

李 丹, 韩书成, 易森鹏, 等. 基于 PSR 模型和突变理论的土地利用总体规划生态风险评价——以广州市为例[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(11): 222–225.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.11.059

基于 PSR 模型和突变理论的土地利用总体规划生态风险评价 ——以广州市为例

李 丹¹, 韩书成¹, 易森鹏², 张燕纯¹

(1. 华南理工大学公共管理学院, 广东广州 510640; 2. 广东友元国土信息工程有限公司, 广东广州 510640)

摘要:土地利用总体规划生态风险评价对于区域生态环境的保护、规划实施可能导致的不利生态效应的减少、人地协调发展的实现具有重要意义。运用压力-状态-响应(PSR)模型,从压力、状态、响应3方面构建评价指标体系,并采用改进的突变评价法构建定量模型,以广州市土地利用总体规划为例进行实证研究。结果显示,在规划实施期内,区域生态风险总体呈降低趋势,表明该规划对土地利用生态保护具有积极作用,规划的编制具有较强的科学性和合理性。但规划期内生态风险处于较高和高等级别,也反映该规划的编制对生态风险的考虑不够全面,规划还有较大的修改完善空间。

关键词:土地利用总体规划;生态风险;PSR模型;突变评价法;广州市

中图分类号: F301.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)11-0222-04

20 世纪 90 年代,随着人们对环境影响评价认知的深入以及环境风险评价理论的逐步兴起和发展^[1],生态风险评价引起学者的高度关注,并逐渐成为发现和解决环境问题的决策基础^[2]。生态风险评价是指研究区域在受到 1 个或多个胁迫因素影响后,对已经发生或正在发生不利生态效应的可能性进行评价的一种方法^[1-3]。当前生态风险评价的研究多以单一具体事物为对象^[4-6],对多风险源、多受体的综合性规划分析较少。而土地利用总体规划作为一项强烈的人类干扰活动,其实施会对生态系统结构和功能产生重大影响,相应地也会产生生态风险^[7],且它对生态环境的影响往往比单一具体事物更为深刻。因此,在土地利用总体规划中引入生态风险评价机制,对于有效规避生态风险、提高土地利用决策的科学

性、实现人地协调发展具有重要意义。

当前国内学者对土地利用总体规划的生态风险评价主要运用的方法有生态系统服务价值法、综合评价指数法和正态云模型等^[8-12],这些方法多是单纯从指标相互作用关系的静态设计出发,忽略了区域土地利用生态状况的动态变化,难以进行较全面的生态监测,且在权重确定上,多采用主观性较强的层次分析法(AHP)^[13-14],客观性不足。本研究采用改进的突变评价法构建定量模型,运用突变级数对各个目标进行量化,可以不考虑权重的影响,既克服了主观性,还易于计算,同时运用压力-状态-响应 PSR 模型构建指标评价体系,以《广州市土地利用总体规划(2006—2020 年)》为对象开展生态风险评价的实证研究。

1 研究方法

1.1 突变评价法

突变理论(catastrophe theory)是由法国数学家 Thom 创立的一门研究突变现象的新兴数学科学,主要研究从一种稳定组态跃迁到另一种稳定组态的现象和规律,特别适合内部作用机制尚未确知系统的研究^[15]。土地利用总体规划生态风险产生的实质是系统由安全组态向不安全组态的跃迁,且规

收稿日期:2016-11-22

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(编号:2014ZM0081);

国家自然科学基金面上项目(编号:51579105)。

作者简介:李 丹(1992—),女,广东梅州人,硕士,研究方向为土地资源调查与评价、土地利用规划与管理。E-mail: danl0602@163.com。

通信作者:韩书成,博士,副教授,研究方向为土地资源调查与评价、土地利用规划与管理。E-mail: schan@scut.edu.cn。

[9]宋为超,刘春雨,徐 娇,等. 初花后土壤碱解氮浓度对棉花生物量和氮素累积特征的影响[J]. 作物学报,2013,39(7):1257–1265.

[10]Smith C J, Chalk P M, Noble C L, et al. Nitrogen fixation in a white clover – grass pasture irrigated with saline groundwater [J]. Irrigation Science, 1993, 13(4): 189–194.

[11]李发永,王兴鹏,林 杰. 不同矿化度的微咸水滴灌对红枣根区

土壤碱解氮的影响[J]. 干旱区研究,2013,33(3):424–429.

[12]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:56–57.

[13]侯红雨. 温室滴灌条件下氮素转化运移规律研究[D]. 北京:中国农业科学院,2002.

[14]刘长海,刘 冲,陈宗礼,等. 榆林市黄河沿岸枣园土壤碱解氮的初步分析[J]. 湖北农业科学,2008,47(8):895–896.

划在确定或调整土地利用结构或布局时,内部作用机制复杂^[16],因此应用突变理论进行分析和评价较为适合。

1.1.1 常用的突变理论基本模型 在控制空间不超过四维

表 1 常用的突变模型

突变模型	控制变量维数	势函数	分叉方程	归一化公式
折叠突变	1	$V_1(x) = \frac{1}{3}x^3 + a_1x$	$a_1 = -3x^2$	$x_1 = a_1^{1/2}$
尖点突变	2	$V_2(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}a_1x^2 + a_2x$	$a_1 = -6x^2, a_2 = 8x^3$	$x_1 = a_1^{1/2}$ $x_2 = a_2^{1/3}$
燕尾突变	3	$V_3(x) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}a_1x^3 + \frac{1}{2}a_2x^2 + a_3x$	$a_1 = -6x^2; a_2 = 8x^3; a_3 = -2x^4$	$x_1 = a_1^{1/2}$ $x_2 = a_2^{1/3}$ $x_3 = a_3^{1/4}$
蝴蝶突变	4	$V_4(x) = \frac{1}{6}x^6 + \frac{1}{4}a_1x^4 + \frac{1}{3}a_2x^3 + \frac{1}{2}a_3x^2 + a_4x$	$a_1 = -10x^2; a_2 = -20x^3;$ $a_3 = -15x^4; a_4 = -4x^5$	$x_1 = a_1^{1/2}$ $x_2 = a_2^{1/3}$ $x_3 = a_3^{1/4}$ $x_4 = a_4^{1/5}$

注: $V_n(x)$ 为系统的状态变量 x 的势函数, a_1, a_2, a_3, a_4 表示该状态变量的控制变量。

1.1.2 突变模型的改进 常用突变模型在使用时一般只适用于不多于 4 个因子的指标评价,当因子指数大于 4 时,一般只能通过因子分析来减少因子数量,这样使得评价指标数量大大减少,影响评价指标的全面性和科学性。为扩大突变模型在生态评价中的应用范围,针对原有模型进行改进,通过对表 1 中 4 种常用的突变模型势函数和归一化公式的观察、分析和归纳,可以推出突变模型维数 ≥ 5 时的势函数和相应的归一化公式的一般表达式:

$$V_n(x) = \frac{1}{n+2} \cdot x^{(n+2)} + \frac{1}{n} \cdot a_1x^n + \frac{1}{n-1} \cdot a_2x^{(n-1)} + \frac{1}{n-2} \cdot a_3x^{(n-2)} + \cdots + a_nx; \quad (1)$$

$$x_1 = a_1^{1/2}, x_2 = a_2^{1/3}, x_3 = a_3^{1/4}, \cdots, x_n = a_n^{1/(n+1)}. \quad (2)$$

式(1)中: n 为正整数,当 $n \leq 4$ 时,即为表 1 中的 4 种常见突变模型。

1.1.3 突变评价的步骤 (1)构建评价指标体系。根据指标维数,选取合适的突变评价模型。(2)对原始数据进行指标标准化。将原始数据转化为 0~1 范围内的无量纲可比化数值。(3)归一运算。利用归一公式,按照“互补”或“非互补”的原则进行综合量化递归运算,求出评价系统总突变隶属度值。(4)重复上述步骤,分别计算出不同评价系统的总突变隶属函数值,从而进行比较分析。

1.2 构建评价指标体系

本研究遵循科学性、完整性、有效性、数据可得性和可量化等原则,参考相关学者研究^[1,16],同时结合研究区域的社会发展状况和土地利用现状及生态特点,从“压力-状态-响应”3 个层次出发,遴选出 16 个指标组成土地利用总体规划生态风险综合评价体系(表 2)。其中,压力是指土地利用规划实施后土地系统可能造成的生态风险,状态是指土地系统面对风险压力时所处的状态,响应是指土地系统面对生态风险时所作出的响应。

2 实证分析

2.1 研究区域概况

的情况下,常用的突变模型有折叠突变、尖点突变、燕尾突变和蝴蝶突变 4 种(表 1)。

广州市位于广东省东南部,东江、西江、北江交汇处,介于 $112^\circ 57' \sim 114^\circ 3' E$, $22^\circ 26' \sim 23^\circ 56' N$ 之间,土地总面积 74.34 万 hm^2 ,属丘陵地貌,地势东北高、西南低,北部是丘陵山区,中部是丘陵盆地,南部为沿海冲积平原,海洋性亚热带季风气候显著,温暖多雨,光热充足,夏季长,霜期短。广州市经济社会发展速度快,人均 GDP 为 19.83 万元,人口密度达到 1 133 人/ km^2 。《广州市土地利用总体规划(2006—2020 年)》是统筹全市土地利用、开发、整治和保护纲领性文件,以 2005 年为规划基期年,2010 年为规划近期年,2020 年为规划目标年,范围包括广州市行政辖区。

2.2 数据来源及处理

本研究数据来源于《广州市土地利用总体规划(2006—2020 年)》、广州市环境保护局、《广州统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》(2006—2011 年)、《广州市绿地系统规划》(2010—2020 年),部分数据来源于广州市年度报表和宏观年报。

由于原始数据取值范围和度量单位各不相同,无法进行相互比较。为消除变量间的量纲关系,使数据具有可比性,提供统一的数据计算平台,运用极差标准化公式[式(1)、式(2)]对获取到的指标进行标准化处理(表 3)。本研究中,指标的正负性质见表 2。

正向指标:

$$y_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}); \quad (3)$$

负向指标:

$$y_i = (x_{\max} - x_i) / (x_{\max} - x_{\min}). \quad (4)$$

式中: y_i 为原始指标 x_i 标准化后的数值; x_i 为第 i 项指标; x_{\max} 为该项指标的最大值; x_{\min} 为该项指标的最小值。

2.3 生态风险评价

根据常见的 4 种突变模型及改进后突变模型的一般表达式和 PSR 模型构建的指标体系,可以构建相应的评价模型。指标层中, $x_1 \sim x_7$ 适用突变模型的一般表达式, $x_8 \sim x_{12}$ 也适用突变模型的一般表达式, $x_{13} \sim x_{16}$ 适用蝴蝶突变。逐步向上递推,3 个准则层又进一步构成燕尾突变(图 1)。

表 2 土地利用总体规划生态风险评价指标体系

目标层	准则层	指标层及其计算方法	指标性质
土地利用总体规划生态风险评价	压力	农用地比例 = 农用地面积/区域土地总面积 × 100%	正向
		建设用地比例 = 建设用地面积/区域土地总面积 × 100%	负向
		土地利用率先 = 已开发利用土地面积/区域土地总面积 × 100%	负向
		工业污染排放强度 = 0.4 × 工业废气指数 + 0.4 × 工业废水指数 + 0.2 × 工业固体废物指数 ^[1] (工业废气、工业废水、工业固体废物指数采用规划期排放量与基期年排放量的比值来确定)	负向
		人均 GDP(元) = 区域 GDP 总量/区域总人口	负向
		城镇化水平 = 城镇人口/区域总人口 × 100%	负向
		人口密度(人/hm ²) = 区域总人口/区域土地总面积	负向
	状态	土地利用结构多样性 = $-\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i$ (式中: i 为土地利用类型; p 为各地类面积比重 ^[1])	正向
		耕地面积比例 = 耕地面积/区域土地总面积 × 100%	正向
		城市绿化覆盖率 = 城市绿地总面积/区域土地总面积 × 100%	正向
		水域面积比例 = 水域面积/区域土地总面积 × 100%	正向
		经济密度(万元/hm ²) = 区域 GDP 总量/区域土地总面积	负向
	响应	生物丰度 = $400.62 \times (0.35 \times \text{林地} + 0.21 \times \text{草地} + 0.28 \times \text{水地} + 0.11 \times \text{耕地} + 0.04 \times \text{建设用地} + 0.01 \times \text{未利用地})/\text{区域土地总面积}$ ^[1,17-18]	正向
		生态系统服务价值 = $\frac{1}{10} \lg(\sum_{i=1}^n A_i \cdot VC_i)$ ^[19] (式中: i 为研究区域土地利用类型; A 是土地面积; VC 为生态价值系数, $\times 10^4$ 元/km ²)	正向
		土地生产力(kg/hm ²) = 粮食总产量/粮食播种面积	正向
		水资源承载力 = $0.2 \cdot \sqrt{P \cdot G/W}$ ^[20] (式中: P 为区域总人口, $\times 10^4$ 人; G 为地球生产总值, $\times 10^8$ 元; W 为区域水资源总量, $\times 10^8$ m ³)	正向

注:正向指标表示与生态环境具有正向关系,负向指标表示与生态环境具有负向关系。

表 3 标准化后的指标值

目标层	准则层	指标层	年份		
			2005	2010	2020
土地利用总体规划生态风险评价	压力	农用地比例	1.00	0.30	0.00
		建设用地比例	0.63	0.00	1.00
		土地利用率先	1.00	0.44	0.00
		工业污染排放强度	0.00	0.89	1.00
		人均 GDP	1.00	0.73	0.00
		城镇化水平	1.00	0.86	0.00
		人口密度	1.00	0.95	0.00
	状态	土地利用结构多样性	0.00	1.31	1.00
		耕地面积比例	1.00	0.03	0.00
		城市绿化覆盖率	0.00	0.07	1.00
		水域面积比例	1.00	0.00	0.09
		经济密度	1.00	0.68	0.00
	响应	生物丰度	1.00	0.00	0.28
		生态系统服务价值	0.00	0.61	1.00
		土地生产力	0.87	0.00	1.00
		水资源承载力	0.00	0.40	1.00

以 2005 年为例, $x_{13} \sim x_{16}$ 构成蝴蝶突变,采用归一化公式有:

$$x_{13} = (0)^{1/2} = 0, x_{14} = (1)^{1/3} = 1, x_{15} = (0.43)^{1/4} = 0.81, x_{16} = (1)^{1/5} = 1。$$

由于各控制变量之间存在明显的相互关联关系,共同对上一层指标产生作用,因此应采用突变级数法的“互补”原则,将各控制变量的平均值作为系统的突变级数值,进行综合量化递归运算,取均值有: $C3 = (x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16})/4 = 0.7。$

指标 $x_1 \sim x_7$ 和 $x_8 \sim x_{12}$ 构成突变的一般表达式,分别采用改进后的归一化公式(2)计算, $C1 = 0.56, C2 = 1。$ 逐步向上递推,准则层指标 $C1、C2、C3$ 构成燕尾突变,按“互补原则”,可以算得 2005 年广州市土地利用总体规划生态风险值 $B = 0.89。$

同理可以求得 2010、2020 年的生态风险值分别是 0.87、0.62。

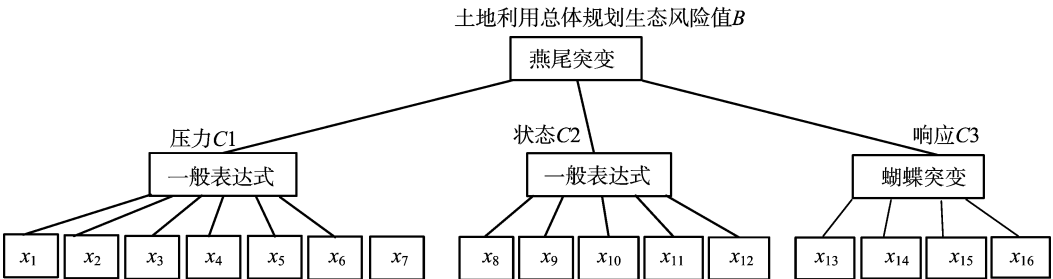


图1 土地利用总体规划生态风险突变模型

3 结果与分析

由于目前关于土地利用总体规划的生态风险值没有统一的等级划分标准,因此参考已有研究^[1,21],采用绝对意义下的等级标准,将生态风险度由低到高依次划分为低、较低、中等、较高、高 5 个等级,对应的范围分别为 $[0,0.2)$ 、 $[0.2,0.4)$ 、 $[0.4,0.6)$ 、 $[0.6,0.8)$ 、 $[0.8,1]$,数值越高,表示规划实施可能导致的生态风险越大,由此可知,2005、2010 年生态风险处于高等级,2020 年生态风险处于较高等级(表 4)。

表 4 生态风险值及等级

年份	生态风险值	等级
2005	0.89	高
2010	0.87	高
2020	0.62	较高

总体来看,生态风险值向不断减少的趋势发展,尤其是规划实施至 2020 年,生态风险值减少幅度明显,说明土地利用总体规划的实施具有较大的可行性和科学性。今后国土资源相关部门要严格落实规划的实施,严禁擅自修改或调整规划确定的用地规模、结构和布局等,有序推进规划的各项目标、任务和计划的顺利完成;要注意发挥土地利用总体规划对生态环境保护的积极作用,提高规划实施后的生态效益,实现区域可持续发展。

研究时段内生态风险处于较高和高 2 个等级范围内,也反映了土地利用总体规划的编制对于生态风险的考虑还不够全面,规划还有较大的修改完善空间。今后,在对规划的修编完善中,要提高对生态保护的重视程度和支持力度,降低土地利用生态风险;要充分利用“3S”(遥感、地理信息系统、全球定位系统)等现代化信息技术,加强对土地利用的监督和调查,建立健全土地利用生态保护长效机制,达到有效规避生态风险,提高土地利用总体规划的科学性和合理性。

4 结论

本研究利用 PSR 模型构建指标体系并运用改进后的突变理论模型进行土地利用总体规划生态风险评价,有效避免了人为赋予权重的主观性,比较客观地计算出 2005、2010、2020 年广州市土地利用总体规划生态风险值。结果显示,规划实施期间,广州市土地利用总体规划生态风险呈降低趋势,规划编制具有较大的科学性和可行性。但研究时段内生态风险值等级处于较高和高等级范围内,也反映了土地利用总体规划还不够完善,生态环境形势不容乐观。今后不仅要发挥规划对保护生态环境的积极作用,还要重视降低规划实施的生态风险,使规划更加科学完善。

参考文献:

- [1] 赵源,黄成敏. 县级土地利用总体规划生态风险评价[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(5):42-49.
- [2] 赵岩洁,李阳兵,邵景安. 基于土地利用变化的三峡库区小流域

- 生态风险评价——以草堂溪为例[J]. 自然资源学报,2013,28(6):944-956.
- [3] Hunsaker C T, Graham R L, Suter G W, et al. Assessing ecological risk on a regional scale[J]. Environmental Management, 1990, 14(3):325-332.
- [4] 郭广慧,吴丰昌,何宏平,等. 中国地表水体多环芳烃含量分布特征及其生态风险评价[J]. 中国科学:地球科学,2012,42(5):680-691.
- [5] 郭先华,崔胜辉,赵千钧. 城市水源地生态风险评价[J]. 环境科学研究,2009,22(6):688-694.
- [6] 刘琼峰,李明德,段建南,等. 长沙城郊农田土壤重金属 Pb、Cd 的生态风险评价研究[J]. 农业环境科学学报,2013,32(8):1564-1570.
- [7] 赵源,黄成敏. 基于 RRM 的市级土地利用总体规划生态风险评价[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(7):1102-1109.
- [8] 李艳峰,雷国平. 基于生态系统服务功能价值方法的土地利用总体规划环境影响评价研究——以大庆市为例[J]. 水土保持研究,2013,20(5):305-310.
- [9] 唐弢,徐鹤,王喆,等. 基于生态系统服务功能价值评估的土地利用总体规划环境影响评价研究[J]. 中国人口·资源与环境,2007,17(3):45-49.
- [10] 张雪松,张莹,瞿振华. 基于效用函数综合评价法的土地利用总体规划实施评价研究——以京山县为例[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2008,42(4):631-635.
- [11] 程文仕,曹春,张天中,等. 模糊综合评价法在土地利用总体规划实施效益评价中的应用——以兰州市为例[J]. 国土与自然资源研究,2009,58(1):20-22.
- [12] 周启刚,张晓媛,王兆林. 基于正态云模型的三峡库区土地利用生态风险评价[J]. 农业工程学报,2014,30(23):289-297.
- [13] 周利军,张雪萍,陈设. 扎龙自然保护区土地利用变化与生态风险评价[J]. 自然灾害学报,2009,18(2):186-190.
- [14] 张祚,邓亚兰,陈昆仑,等. 基于 AHP 和灰色评价法的武汉市水环境风险评价及管理战略思考[J]. 湖北大学学报(自然科学版),2014,36(6):481-486,504.
- [15] 凌复华. 突变理论及其应用[M]. 上海:上海交通大学出版社,1987.
- [16] 马昕炜,曾永年. 基于格网单元的县级土地利用总体规划生态环境影响评价方法与应用[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(10):1198-1204.
- [17] 国家环境保护总局. 生态环境状况评价技术规范(试行):HJ/T 192—2006[S]. 北京:中国环境出版社,2006.
- [18] 陈丽华,武建宁,马生全. 甘南州生态质量状况及评价体系的构建[J]. 西北民族大学学报(自然科学版),2006,27(62):24-26,41.
- [19] 孙强,蔡运龙,王乐. 基于土地利用类型的绿色空间生态评估——以北京市通州区重点新城为例[J]. 中国土地科学,2007,21(1):36-42.
- [20] 封志明,刘登伟. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J]. 自然资源学报,2006,21(5):689-699.
- [21] 周绍江. 突变理论在环境影响评价中的应用[J]. 人民长江,2003,34(2):52-54.