and human survival and development is extremely close, and land use ecology is the core idea of land use sustainable development. According to land use characteristics in Xi'an City, we selected 15 indexes from natural economic and social perspectives, and established the evaluation system from economic availability index (EI), non-social availability index (NSI), non resource environment appropriateness index (NREI), and carried out the dynamic assessment of the status and trend of ecologic safety of Xi'an City from 2005 to 2013 based on triangle model. The results showed as follows. The triangle model was appropriate in land ecologic safety assessment. The development of land ecologic safety of Xi'an City showed the positive trend, evolving from unsafety in 2005 to general safety in 2013. The trend of land ecologic safety of Xi'an City varied as the principle: from weak safety to strong safety to general safety to strong safety to weak safety. Overall, land ecologic safety of Xi'an City showed the more positive trend and its land use was becoming more appropriate.

Keywords: land ecologic safety; status and trend analysis; triangle model; Xi'an City

土地是人类赖以生存的家园,是社会经济和生态功能的载体。然而随着人类对自然资源的利用程度逐渐加大,且不注重保护生态环境,造成了一系列诸如土壤污染、土地沙化、土壤盐碱化、草场退化等土地生态问题,土地生态安全逐渐受到威胁。土地生态安全是指一定时间和空间范围内,土地生态系统能够保持自身结构、功能稳定或不受干扰的状态^[1]。土地生

态安全关乎人类生存与发展,是土地资源可持续利用的核心。因此,研究土地生态安全对缓解人地矛盾,人口、资源与环境的协调发展具有重要的作用^[2]。对土地生态安全进行评价,能够掌握土地生态安全的确切状态,是进一步进行土地利用规划、土地生态安全环境等研究的重要依据^[3]。

目前,土地生态安全评价已从定性研究更多转向

了定量研究,研究方法主要包括:层次分析法、主成分分析法、神经网络法、PSR 模型、生态足迹法、景观指数法、模糊综合评判法、物元模型等^[4-7]。然而,这些方法都仅仅能够对现状进行分析,不能够有效地揭示出区域土地生态安全动态演变趋势,为了克服这一问题,本文引入三角模型对西安市土地生态安全进行评价,以期找到一种更合适的方法对土地生态安全进行研究。

西安市地处陕西中部,是陕西省的省会,陕西乃至整个西北的经济、文化中心。随着西安市经济的迅猛发展,土地生态问题也越来越严重。西安市的土地生态安全关乎整个大西北的土地可持续利用,因此对其进行评价就显得格外重要,评价结果能够为西安市的土地利用提供一定的参考依据。

1 研究区概况与数据来源

西安市位于黄河流域中部关中盆地,东经 107.40°—109.49°和北纬 33.42°—34.45°,地处中国陆地版图中心,是长三角、珠三角和京津冀通往西北和西南的门户城市与重要交通枢纽,北濒渭河,南依秦岭,八水环绕(渭、泾、沣、涝、灞、泾、灞、泾),自然景观优美。西安市 2014 年年末全市总人口 862.75 万人,土地总面积 10 096.81 km²,年平均气温 15.8℃,年降雨量 423.9 mm,日照总时长 2 190.5 h,平均风速 2.3 m/s。耕地面积 24.41 万 hm²,林地面积 50.839 万 hm²,全市水面面积 0.64 万 hm²,水资源总量 18.87 亿 m³。

近年来,西安市经济发展迅速,城市化和工业化进程不断加快,导致区域土地结构与布局不断发生变化,势必对区域土地生态安全造成一定的影响。本文研究数据主要来源于 2006—2014 年的陕西省统计年鉴,以及 2006—2014 年西安市统计年鉴。

2 研究方法

2.1 三角模型概述

三角模型最早是由美国农业部分析土壤类型时提出^[8],它可以对三个相互联系的体系进行分析和可视化表达,并且可以分析其变化趋势。三角模型直观、简明,容易被有关学者理解,所以广泛应用于环境科学、土地利用等方面。本文是对土地生态安全进行

动态评价,揭示其随时间演变的发展规律,此外土地生态安全的目标是维持和完善土地生态系统的结构和功能,协调人地关系,提高土地利用的自然、经济、社会效益,因此对土地生态安全进行研究必须综合考虑自然、经济、社会这三个相互关联的系统。所以,本文利用三角模型的优势,对西安市土地生态安全进行评价。

土地生态系统是一个自然—经济—社会的复合系统,因此本文选择经济可行性指数(EI)、非社会可接受性指数(NSI)和非资源环境合理性(NREI)三组相互关联的指数,利用三角模型进行土地生态安全状态及变化趋势的定量评价(图 1)。

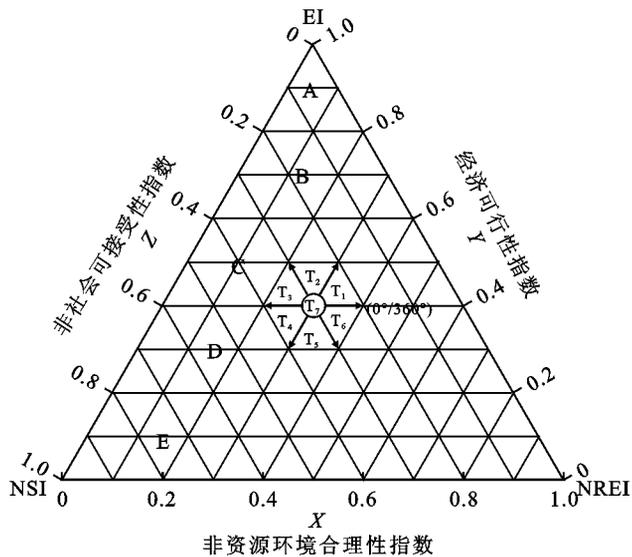


图 1 三角模型图

图 1 中的三角形为等边三角形,三个顶点分别为 EI, NSI 和 NREI。X 轴代表非资源环境合理性指数, Y 轴代表经济可行性指数, Z 轴代表非社会可接受性指数,每个轴沿逆时针方向从 0 到 1,每个轴平均分为 5 个指数范围,其中 0~0.2 表示“非常低”,0.2~0.4 表示“较低”,0.4~0.6 表示“中等”,0.6~0.8 表示“较高”,0.8~1 表示“非常高”。三角形区域从上到下又分为 5 个区域:A, B, C, D, E,分别表示五种土地生态安全状态(图 1,表 1),同时根据 EI, NSI, NREI 三个指数的相对比例,可以确定 7 个相对变化趋势,即 T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇(图 1,表 2)。

表 1 土地生态安全状态评价

区域	指标数值范围			相对指数值			对土地生态安全状态
	EI	NSI	NREI	EI	NSI	NREI	
A	0.8~1.0	0~0.2	0~0.2	非常高	非常低	非常低	非常安全
B	0.6~0.8	0~0.4	0~0.4	较高	非常低—较低	非常低—较低	很安全
C	0.4~0.6	0~0.6	0~0.6	中等	非常低—中等	非常低—中等	一般安全
D	0.2~0.4	0~0.8	0~0.8	较低	非常低—较高	非常低—较高	弱安全
E	0~0.2	0~1.0	0~1.0	非常低	非常低—非常高	非常低—非常高	不安全

表 2 土地生态安全相对趋势评价表

趋势	变化范围	指数变化的相对方向			相对安全趋势
		EI	NSI	NREI	
T ₁	0°—60°	↑	↓	↑	一般安全
T ₂	60°—120°	↑	↓	↓	很安全
T ₃	120°—180°	↑	↑	↓	一般安全
T ₄	180°—240°	↓	↑	↓	弱安全
T ₅	240°—300°	↓	↑	↑	不安全
T ₆	300°—360°	↓	↓	↑	弱安全
T ₇	无变化	—	—	—	原始状态

注：“↑”表示值增加，“↓”表示值减小，“—”表示值不变。

2.2 构建评价指标体系

评价指标的选取直接关系到评价结果的准确性。指标选取主要遵循如下原则：差异性原则、可操作性原则、数据可获取性原则^[9]。评价因子的选取首先根据

参考文献^[10-12]初步建立指标体系；其次依据数据来源、可测性、独立性等对指标体系进行简化处理；最后根据土地生态安全的特点、经济条件和发展目标，确定评价因子及其所属的指标类型。在具体应用中，评价因子应先通过显著性水平 $p=0.05$ 及相关系数 $r<0.7$ 的相关性检验。由于土地生态系统是一个自然—经济—社会的复合生态系统，涉及自然、经济、社会三个方面，再结合三角模型的特点，评价指标应从经济可行性、社会可接受性和资源环境合理性三方面选取。其中经济可行性指数表征土地生态系统的经济条件、社会可接受性指数表征土地生态系统的社会条件、资源环境合理性指数表征土地生态系统的自然条件。指标选取的结果见表 3。

表 3 西安市土地生态安全评价指标体系

准则层	指标层	指标代号	指标性质	权重(w_j)
经济可行性	人均 GDP(元/人)	X ₁	正指标	0.2455
	经济密度(万元/km ²)	X ₂	正指标	0.1284
	第三产业占 GDP 比重(%)	X ₃	正指标	0.1593
	地均固定资产投资(万元/km ²)	X ₄	正指标	0.2163
	人均可支配收入(元)	X ₅	正指标	0.2505
社会可接受性	人口密度(人/km ²)	X ₆	负指标	0.2831
	城市化水平(%)	X ₇	负指标	0.3034
	恩格尔系数(%)	X ₈	负指标	0.1646
	就业率(%)	X ₉	正指标	0.1305
	路网密度(km/km ²)	X ₁₀	正指标	0.1184
资源环境合理性	森林覆盖率(%)	X ₁₁	正指标	0.2321
	水土流失治理率(%)	X ₁₂	正指标	0.3422
	工业废水处理率(%)	X ₁₃	正指标	0.1382
	工业固体废物综合利用率(%)	X ₁₄	正指标	0.1287
	建成区绿化覆盖率(%)	X ₁₅	正指标	0.1588

2.3 数据标准化

不同指标的量纲不同，因此要对指标值进行标准化处理。本文采用的是极值标准化法。

对于正指标：

$$X_{ij} = [x_{ij} - \min(x_{ij})] / [(\max(x_{ij}) - \min(x_{ij}))] \quad (1)$$

对于负指标：

$$X_{ij} = [\max(x_{ij}) - x_{ij}] / [(\max(x_{ij}) - \min(x_{ij}))] \quad (2)$$

式中： X_{ij} ——第 i 个准则层第 j 个指标的标准化值； x_{ij} ——第 i 个准则层第 j 个指标的原始值； $\max(x_{ij})$ ——某项指标的最大值； $\min(x_{ij})$ ——某项指标的最小值。

2.4 确定指标权重

目前，确定权重的方法很多，主要有：主成分分析法、层次分析法、专家打分法、模糊综合评判法、灰色综合评价法等。由于层次分析法是主观与客观相结合的方法，可信度大，应用范围广，所以本文选择层次分析法确定指标权重。指标权重满足以下关系：

$$\sum_{j=1}^5 w_j = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j=6}^{10} w_j = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{j=11}^{15} w_j = 1 \quad (5)$$

其中 w_{ij} 表示第 i 个准则层第 j 个指标的权重。确定的指标权重见表 3。

2.5 计算综合指数

数据标准化和确定指标权重后，就可以计算综合指数。文章选用加权平均法分别计算西安市 2005—2013 年的经济可行性指数(EI)、社会可接受性指数(SI)和资源环境合理性(REI)三个综合指数，计算公式如下：

$$EI_i = \sum_{j=1}^5 X_{ij} \cdot w_j \quad (i=1,2,\dots,9) \quad (6)$$

$$SI_i = \sum_{j=6}^{10} X_{ij} \cdot w_j \quad (i=1,2,\dots,9) \quad (7)$$

$$REI_i = \sum_{j=11}^{15} X_{ij} \cdot w_j \quad (i=1,2,\dots,9) \quad (8)$$

其中 $i=1,2,\dots,9$ 分别表示 2005 年, 2006 年, \dots , 2013 年。

考虑到三角模型是从经济可行性(EI)、非社会可接受性(NSI)和非资源环境合理性(NREI)三个方面构建,所以要进行如下指数变换: $NSI_i = 1 - SI_i$, $NREI_i = 1 - REI_i$ ($i=1, 2, \dots, 9$), 然后用 Grapher 构建三角图。EI 越大, NSI 和 NREI 越小, 土地生态安全性越高。

3 结果与分析

运用式(6)~(8)和指数变换公式计算西安市 2005—2013 年的土地生态安全指数, 见表 4。

表 4 西安市土地生态安全评价各指数值

年份	经济可行性指数	非社会可接受性指数	非资源环境合理性指数
2005	0.1516	0.3639	0.7968
2006	0.1480	0.4617	0.7414
2007	0.4165	0.4889	0.6778
2008	0.5261	0.4957	0.4802
2009	0.5913	0.5754	0.4729
2010	0.5912	0.5020	0.5138
2011	0.5979	0.5880	0.2294
2012	0.7587	0.5860	0.2095
2013	0.7686	0.6964	0.1969

从表 4 可以看出西安市经济可行性指数(EI)逐年增加, 且增加速度比较快, 这是因为西安市作为陕西省省会、西北区域中心城市, 产业比较兴盛, 特别是国家实施西部大开发战略和《关中—天水经济区发展规划》以来, 经济发展迅猛, 尤其是二三产业, 形成了高新技术产业、装备制造业、旅游产业、现代服务业、文化产业五大主导产业和“五区一港两基地”的发展格局, 西安以每年超过 10% 的 GDP 增长率引领着整个陕西经济的发展。非社会可接受性指数(NSI)逐年缓慢增加, 这也就意味着社会可接受性逐年缓慢减小, 这是因为西安市经济的快速发展, 也带动了西安市的快速城市化进程, 2005—2013 年城市化率增长超过 10 个百分点, 大量人口涌向城市, 也就造成了人口密度的集聚扩大, 到 2013 年年底, 西安市人口已达 807 万, 人口的大量涌入会加大对城市能源的消耗, 产生各种生产生活废物, 势必会对区域土地生态环境造成严重的影响。非资源环境合理性指数(NREI)总体上逐年快速降低, 只有 2010 年稍有升高, 这是因为一方面西安市几十年来一直施行飞播造林的政策, 使西安市的森林覆盖率逐年增加, 从 2005 年的 38.2% 增长到 2013 年的 47.0%, 此外西安市于 2011 年举办世园会, 建成了如关中园、五大流派园等一系列特色生态园区, 且于 2013 年开始创建园林城市, 不断加强城市的绿化建设, 另一方面西安市每年都在加

大水土流失治理力度, 通过土地整治等工程技术措施有效地防止了土壤流失, 提高了水土协调度, 使西安市的资源更丰富、环境更美好。

基于表 4 的西安市土地生态安全评价各指数值数据, 运用 Grapher 软件得到西安市 2005—2013 年土地生态安全的状态及趋势图, 见图 2。

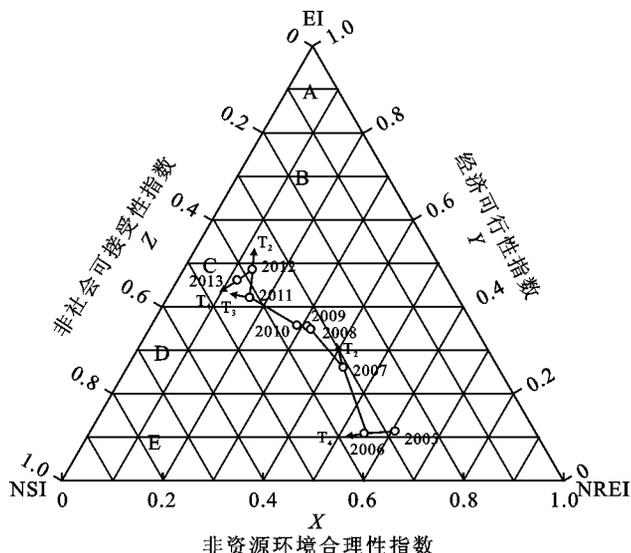


图 2 西安市 2005—2013 年土地生态安全的转态及趋势

3.1 土地生态安全状态分析

从图 2 可以看出, 西安市土地生态安全状态主要分为 3 个阶段。第一个阶段是 2005 年和 2006 年, 处于 E 区, 是不安全状态。这两年年 EI 值很低, 都小于 0.2, 同时 NSI 和 NREI 比较高, 造成了土地生态安全处于不安全状态。第二阶段是 2007—2010 年, 处于 D 区, 是弱安全状态。这几年 EI 持续快速增长, 处于 0.2~0.4 之间, 且有继续增长的趋势, 这与西安市经济水平的快速增长密不可分; NSI 略有增加, 这是由快速城市化造成的; 同时 NREI 快速减小, 西安市的资源得到了更加合理的利用, 环境也得到了极大的改善, 由此造成西安市土地生态安全处于弱生态安全状态。第三阶段是 2011—2013 年, 处于 C 区, 是一般安全状态。这三年 EI 继续增长, 处于 0.4~0.6 之间, 依旧是因为经济水平的提高, 特别是二三产业的蓬勃发展; NSI 略有上涨, 城市的人口压力进一步加大; NREI 急速下降, 西安世园会的圆满举行与园林城市的创建对其产生了重要的影响, 由此造成土地生态安全处于一般安全状态。总体来说, 西安市土地生态安全状态由 E 到 D 再到 C, 由不安全到弱安全再到一般安全, 安全状态在不断提高。

3.2 土地生态安全趋势分析

由图 2 可以看出, 2005—2013 年西安市土地生态安全趋势是由弱安全发展为一般安全, 其 EI 值由

0.151 6 上升到了 0.768 6, 上升速度与幅度都很大, 表现为西安市经济水平的急速发展, 市民生活水平的不断提高; NSI 值 0.363 9 上升到了 0.696 4, 表现为西安市城市化水平的提高, 造成城市人口密度的不断加大, 土地的生态压力不断加大, 社会可接受性下降; NREI 值 0.796 8 下降到了 0.196 9, 下降的速度和幅度也非常大, 表现为西安市资源的保护与合理利用以及环境治理力度的加大。

具体来看, 从 2005—2013 年, 西安市土地生态安全评价状态存在着 4 个比较明显的拐点, 即有五个变化趋势, 如图 2 所示。2005—2006 年, 土地生态安全趋势是 T_4 , 即弱安全趋势, EI 值和 NREI 值都有所减小, 而 NSI 值有所增大; 2006—2007 年, 土地生态安全趋势为 T_2 , 即很安全趋势, EI 值和 NSI 值由所增大, 而 NREI 值有所减小, 相对于上一阶段 T_4 , 土地利用更加合理, 土地生态更加安全; 2007—2011 年, 土地生态安全趋势为 T_3 , 即一般安全趋势, EI 值和 NSI 值波动上升, NREI 值波动下降, 经济增长速度有所降低, 资源环境更加和谐, 总体安全度不如上一个阶段; 2011—2012 年, 土地生态安全趋势为 T_2 , 即很安全趋势, EI 值上升, NSI 值和 NREI 值下降, 这是最和谐的一种状态, 土地生态最为安全; 2012—2013 年, 土地生态安全趋势为 T_4 , 即弱安全趋势, EI 值和 NSI 值上升, NREI 值下降, 表明社会可接受性下降, 人们生活舒适度降低。

4 结论和讨论

(1) 三角模型在土地生态安全评价方面具有可适性, 它可以清晰地展现出土地生态安全的状态和趋势。

(2) 总体来说, 2005—2013 年, 西安市经济可行性指数逐渐升高、非社会可接受性指数缓慢升高、非资源环境合理性指数逐渐降低。反映西安市的社会接受性指数逆向发展, 经济可行性指数和资源环境合理性指数稳步提升。

(3) 西安市土地生态安全状态逐渐变好, 比较乐观。自 2005 年以来经历了弱安全趋势、很安全趋势、一般安全趋势、很安全趋势、弱安全趋势 5 种变化趋势。其安全状态也由 2005—2006 年的不安全状态, 转为了 2007—2010 年的弱安全状态, 最后转为了 2011—2013 年的一般安全状态, 总的来说是趋于向安全的方向发展。

从西安市土地生态安全的评价中可以看出, 要实现土地生态更加安全, 应该注意以下几个问题: (1) 调整产业结构。继续大力发展第三产业, 使产业结构更加合

理, 经济水平更加稳健的提高。(2) 控制西安市的人口。经济的发展吸引了周边市县的人口流入, 推动了城市化进程, 造成了西安市人口密度的快速增加, 这必然导致土地生态安全压力的增大, 因此控制人口显得十分必要。(3) 大力发展交通业。交通是最重要的基础设施之一, 城市人口的快速增加使人们工作出行与生活出行的难度进一步加大, 交通用地的压力也进一步加大, 只有大力发展交通, 才能使人们的生活更加便捷, 更能融入到土地生态系统当中。(4) 保护资源环境。继续推行飞播造林的政策, 增加森林覆盖率。另一方面加大水土流失治理力度, 以实现可持续发展和促进生态文明建设。(5) 人口、资源与环境的和谐发展。把城市的规划、建设与秦岭的利用、八水的恢复治理结合起来, 实现山水同构, 同时也能突出西安市的山水特色。

参考文献:

- [1] 余健, 房莉, 仓定帮, 等. 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 260-266.
- [2] 孙丕苓, 杨海娟, 刘庆果. 南水北调重要水源地的土地生态安全动态研究: 以陕西省商洛市为例[J]. 自然资源学报, 2012, 27(9): 1520-1530.
- [3] 黄辉玲, 罗文斌, 吴次芳, 等. 基于物元分析的土地生态安全评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 316-322.
- [4] 李明月, 赖笑娟. 基于 BP 神经网络方法的城市土地生态安全评价: 以广州市为例[J]. 经济地理, 2011, 31(2): 289-293.
- [5] 张军以, 苏维词, 张凤太, 等. 基于 PSR 模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价[J]. 中国环境科学, 2011, 31(6): 1039-1044.
- [6] 黄海, 刘长城, 陈春, 等. 基于生态足迹的土地生态安全评价研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 193-196, 201.
- [7] 蒙吉军, 赵春红, 刘明达. 基于土地利用变化的区域生态安全评价: 以鄂尔多斯市为例[J]. 自然资源学报, 2011, 26(4): 578-590.
- [8] 赵艳, 濮励杰, 张健, 等. 基于三角模型的城市土地可持续利用评价: 以江苏省无锡市为例[J]. 经济地理, 2011, 31(5): 810-815, 838.
- [9] 罗文斌, 吴次芳, 吴一洲, 等. 城市土地生态水平物元分析评价: 以山东省滨州市为例[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3818-3827.
- [10] 张小虎, 牛海鹏, 郭增长. 基于三角模型的城市土地生态安全区域差异分析: 以河南省为例[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(2): 21-30.
- [11] 史兴兴, 冯忠江, 刘云亮, 等. 基于三角模型的河北省正定县土地利用效益评价[J]. 水土保持通报, 2012, 32(2): 206-210.
- [12] 李佳, 雷国平, 崔明哲, 等. 基于三角模型的矿业城市土地利用可持续性评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 196-201.