

基于三角模型的特大山地城市城乡结合区土地利用系统风险评价——以重庆市巴南区为例^{*1}

张杨¹ 马泽忠^{1, 2} 王福海³ 张晓娟¹

(1. 重庆工商大学资源与环境学院, 重庆 400067;

2. 重庆市土地勘测规划院, 重庆 400020;

3. 重庆工商大学融智学院, 重庆 400067)

【摘要】：山地城市城乡结合区土地利用系统的安全稳定是山地城市健康发展的关键。收集 2004 年、2007 年、2010 年、2012 年、2014 年、2015 年的各种数据，通过三角模型对重庆市巴南区的土地利用系统风险进行研究。结果表明：2004—2015 年巴南区的土地利用系统风险等级一直处于不安全等级，但波动小，风险处于稳定状态；非经济社会风险指数不断降低，从 2004 年的 0.82 降低到 2015 年的 0.74，生态环境风险指数不断增加，从 2004 年的 0 到 2015 年的 0.29，巴南区的土地利用系统风险状况未能改善，主要是因为非自然资源风险指数没有下降。通过分析研究山地城市城乡结合区土地利用系统存在的问题，提前发现并解决巴南区土地利用系统可能存在的问题和风险，同时为其相关政策的制定和管理提供参考和科学依据。

【关键词】：土地利用系统；风险评价；三角模型；特大山地城市；城乡结合区

中图分类号:F301.2 文献标志码:A 文章编号:1005-8141(2018)02-0177-06

土地是人类生存和发展的重要载体，人类的一切活动都离不开土地^[1]。而土地利用系统是以土地利用为基础，以自然、经济、社会为支撑的资源—环境—经济—社会的复合系统^[2]。安全合理的土地利用系统是人类社会稳定进步的基础，因此为了完善土地利用系统结构、了解土地利用系统在发展过程中的变化状态，土地利用系统的风险评价是十分必要的。

目前，关于土地利用系统风险评价的研究主要集中在土地利用系统的生态风险和健康评价等方面。研究生态风险可将生态风险的研究拓展到土地利用和生态环境协调理论相结合来进行研究系统风险分析^[3]，也可通过研究生态的稳定性、土地利用的合理性来研究生态风险^[4]，或针对特殊的生态受体进行风险评价^[5, 6]，或从“压力—状态—响应”的生态风险状态变化角度建立指标和从土地利用、生态环境协调度的角度建立评价指标^[7, 8]等。研究生态风险多使用“压力—状态—响应”的模型、RRM 模型等。

¹ 收稿日期:2017-12-06; 修订日期:2018-01-17

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41301351); 重庆市教委科技项目(编号:KJ1601901); 重庆工商大学融智学院科研项目(编号:20158001); 重庆工商大学研究生创新型科研项目(编号:yjscxx2017-066-63)

第一作者简介:张杨(1994-), 女, 重庆市人, 硕士研究生, 主要方向环境规划与管理、土地资源管理。

通讯作者简介:马泽忠(1972-), 男(土家族), 重庆市石柱人, 正高级工程师, 从事遥感与地理信息系统技术应用研究。

研究健康风险或从土地利用系统的分析基础上,提出土地利用系统健康评价的框架及其指标体系^[9];或基于 PSR 模型来评价土地利用系统健康状态,评价影响健康评价的障碍因子^[10、11]。较少学者使用三角模型通过结构、功能、效益三个角度来进行评价,将土地利用系统分成不健康、亚健康、初级健康、中级健康和高级健康来进行评价分析^[12]。直接关于土地利用系统风险的文研究较少,本文使用三角模型来进行土地利用系统风险评价,以促进土地利用系统风险研究的完善。

山地城市是一种特殊的城市状态,具有地貌复杂、生态环境敏感、城市建设用地紧张、人口高密度集聚、发展相对滞后的特点^[13]。城乡结合区则是一个复杂的生态经济系统,既有城市又有乡村的双重性质,我国城乡结合区普遍存在着用地类型转化速度快、建设用地比重大、土地资源特别是耕地资源浪费严重、用地格局混乱等特点,并由此引发严重的生态、环境和社会问题^[14]。人类社会的持续发展要求需要合理的土地利用系统作为支撑^[15]。综上所述,本文研究特大山地城市土地利用系统的风险评价,从土地利用系统结构角度构建三角模型来进行土地利用系统的风险评价是具有突破性的,对山地城市城乡结合区土地利用系统的风险进行分级评价,并以此为山地城市的土地利用规划管理、土地生态安全预警提供直接的依据^[16]。

1 研究区概况

巴南区位于渝西南部,106° 26′ 2″ —106° 59′ 53″ E、29° 7′ 44″ —29° 45′ 43″ N 之间,是重庆主城区中面积最大的行政区(图 1)。巴南区东与涪陵、南川接壤,南与綦江相连,西与江津、九龙坡、大渡口毗邻,北与南岸、江北、渝北、长寿交界,幅员面积 1834.23km²,常住人口 918692 人,辖区 8 个街道、14 个镇。巴南区地处长江南岸,为丘陵地貌,区内地势南高北低,高程相差较大,矿产资源和生物资源丰富,独特的地理位置和经济前景使该区成为重庆全力发展强有力的资源储备区。



图 1 巴南区区位

重庆市是特大的山地城市,巴南区的大区域都是城乡结合区,所以巴南区是典型的山地城市城乡结合区。山地城市城乡结合区存在的土地问题比一般城乡结合区的土地问题更加复杂,用地矛盾更加突出,土地利用系统也更容易出现风险隐患。重庆市是直辖市,巴南区又是重庆主城区之一,特殊的政治经济位置使巴南区在山地城市的城乡结合区中具有特殊的性质。综

所述，本研究选区是有价值和意义的。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

数据来源于 2005 年、2008 年、2011 年、2015 年的《重庆市统计年鉴》和相关年份的重庆市巴南区国民经济和社会发展统计公报。运用 Erdas 9.1 软件对三峡库区 2004 年、2007 年、2010 年、2012 年、2014 年五期 Landsat TM 遥感影像进行辐射校正、几何校正等预处理，得到研究区五期 Landsat TM 遥感影像的土地利用数据。

2.2 数据预处理

首先由于选取的评价指标不同，在进行评价前必须先将指标标准化，再通过熵权法确定权重。指标分为正向指标和负向指标，不同性质的指标数据标准化过程也不一样。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{正性指标标准化: } Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)} \\ \text{负性指标标准化: } Y_{ij} = \frac{\max(X_i) - X_{ij}}{\max(X_i) - \min(X_i)} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

式中，i 为指标数；j 为样本数量； X_{ij} 为第 i 个指标第 j 期样本实际数据； Y_{ij} 为第 i 个指标的第 j 期样本的归一化后的标准值，再通过下式计算：

$$E_i = -K \times \sum_{j=1}^n (Y_{ij} \times \ln(Y_{ij})) \dots\dots\dots (2)$$

式中， $K=\ln(n)^{-1}$ ，求出每个指标的信息熵； E_i 是第 i 个指标的信息熵。通过信息熵，计算信息冗余度 d_i ：

$$d_i = 1 - E_i \dots\dots\dots (3)$$

通过冗余度得到各指标的权重 W_i ：

$$W_i = \frac{d_i}{d \times \sum_{i=1}^n d_i} \dots\dots\dots (4)$$

2.3 建立风险评价指标体系

土地利用系统是一个以土地利用为基础的自然、生态、社会复合系统^[17]。其中，生态环境子系统代表土地利用系统的生态健康程度；自然资源子系统代表土地利用系统的资源状况，包括可利用的自然资源和潜在的自然资源；社会经济子系统代表该区域人类活动的影响。三个子系统相互影响，共同构成土地利用系统。

本文根据重庆巴南区的土地利用系统实际情况和地理位置，按土地利用系统的结构提出土地利用系统风险评价指标框架，以土地利用系统的生态环境子系统、自然资源子系统和社会经济子系统为目标层，以及各目标层下的 16 个指标为指标层建立土地利用系统风险评价指标体系(图 2)。

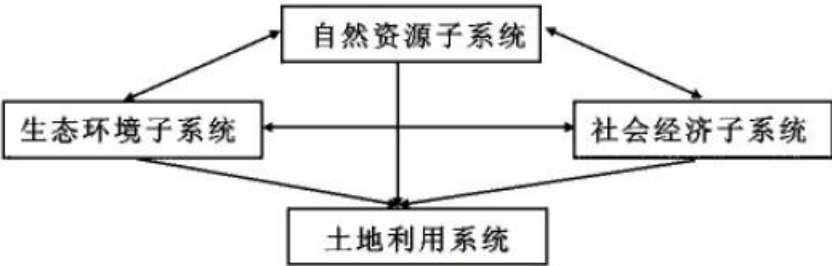


图 2 土地利用系统结构

本文从社会经济角度选择恩格尔系数、城市化水平、人均 GDP、固定资产投资增长率、农业商品率、人口密度、失业率。恩格尔系数、人均 GDP 是区县的人均生产总值，用以判断区县社会经济发达程度的指标之一。城市化水平是以城镇化率的数值为直接表现，城市化水平也是衡量社会经济文明程度、发达程度的指标；人口密度是衡量该区域经济发展状况的指标；农业商品率着重体现了农村农业产品的经济发展状况，农业商品率越高，农业商品的流通率越高，农村农业发展越灵活、越发达、越健康；失业率是影响社会动荡的主要原因。

本文从自然资源的角度选择森林覆盖率、人均耕地面积、人均建设用地面积和人口自然增长率。森林覆盖率是潜在的资源；人均耕地是目前正在投入利用并还可持续多元利用的资源；人均建设面积是已经被破坏潜力，只能作单一用途的资源；人口自然增长率关系到现在和未来资源的分配问题，考虑到我国的人口国情和巴南区的实际情况，判断为负向指标。

本文从生态环境角度选取农林水支出、房屋竣工面积、路网密度、农药、肥料等指标。农林水支出可代表政府对生态环境的改善；房屋竣工面积和路网密度表示对环境造成污染和浪费起改善的作用；肥料、农药表示对生态环境起负面作用。

表 1 土地利用系统风险评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标性质	权重
土地	子系统	恩格尔系数	负向	0.09
		城市化水平（%）	正向	0.04
		社会 人均 GDP（元）	正向	0.06
		经济 固定资产投资增长率（%）	正向	0.11
		农业商品率（%）	正向	0.06
		人口密度（人/km ² ）	负向	0.07
		失业率（%）	负向	0.08

利用		森林覆盖率（%）	正向	0.04
玄钵				
风险	自然 资源	人均耕地面积（m ² ）	正向	0.07
评价	子系统	人均建设用地面积（人/m ² ）	负向	0.04
		人口自然增长率（‰）	负向	0.04
		农林水支出（万元）	正向	0.06
	生态	房屋竣工面积（m ² ）	正向	0.07
	环境	路网密度（km/km ² ）	正向	0.04
	子系统	农药（t/a）	负向	0.06
		肥料（t/a）	负向	0.07

2.4 评价方法

三角模型的建立:三角模型是由数学图像正三角形变化而来,将三角形的三边视作 X、Y、Z 三个数据轴,利用三种大方向的指标在三角形中的位置走向进行综合评价。用三角模型进行评价最早的是美国的农业部门,他们通过分析砂—粉砂—粘土的各自含量来分析确定土壤类型^[18]。三角模型通过研究三个相互关联的指标并以三者线性的方式通过建立一个三角模型,以一种直观可视的方式将三者的联系综合表现出来,并能得到一个评价目标的趋势线,对评价目标的过去状况进行分析评价,并对未来做出一定的预判。

本文以土地利用系统的社会经济子系统、自然资源子系统和生态环境子系统作为评价的三个大方向,即得到风险评价的社会经济风险指数(Economic Social Risk Index, ESI)、自然资源风险指数(Natural Resources Risk Index, NRI)和生态环境风险指数(Ecological Environment Risk Index, EEI)。由于 ESI、NRI、EEI 是标准化后数值,所以可比较简单地得到非经济社会风险指数(Non Economic Social Risk Index, NESI)、非自然资源风险指数(NonNatural Resources Risk Index, NNRI)。基于三角模型的特点,本文研究选用 NESI、NNRI、EEI 三项风险指数作为三角模型的三个评价坐标。

各项风险评价指标的风险指数为正向值,即经济社会风险指数、自然资源风险指数和生态环境风险指数为正向指标。当风险值越大,土地利用系统结构越合理,土地利用系统的风险也就越小。同理,非经济社会风险指数和非自然资源风险指数也是负向指标。当这两者的风险值越小,对应的经社会风险值和自然资源风险值越大,土地利用系统的风险就越小。ESI 值、NESI 值、NRI 值、NNRI 值、EEI 值的加权公式为:

$$ESI = \sum_j^n Y_{ij} \times W_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$NESI = 1 - SI = 1 - \sum_j^n Y_{ij} \times W_i \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$NRI = \sum_i^n Y_{ij} \times W_i \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$NNRI = 1 - NRI = 1 - \sum_i^n Y_{ij} \times W_i \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$EEI = \sum_i^n Y_{ij} \times W_i \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中， Y_{ij} 为第 i 个指标的第 j 期样本的归一化后的标准值； W_i 为第 i 个指标由熵权法计算得到的权重。

三角模型的评价方法:由于三角模型的特殊性，在这几种风险之中一般选择非经济社会风险指数(NESI)、非自然资源风险指数(NNRI)、生态环境风险指数(EEI)三个指标作为评价指标。三个坐标轴数据相互关联、相互制约，任一种指标的数值较大时，另外两个指标中必然会有一个指标的数值会比较小。如生态环境风险指数较高时，自然非经济风险指数也会比较高，而非自然资源风险指数就会比较低。生态环境与经济社会总是相对的，生态环境的好坏与经济社会的发达程度是完全不同的两个方向的进步，想要社会经济进步必然要使用一部分自然资源、牺牲一部分生态环境为代价；而希望得到良好的生态环境必然是以保存自然资源、牺牲社会经济进步才能达到。要达到科学合理、健康安全的土地利用系统，必然要达到经济社会、生态环境和自然资源三者的平衡。

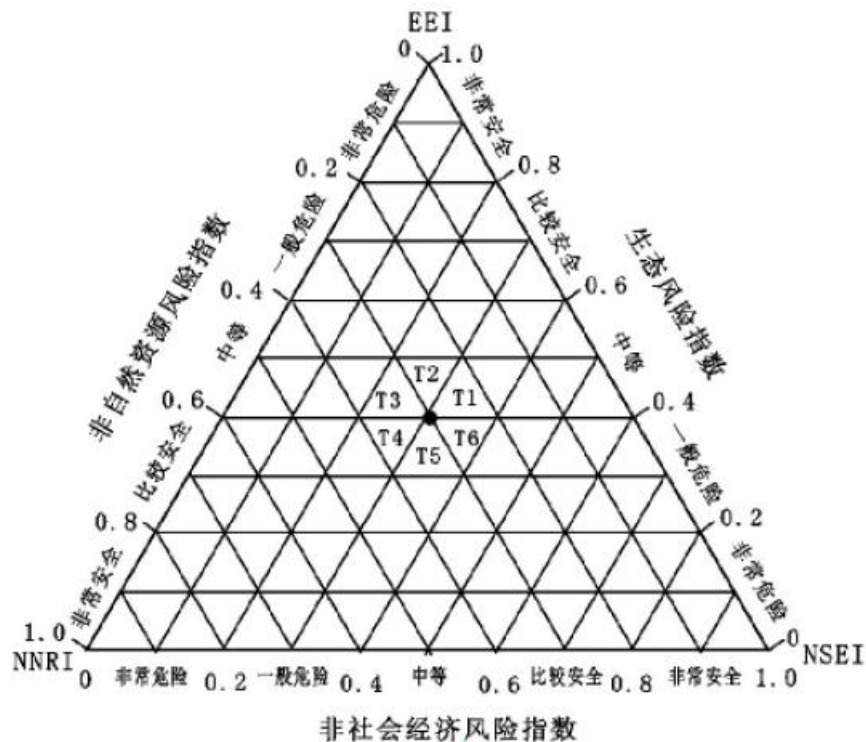


图3 三角模型风险评价标准

从图 3 可见，三角模型评价结果图是一个正三角形，非自然资源风险值(NNRI)位于三角形的上顶点，代表非自然资源风险指数的数据轴是三角形的右腰线，生态环境风险指(EEI)在三角形的左顶点，代表生态环境风险指数的数据轴是三角形的左腰线，非经济社会风险值(NESI)在三角形的右顶点，代表非经济社会风险指数的数据轴是三角形的底边。三个坐标轴以逆时针为方向，将各个坐标轴从 0—1 平均地分为五等份：(0—0.2)非常危险、(0.2—0.4)一般危险、(0.4—0.6)中等、(0.6—0.8)一般安全、(0.8—1)非常安全。按照三个数据轴的风险状况分区，整个三角模型将分为 A、B、C、D、E 五个区，用五个区表示不同的风险程度，见表 2。

表 2 三角模型风险评价标准

区域	指标范围			风险状况			风险程度
	NESI	NNRI	EEI	NESI	NNRI	EEI	
A	0-0.2	0-0.2	0.8-1.0	非常危险	非常危险	非常安全	高级安全
B	0-0.4	0-0.4	0.6-0.8	一般危险	一般危险	一般安全	中级安全
C	0-0.6	0-0.6	0.4-0.6	中等	中等	中等	初级安全
D	0-0.8	0-0.8	0-0.4	一般安全	一般安全	一般危险	低级安全
E	0-1.0	0-1.0	0-0.2	非常安全	非常安全	非常危险	不安全

3 结果与分析

3.1 风险指数动态变化分析

由表 1 通过式 (5) — (9) 计算得到各年的非社会经济风险指数、非自然资源风险指数和生态环境风险指数数值，见表 3。2004—2015 年间巴南区的社会经济、自然资源、生态环境的变化走向，见图 4。

表 3 风险指数

指标/时间	2004	2007	2010	2012	2014	2015
NESI	0.82	0.74	0.77	0.73	0.75	0.74
NNRI	0.85	0.91	0.89	0.90	0.92	0.86
EEI	0.00	0.04	0.19	0.24	0.24	0.29

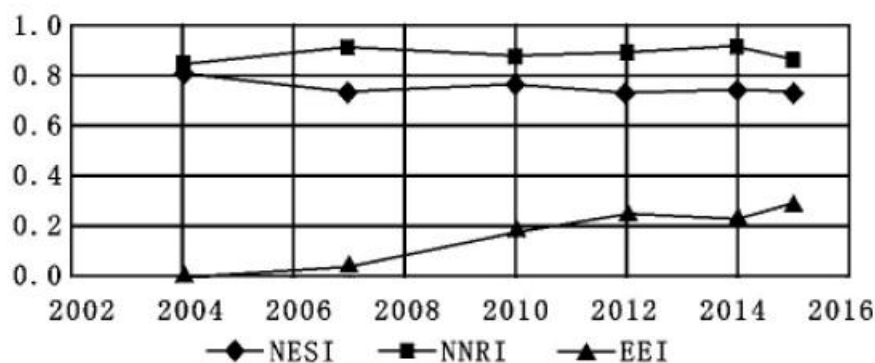


图 4 风险指数

非自然资源风险在这 11 年间主要是先缓慢上升，再极缓慢下降，然后再上升，最后在 2015 年下降，但主体变化不大。非自然资源风险从最初 2004 年的 0.85 提升到 2007 年的一个小高峰 0.91，变化率为 6.96%，然后在缓慢下降到 2012 年的 0.98，再上升到最高点 0.92，最后在 2015 年下降到 0.86，下降变化率达 -5.52%，表明巴南区的非自然资源风险 2004—2015 年变化程度不大，变化率未超过 7%。政府虽然加大了对农林水资源项目的投入，但随着巴南区常驻人口的增加和社会生活对环境的需求量增加，巴南区的自然资源风险并没有得较大改善，只是较缓慢的上升。

非经济社会风险指数 2004—2015 年为波动变化，但主体呈下降趋势，与非自然资源风险指数的变化趋势相比正好相反。非经济社会风险指数从 2004 年开始缓慢下降，到 2007 年下降到 0.74，下降变化率达 10.44%；然后缓慢上升到 2010 年的 0.77，变化率 3.77%；再下降到近几年的最小值 0.73，变化率 4.23%；再上升到 2014 年的 0.75，最后下降到 2015 年的 0.74。总体来看，巴南区的非经济社会风险值在下降，表明巴南区的经济社会风险值在上升。巴南区的经济发展在重庆市整体经济飞速发展的带动下有了较快的发展，社会经济发展速度与规模在逐步上升。

生态环境风险指数 2004—2015 年基本上都在上升，且上升程度较大。巴南区生态环境风险指数从 2004 年的 0 上升到 2007 年的 0.04，后面几年生态环境风险的上升幅度缓慢增加，2010 年生态环境风险指数上升到 0.19。虽然该区域的生态环境风险指数变化不大，但实际上变化剧烈程度达到 335.84%；2012 年巴南区生态环境风险值达到 0.24，变化率达到 29.87%，在 NESI、NNRI、EEI 三项风险指数历年的变化率中仅次于 2007—2010 年的生态环境风险值变化率。2014 年巴南区生态环境风险值未发生变化，与 2012 年持平，表明在 2012—2014 年巴南区生态环境投入增加是随着社会进步而产生人们对生态环境的需求增加成正相关；2015 年巴南区的生态风险值增加到 0.29，变化率达 21.13%。由此可见，巴南区近年的生态环境风险指数是不断增加的，且增加的速度快、跨度大。随着巴南区近 11 年对生态环境保护工作的投入增加和民众对保护生态的意识不断增强，巴南区的生态环境风险指随着时间的推移而快速提高，巴南区的生态环境在不断改善和提升。

综合巴南区三项数据趋势的走向，其非经济社会风险指数、非自然资源风险在总体下降，而生态环境风险指数在上升。即巴南区总体的土地利用系统结构逐年趋于合理健康的水平。巴南区的土地利用系统风险基数虽然很低，但整体上是朝着好的方向发展的。

3.2 巴南区土地利用系统风险状态变化分析

通过在 Grapher 中输入巴南区各年份的 NESI、NNRI、EEI 数值，建立巴南区土地利用系统风险三角模型图，见图 5。从图 5 可见，巴南区的土地利用系统在三角模型风险等级的划定中，2004—2015 年属于 E 区，而在判断风险变化的趋势分析中属于 T5 区，表明 2004—2015 年巴南区的土地利用系统处于非常危险的等级。从图 3 的三角坐标中可见，虽然巴南区的土地利用系统处于危险状况，但情况在不断好转，2004—2015 年巴南区的土地利用系统在不断趋近较合理的状况(表 4)。

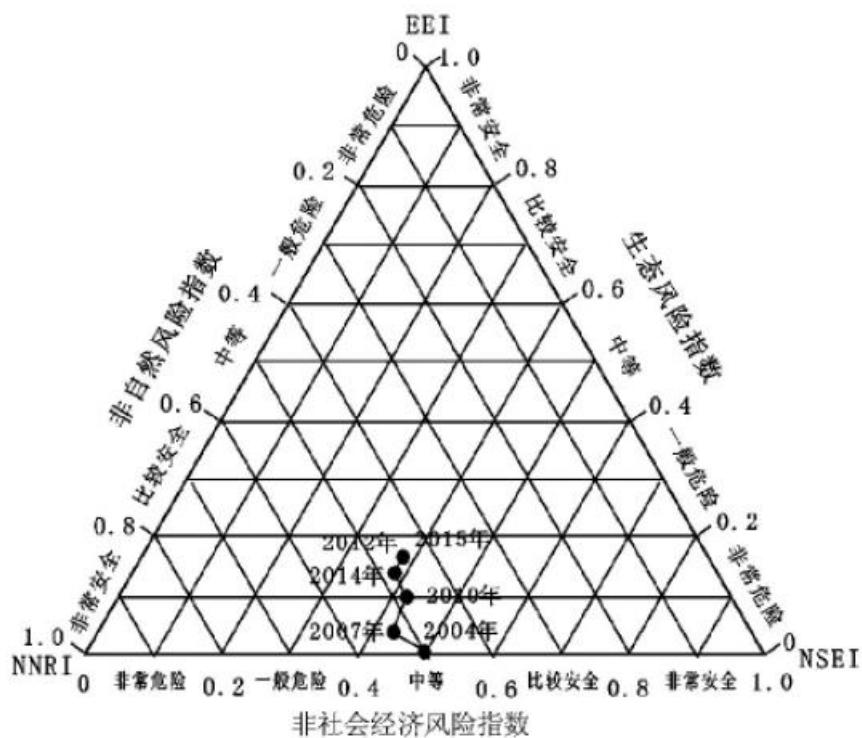


图 5 2004—2015 年巴南区的风险等级

表 4 2004-2015 年巴南区的风险变化

年份	指标范围			风险状况			指标范围
	NESI	NNRI	EEI	NESI	NNRI	EEI	
2004	0.82	0.85	0.00	非常安全	非常安全	非常危险	不安全
2007	0.74	0.91	0.04	一般安全	非常安全	非常危险	不安全
2010	0.77	0.89	0.19	一般安全	非常安全	非常危险	不安全
2012	0.73	0.90	0.24	一般安全	非常安全	一般危险	不安全
2014	0.75	0.92	0.24	一般安全	非常安全	一般危险	不安全
2015	0.74	0.86	0.29	一般安全	非常安全	一般危险	不安全

综上所述,重庆市巴南区土地利用系统的风险等级是不安全的但又各有不同,主要表现在:①2004年巴南区的土地利用系统风险程度最高。2004年,巴南区的非经济社会风险指数为0.82,非自然资源风险指数为0.85,生态环境风险指数为0。即经济社会风险指数0.18、自然资源风险指数0.15、土地利用系统的社会经济、自然资源和生态环境风险都属于最高级。②2007年重庆市巴南区土地利用风险的等级未发生变化,但非经济社会风险程度在下降,即巴南区的经济社会发展的安全合理性在2007年有所提升。在2007年巴南区开始新农村建设,工业生产总产值达206亿元,年均增长20.3%,第三产业与2002年相比增加22亿元,开始摆脱农业和重污染制约,但效果不明显,非自然资源风险指数与生态风险变化不大。③2010年,重庆市巴南区的土地利用系统仍处于不安全状态,即风险极大。巴南区的非社会经济社会风险指数和非自然资源风险指数变化不大,而生态环境风险指数发生了巨大变化,生态环境风险指数从接近零提升到了0.19,该变化与产业结构的变化息息相关。2010年,巴南区第三产业得到了突破,新农村建设进入正轨,城乡整体面貌焕然一新,但总体提升不大。④2012年,巴南区非经济社会风险指数和生态环境风险指数随着时间的变化而缓慢降低,非自然资源风险指数仍然没有发生明显变化,2014年的各项风险指数变化也不大,2015是巴南区风险等级最低的一年。总之,巴南区的土地利用系统风险程度在逐年降低,但并没有发生本质性的变化,一直处于不安全的风险等级之中。但风险较稳定、波动性低,且在较低的风险波动变化中,不断朝着风险低的方向发展,较小的经济变动有助于我国在经济安全的情况下探索更加科学合理的经济社会发展方向。

4 结论与讨论

本文使用三角模型来评价巴南区土地利用系统风险,通过土地利用系统的非社会经济风险指数(NESI)、非自然资源风险指数(NNRI)和生态环境风险指数(EEI)并对比了各研究年的变化,主要得到以下结论:①2004—2015年重庆市巴南区土地利用系统风险一直处于不安全等级,风险程度较高,风险的波动幅度较小,但风险有平稳下降和逐年改善的趋势。土地利用系统风险稳定是经济良好发展的前提,同时稳定的风险有助于提前预防和解决各种可能由高土地利用系统风险诱发的问题。②重庆市巴南区的土地利用系统风险状况不能改善的主要原因是自然资源风险指数没有得到提高。巴南区经济社会风险指数和生态环境风险指数都有明显的上升,经济社会风险指数从2004年的0.18到2015年的0.26,生态环境风险指数从2004年的0到2015年的0.29。但巴南区自然资源风险指数变化不大,其中只有森林覆盖率呈上升趋势,人均耕地面积变化不大,而人均建设用地面积和人口自然增长率在下降的趋势中变化。③本文虽然以土地利用系统的组成结构为基础来建立风险评价指标体系,但指标体系不够完善,在广度和深度上不够。由于篇幅所限,本文没有对造成风险的具体风险因子和风险驱动机制进行探究和分析。

参考文献:

- [1]王中伟.和谐社会视域下我国失地农民生存问题研究[D].北京:中国石油大学硕士学位论文(华东),2014.
- [2]Bartell S M, Gardner R H, O' Neill R V. Ecological Risk Estimation[M]. Lewis Publishers, 1992.
- [3]郝晋珉.土地利用控制[M].北京:中国农业科技出版社,1996:47-68.
- [4]孙丽娜,宋戈.松嫩高平原黑土区土地利用/覆被变化及其景观生态风险分析[J].水土保持研究,2012,19(1):148-153.
- [5]李发珍.土地利用与生态环境的协调研究[D].南京:南京农业大学硕士学位论文,2007.
- [6]刘晓,苏维词,王铮,等.基于RRM模型的三峡库区重庆开县消落区土地利用生态风险评价[J].环境科学学报,2012,32(1):248-256.
- [7]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.

-
- [8]盛小星, 叶春明. 基于 PSR 模型的上海市雾霾影响因素空间差异分析[J]. 生态科学, 2017, 36(2): 87-92.
- [9]陈珏, 雷国平. 大庆市土地利用与生态环境协调度评价[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 116-120.
- [10]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.
- [11]郭杰, 吴斌, GUO Jie, 等. 土地利用系统健康评价[J]. 中国土地科学, 2011, 25(4): 71-77.
- [12]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.
- [13]姚岚, 吴次芳, 吕添贵, 等. 基于三角模型的喀斯特地区土地利用系统健康评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 246-254.
- [14]黄光宇. 山地城市学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [15]彭杰. 城乡结合部土地利用环境预警系统研究[J]. 上海房地, 2008, 20(2): 60-65.
- [16]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.
- [17]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, (1): 33-37.
- [18]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.