

基于 TOPSIS 方法的山东省土地生态安全动态评价

黄海, 谭晶今, 陈春, 刘长城

(重庆交通大学 建筑与城市规划学院, 重庆 400074)

摘要:如何通过科学的指标体系和评价方法,对土地生态安全状况进行客观评价,对促进土地资源可持续利用具有重要意义。以山东省为研究区域,依据“驱动力—压力—状态—影响—响应”(DPSIR)概念框架模型,构建土地生态安全评价指标体系,建立土地生态安全的 TOPSIS 评价模型,对山东省的土地生态安全状况进行了评价。评价结果表明:山东省 2006—2013 年的土地生态安全状况总体上处于不断转好的趋势,但仍然不容乐观。并从维护土地资源生态安全及其可持续利用视角,提出具体对策。研究表明通过 DPSIR 建立土地生态安全评价指标体系,采用 TOPSIS 方法对土地生态安全评价是科学可行的。

关键词:土地生态安全评价; 驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR); TOPSIS 模型; 山东省

中图分类号:X82

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)03-0220-05

Land Ecological Security Appraisal for Shandong Province Based on TOPSIS Model

HUANG Hai, TAN Jingjin, CHEN Chun, LIU Changcheng

(School of Architecture & Urban Planning, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: How to establish the appraisal index and adopt scientific method for the objective appraisal of land ecological security is important for maintaining sustainable land use. Taking the Shandong Province as example for the research, we adopted the conceptual model of ‘Driving forces-Pressure-State-Influence-Response’ to set up the land ecological appraisal index system. The TOPSIS model was used to the appraisal of land ecological security of Shandong Province. The appraisal results showed the land ecological kept improving during the period from 2006 to 2013. But it was not optimistic because it was still graded ‘Sensitive’. The countermeasures were put forward for maintaining land ecological security and land sustainability for Shandong Province. The research can prove that DPSIR model and TOPSIS method are scientific and feasible for the appraisal of land ecological security.

Keywords: land ecological security appraisal; DPSIR; TOPSIS model; Shandong Province

土地是人类生存和发展的基本条件,然而随着人类活动的加剧和对土地资源的不合理开发利用,我国出现了较为严重的水土流失、土地沙漠化与土地污染等一系列土地资源生态问题,正是在这样的背景下,土地资源生态安全成为当前土地资源可持续利用研究的前沿课题,引起了学者们的广泛关注。作为土地生态安全研究的重要内容之一,土地生态安全评价是指对土地生态系统健康危害或危险状况所作的评价,它建立在一般土地评价的基础上,选择对若干生态特性进行专项评价,进而查明土地生态类型与土地利用现状之间的协调程度及发展趋势,诊断土地生态系统的健

康程度和土地利用的生态风险^[1]。通过对区域的土地生态安全进行动态评价,可以促使土地资源管理从单纯的土地“数量管理”走向“数量管控、质量管理、生态管护”三位一体管理,为全面推进土地资源管护模式转变,切实提升区域土地生态安全保障能力,构建绿色国土空间格局提供强有力的科技和信息支撑。

近年来众多学者们对区域土地生态安全评价进行了研究,总体来看,研究重点主要集中在评价指标体系的构建和评价模型的研究上。在指标体系的构建方面,学者们主要从自然—社会经济—环境系统^[2-5]和“压力—状态—响应”(PSR 模型)^[6-7]构建区

域土地生态安全评价指标体系;在评价方法方面,定量数学模型已经广泛应用于土地生态安全评价,物元模型、熵权法、突变理论、神经网络等方法均有较广泛的运用^[2-9]。为了更准确地描述系统的复杂性和各因素相互之间的因果关系,欧洲环境署于1998年在PSR模型基础上提出了用于衡量环境及可持续发展的“驱动力—压力—状态—影响—响应”(简称DPSIR)概念模型。近年来,DPSIR模型在我国水环境评价、农业土地资源可持续利用、区域生态安全评价、规划环境影响评价等方面得到了广泛应用^[10-12]。DPSIR概念模型涵盖资源利用、环境保护和社会经济发展等多个领域,可以将土地利用及其环境问题、社会经济发展状况、政府政策导向等方面按照因果顺序有机的整合在一起,为构建土地资源生态安全评价指标体系提供了较好的研究思路^[13]。TOPSIS评价方法是一种离散、多维度的决策模型,通过设定“正理想解”和“负理想解”,测算各评价单元数据与“正理想解”、“负理想解”距离而得到该单元与“正理想解”相对接近程度,实现对各评价单元的排序和评估^[14]。本文采用DPSIR模型构建山东省土地生态安全评价指标体系,并采用TOPSIS方法对其土地生态安全进行动态评价。

1 研究区概况

山东省位于东经114°36′—122°43′,北纬34°25′—38°23′,处在黄河中下游,全省共有17个地市。从2006—2013年,全省实现生产总值8连增,相比于2006年增长了172%,但是全省GDP增长率有所放缓,由2006年的15%下降到2013年的9.8%。根据2013年土地利用变更调查成果,山东省土地总面积约1579万hm²,其中农用地1159.3万hm²,建设用地272万hm²,未利用地面积147.7万hm²。2013年全省总人口为9685万人,人口密度为616人/km²。随着社会经济的快速发展及人口增加等原因,耕地绝对数量及人均数量逐渐减少、土地质量逐年下降、水土流失十分严重、土地后备贫乏且开发利用难度大、土地供需矛盾尖锐、水资源匮乏且水质不断恶化等问题,土地生态安全形势日趋严峻。科学评价山东省土地生态安全状况及其动态变化,及时采取相应的对策,对保障全省土地资源可持续利用和经济社会的可持续发展都具有重要意义。

2 研究方法

2.1 评价指标体系的构建

DPSIR概念模型的基本思想是:由于人类经济

活动的“驱动”给自然资源和环境施加了“压力”,改变了环境和自然资源的“状态”,给系统内部和外部造成了“影响”,人类社会则通过调整环境与经济政策对这些变化做出“响应”,减缓环境压力、维持系统的持续性^[10-12]。对于土地生态安全系统而言,“驱动力”是指引起土地生态安全系统发生变化的原因,可分为自然和社会经济驱动力;“压力”集中表现为社会经济“驱动力”在土地资源利用上与生态环境保护的竞争;“状态”是在各种“压力”下土地生态系统的现实表现,是驱动力和压力共同作用的结果;“影响”是用来描述区域土地资源系统状况变化的生态环境效应;为实现土地生态安全,人类必须采取相应的措施和对策,即人类社会的“响应”。

参考相关文献研究成果^[13],遵循可比性、可操作性、非兼容性、普遍性与区域性相结合原则,同时考虑数据的可获取性,构建山东省土地生态安全评价指标体系如表1所示。

2.2 评价指标权重确定与指标标准化处理

本文采用层次分析法确定各指标的权重,土地生态安全为第一层次;驱动力、压力、状态、影响和响应为第二层次;各单因子为第三层次,构造判断矩阵,求解最大特征根和特征向量,由此得出各因子的权重结果(表1)。

由于土地生态安全评价指标具有复杂性、多样性的特点,指标之间无法直接进行比较,因此采用简单的数学变换消除各指标量纲影响,将具有不同含义的指标统一起来,以表征土地资源生态安全。本文采用以下指标标准化模型计算各评价指标的安全指数:

对于正向指标,其标准化公式为:

$$x_{ij} = \frac{[r(i,j) - r_{\min}(j)]}{[r_{\max}(j) - r_{\min}(j)]} \quad (1)$$

对于逆向指标,其标准化公式为:

$$x_{ij} = \frac{[r_{\max}(j) - r(i,j)]}{[r_{\max}(j) - r_{\min}(j)]} \quad (2)$$

式中: $r(i,j)$ ——第*i*个评价对象的第*j*个评价指标值($i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,n$); m,n ——年份数和评价指标数; $r_{\max}(j),r_{\min}(j)$ ——第*j*个指标的最大值和最小值。

2.3 综合评价模型

TOPSIS评价方法的步骤依次为:

(1) 建立加权规范化矩阵 U :

$$U = |u_{ij}|_{m \times n} = W_j X_{ij} \quad (3)$$

式中: W_j ——指标权重; X_{ij} ——标准化后的矩阵。

(2) 确定正理想解和负理想解。用加权规范化

决策矩阵 U 中的最大值和最小值分别代表正理想解

$$U_j^+ = \{ \max u_{ij} \} (i=1,2,\cdots,m) \tag{4}$$

U^+ 和负理想解 U^- , 其中:

负理想解:

$$U_j^- = \{ \min u_{ij} \} (i=1,2,\cdots,m) \tag{5}$$

正理想解:

表 1 山东省土地生态安全评价 DPSIR 指标体系及权重

目标层	系统层	指标层	单位	指标性质	权重
土地生态安全评价(A)	驱动力(B ₁)	人口自然增长率(C ₁)	‰	—	0.0471
		GDP 增长率(C ₂)	‰	+	0.0479
		有效灌溉面积(C ₃)	10 ³ hm ²	+	0.0597
		失业率(C ₄)	‰	—	0.0623
	压力(B ₂)	人口密度(C ₅)	人/km ²	—	0.0530
		万元 GDP 能耗(C ₆)	t 标准煤/万元	—	0.0319
		二氧化硫排放量(C ₇)	t	—	0.0424
		工业废水排放量(C ₈)	万 t	—	0.0244
	状态(B ₃)	耕地面积比重(C ₉)	‰	—	0.1466
		农业机械总动力(C ₁₀)	万 kW	+	0.0511
		森林覆盖率(C ₁₁)	‰	+	0.0768
		人均 GDP(C ₁₂)	元	+	0.0374
	影响(B ₄)	粮食产量(C ₁₃)	万 t	+	0.0387
		经济密度(C ₁₄)	万元/km	+	0.0366
		第三产业比重(C ₁₅)	‰	+	0.0438
		农村人均纯收入(C ₁₆)	元	+	0.0326
	响应(B ₅)	固定资产投资增长率(C ₁₇)	‰	+	0.0425
		公园绿地面积(C ₁₈)	hm ²	+	0.0430
		工业固废综合利用量(C ₁₉)	万 t	+	0.0192
		当年造林面积(C ₂₀)	hm ²	+	0.0630

注:“+”表示指标值越大,土地生态越安全;“—”表示指标值越大,土地生态越不安全。

(3) 计算各个年份的评价对象与正理想解的距

(4) 计算各评价对象与理想解的贴近度 F_i :

离 Q^+ 和负理想解的距离 Q^- :

$$F_i = \frac{Q_i^-}{Q_i^+ + Q_i^-} \tag{8}$$

$$Q_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - U_j^+)^2} \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{6}$$

$$Q_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - U_j^-)^2} \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{7}$$

式中: Q^+ 越小,评价对象就越接近正理想解,土地生态状况就越安全; Q^- 越小,评价对象就越接近负理想解,土地生态状况就越危险。

式中:贴近度 F_i 即土地生态安全值,为 0~1,其数值显示越大,表明土地生态状况越安全,反之则越危险。

土地生态安全评价标准和等级设置是否科学合理直接影响评价结果的正确性和可靠性,本文参照已有研究成果的划分标准和等级设置^[2,4-5],按综合贴进度的大小,将山东省土地生态安全状况划分为 5 级(表 2)。

表 2 土地生态安全标准综合评判分级

区间	等级	表征状况	特征
<0.2	I	恶劣级(巨警)	土地生态系统结构遭到严重破坏,功能崩溃,生态过程难以发生逆转,整个生态环境结构重建与功能恢复非常困难;生态环境状态恶劣,生态问题时常演变成生态环境灾害
0.2~0.4	II	风险级(中警)	土地生态系统结构破坏较大,生态系统服务功能退化严重,生态环境问题较严重,生态环境灾害较多,一旦受到干扰,恢复困难
0.4~0.6	III	敏感级(预警)	土地生态系统结构受到一定程度破坏,生态功能开始发生退化,基本功能尚能维持,生态问题明显,偶有生态环境灾害发生,受干扰后易恶化
0.6~0.8	IV	良好级(较安全)	生态环境受到轻微破坏,结构相对完善,整体功能正常,受外界干扰后一般可恢复,生态问题不显著,生态环境灾害发生较少
>0.8	V	理想级(安全)	土地生态系统结构完善,功能齐全,整体运转正常,生态系统具有较强的恢复能力,少有生态问题,生态环境灾害发生少

3 结果与分析

3.1 土地生态安全综合评价

通过对山东省 2006—2013 年的土地利用统计数据 and 查阅统计年鉴得到的各年经济社会统计数据,经过标准化处理,采用 TOPSIS 模型计算得出该省 2006—2013 年正理想解 Q^+ 、负理想解 Q^- 和综合贴进度 F (表 3)。

从表 3 可以看出,山东省 2006—2013 年的土地生态安全状况总体上处于不断转好的趋势。 Q^+ 呈现逐渐减少的趋势,不断接近正理想解, Q^- 则呈现出不断上升的态势,逐渐偏离负理想解。山东省的土地生态安全值(贴进度)从 2006 年的 0.213 5 逐年上升,到 2013 年达到 0.483 6,上升了 0.270 1,涨幅达 1 倍多,土地资源生态安全状况由风险级别提升到敏感级别,即预警状态。其中,2006—2011 年土地生态资源

生态安全状况虽然不断提升,但依旧处于风险级别,即中警状态。山东省土地生态安全状况处于风险级别是与过度追求社会经济效益而忽略生态效益有着分不开的关系。由于忽略了生态效益,全省土地生态系统服务功能发生退化,土地生态环境、生态系统结构遭到破坏,生态环境问题较为严重,生态环境灾害出现较多。随着生态建设的不断加强、深入,全省安全状况不断改善,进入 2012 年,土地生态安全状况由风险级转变为敏感级,土地生态问题得到缓和。尽管如此,总体上山东省土地生态安全形势仍然不容乐观,8 年来,土地生态安全状况虽然不断改善,但土地生态安全级别处于敏感级,未来依旧面临来自工业“三废”污染、大气污染、土地资源退化、耕地减少、耕地质量下降、土地沙化、水土流失等问题的威胁,继续加大土地资源的保护力度,应成为山东发展中重点关注的内容之一。

表 3 2006—2013 年山东省各指标的 Q^+ 、 Q^- 及贴进度 F 的值

项目	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
Q^-	0.0893	0.0895	0.0981	0.0938	0.1190	0.1415	0.1640	0.1989
Q^+	0.3289	0.3078	0.2874	0.2852	0.2656	0.2507	0.2377	0.2124
F	0.2135	0.2252	0.2544	0.2475	0.3093	0.3609	0.4083	0.4836
安全等级	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ

3.2 土地生态安全分区评价

由于土地资源的自然禀赋条件、社会经济发展水平的差异和人类活动对土地资源生态环境的干扰强度,山东省土地资源的生态安全状况在空间上也存在很大的差异,本文将山东省 17 个地市作为生态安全空间差异评价的评价单元。在评价的过程中,运用前述土地土地资源生态安全评价方法,结合各个生态评价单元 2013 年的指标数据,进行定量计算,最后得出各个生态评价单元 2013 年的土地资源生态安全贴进度。评价结果如图 1 所示。

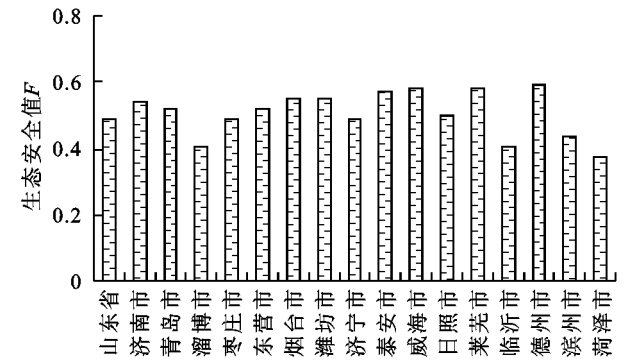


图 1 山东省各地市土地生态安全评价结果

由图 1 可以看出,2013 年,山东省各地市中除了菏泽市土地生态安全状况处于风险级别之外,其他

16 个市的土地生态安全状况都处于敏感级别,其中淄博、枣庄、东营、济宁、日照、临沂和滨州 7 个城市贴进度为 0.4~0.5,处于敏感级别中的较低水平。济南、青岛、烟台、潍坊、泰安、威海、莱芜、德州、聊城 9 个城市土地资源生态安全贴进度为 0.5~0.6,处于敏感级别上限区间,高于全省水平。

3.3 土地生态安全的对策分析

(1) 加强耕地保护,保持适当的生态用地。保证耕地的面积是维系山东省土地生态安全和整个社会经济可持续发展的基础,因此,切实加强耕地保护特别是基本农田保护是维护土地生态安全的重要任务。保护现有林地、草地以及自然保护区,重视水土资源的优化配置和高效利用及水土资源的节约、集约和保护,尽量避免对资源的大幅占用和浪费,全面保护可利用资源,因地制宜,实施退耕还林还草生态建设工程,并制定关于水土资源合理高效的开发利用规则和方案,不断增加植被。

(2) 优化土地利用结构和布局。山东省作为经济大省,经济总量虽大,但是单位面积的土地产值不高。按照经济结构的调整方向,因地制宜地调整不合理的土地利用结构和布局,提高单位面积的产量和产

值,加强新一轮土地利用总体规划编制的科学性和可操作性,并从土地用途管制、土地利用动态监测等方面加强规划的落实和对土地利用的“龙头”作用。

(3) 加大生态保护投入,建立有效的生态补偿制度。山东省作为资源大省与农业大省,对自然资源的依赖程度较高。在积极推动经济发展和生态保护的同时,还必须在财政支出方面提高对土地生态保护的投入,将土地生态价值纳入到经济核算制度中,逐步建立并完善土地资源开发补偿、土地生态破坏治理恢复基金等一系列有效的土地生态补偿机制,改变资源粗放利用和传统的农业发展模式,为经济发展创造优良的生态环境条件。

(4) 控制人口增长,缓和人地矛盾。山东省作为全国第二人口大省,人口形势非常严峻,庞大的人口基数以及人口增长已经成为山东省土地可持续利用及社会经济可持续发展的“瓶颈”。因此,在坚持执行计划生育基本政策的前提下,必须要做好优生优育的工作,降低人口自然增长率,控制人口数量,提高人口素质,以实现人口与土地资源的和谐发展。

4 结论与讨论

土地资源生态安全事关土地资源的可持续利用和经济社会的可持续发展,如何建立科学的评价指标体系,选择恰当的评价模型对土地资源安全状况进行评价和动态监测是新时期土地管理工作的重要内容。本文基于 DPSIR 概念模型构建山东省土地生态安全评价指标体系,该模型已经在包括环境研究的诸多领域成功应用;并采用 TOPSIS 方法进行土地生态安全综合评价,有着坚实的数学基础和精密的计算过程,研究方法上对其他地区的土地生态安全评价以及后续的研究工作具有较好的参考价值。

本文以山东省作为评价区域,把整个省域作为一个评价单元进行了 2006—2013 年的动态评价,属于宏观尺度的土地生态安全动态评价。由于数据的可获取性的原因,只是针对 2013 年评价区域内各地市土地生态安全的差异性进行了评价。进一步的研究

应该对整个省域按自然特征、行政区划或经济发展水平进行空间划分,更加精细地对各单元土地生态安全的时空差异作出评价,同时有针对性地采取相应的对策,以更好地保障土地资源的生态安全水平。

参考文献:

- [1] 吴次芳,鲍海君.土地生态安全研究的理论与方法[M].北京:气象出版社,2004.
- [2] 王鹏,况福民,邓育武,等.湘南红壤丘陵区土地生态安全动态评价:以衡阳市为例[J].水土保持研究,2013,20(3):243-248.
- [3] 刘雯波,郑华伟,刘友兆.基于物元模型的苏南地区土地生态安全评价[J].水土保持通报,2013,33(6):175-180.
- [4] 李玉平,朱琛,张义文.河北省邢台市土地生态安全评价及可持续发展对策研究[J].水土保持通报,2013,33(6):116-120,124.
- [5] 冯文斌,李升峰.江苏省土地生态安全评价研究[J].水土保持通报,2013,33(2):285-290.
- [6] 刘蕾,姜灵彦,高军侠.基于 P-S-R 模型的土地生态安全物元评价:以河南省为例[J].地域研究与开发,2011,30(4):117-121.
- [7] 徐美,朱翔,刘春腊.基于 RBF 的湖南省土地生态安全动态预警[J].地理学报,2013,67(10):1411-1422.
- [8] 余敦,陈文波.鄱阳湖生态经济区土地生态安全研究[J].水土保持研究,2011,18(4):107-111.
- [9] 王亮,卞正富.基于灾变理论的盐城市土地生态安全评价研究[J].长江流域资源与环境,2014(2):231-236.
- [10] 于伯华,吕昌河.基于 DPSIR 模型的农业土地资源持续利用评价[J].农业工程学报,2008,24(9):53-58.
- [11] 陈华伟,黄继文,张欣,等.基于 DPSIR 概念框架的水生态安全动态评价[J].人民黄河,2013,35(9):34-37.
- [12] 刘英英,石培基,刘玲,等.基于 DPSIR 陇南市土地利用规划环境影响评价[J].土壤通报,2011(4):795-800.
- [13] 靖宇,王红梅.基于 DPSIR 模型的土地生态安全评价研究:以广东省佛冈县为例[J].国土资源科技管理,2011,28(1):15-21.
- [14] 万千欢,千庆兰.基于 TOPSIS 法的中国地区交通运输设备制造业竞争力评价[J].热带地理,2013,33(3):333-340.