

# 基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价

孙奇奇<sup>1</sup>, 宋 戈<sup>1</sup>, 齐美玲<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 国家土地督察沈阳局, 沈阳 110136)

**摘 要:**土地生态安全关系到一个区域整体生态环境的可持续发展。按照哈尔滨市土地资源现状,从自然、经济、社会三个方面选取与土地生态安全关系密切的 21 个指标,构建评价指标体系。运用主成分分析方法,对 2001—2008 年哈尔滨市土地生态安全状况进行分析,最后设定安全阈值,并进行初步探讨。结果表明:2001—2008 年哈尔滨市土地生态安全状况呈波动变化的递减发展趋势,但总体处于较安全水平。具体来说哈尔滨市土地生态安全变化水平可分为几个变化阶段,2002 年前处于较安全水平;2003 年处于生态安全拐点,随后至 2007 年安全水平不断下降,期间虽 2005 年有小幅上升,但变化总趋势递减,直至 2008 年稍有好转处于较安全水平。土地生态安全处于连续波动状态,近些年有不安全趋势。

**关键词:**土地生态安全;主成分分析;评价;哈尔滨市

中图分类号:F301

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0234-05

## Analysis of Land Ecological Safety Evaluation of Harbin City Based on Principal Component Analysis

SUN Qi-qi<sup>1</sup>, SONG Ge<sup>1</sup>, QI Mei-ling<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Shenyang Bureau of State Land Supervision, Shenyang 110136, China)

**Abstract:** Land ecological security is relation to the overall regional ecological environment sustainable development. Evaluation index system has been constructed according to Harbin City land resources situation, from three aspects including nature, economy, and society by selecting 21 indices which have close relation with land ecological security. Land ecological security situation of Harbin City from 2001 to 2008 was analyzed by using the principal component analysis method, safety threshold was set and preliminary discussed finally. The results of the study show that land ecological security situation of Harbin City is at the trend of degressive fluctuations from 2001 to 2008, but overall is at a safety level. Specific land ecological security changes of Harbin City can be divided into several levels: at a security level before 2002; the land ecological security was in the inflection point in 2003, and then safety levels have been going down to 2007, during this period, although the level performed a little rise in 2005, the general trend is degressive; the security level was somewhat better until 2008. Land ecological levels had been in a wave state and had insecure trend in recent years.

**Key words:** land ecological security; principal component analysis; evaluation; Harbin City

土地生态安全是生态安全的重要组成部分<sup>[1]</sup>,关系到人类的生存发展。可以定义为土地系统处于一种平衡稳定状态,不受或少受外界威胁,同时对人类生存发展产生有利的影响,保障人类的物质需求。本文综合国内文献得出研究土地生态安全多采用综合

指数评价法<sup>[2-7]</sup>;有学者运用主成分分析法<sup>[8]</sup>,计算影响土地生态安全的各主成分的值;部分学者采取物元分析方法<sup>[9-10]</sup>,除此之外还有一些学者采取土地承载力分析法、景观生态学方法<sup>[11]</sup>对土地生态安全开展研究。本文综合国内外文献以及研究成果<sup>[2-3,5-8,10,12-16]</sup>

收稿日期:2011-06-06

修回日期:2011-07-27

资助项目:黑龙江省青年学术骨干项目(1154G45);国家自然科学基金(41071346);国家科技支撑计划项目(2008BAD96B02)

作者简介:孙奇奇(1988—),男,江苏宿迁人,硕士研究生,研究方向为土地利用。E-mail:sunqiqi429@126.com

通信作者:宋戈(1969—),女,黑龙江庆安人,博士,教授/博士生导师,主要研究方向为土地利用。E-mail:songgelaoshi@163.com

建立评价指标体系,运用 SPSS 17.0 软件,采用主成分分析法,以 2001—2008 年哈尔滨市相关数据为基础,对哈尔滨市土地生态安全进行评价。

1 研究区概况

哈尔滨位于东经 125°42′—130°10′,北纬 44°04′—46°40′,是中国东北北部政治、经济、文化中心,也是中国省辖市中面积最大、人口居第二位的特大城市。全市土地面积 5.31 万 km<sup>2</sup>,市区面积 7 086 km<sup>2</sup>,辖 8 区 10 县(市)。2008 年末,户籍总人口 989.9 万人,地区生产总值为 2 868.2 亿元。哈尔滨市是一个以工业为主体、三次产业全面发展的综合性城市。近些年来经济快速发展的同时环境问题也日

益彰显,环境、水土污染加剧,土地生态安全面临着比较严峻的挑战。

2 指标体系的建立

评价指标的确定是研究土地生态安全评价的关键内容,指标的选取要能够完全反映土地的生态状况。

因此在科学性、完整性、层次性和可比性的基础上,剔除与土地生态安全不相关的因子,结合哈尔滨市土地资源现状,同时参照国内相关研究<sup>[2-3,5-8,10,12-16]</sup>,从自然、经济、社会三个方面构建 21 个评价指标(表 1),对哈尔滨市域土地生态安全状况进行研究。

表 1 哈尔滨市土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标内涵	安全趋向
土地生态安全	自然因素	人均耕地面积( $D_1$ )	耕地规模	正向
		森林覆盖率( $D_2$ )	环境改善状况	正向
		耕地面积比重( $D_3$ )	耕地面积数量	正向
		草地面积比重( $D_4$ )	草地面积数量	正向
		农田旱涝保收率( $D_5$ )	抵御洪涝灾害能力	正向
		水土协调度( $D_6$ )	水土资源配比度	正向
	经济因素	粮食单产( $D_7$ )	粮食对个人的满足程度	正向
		人均国内生产总值( $D_8$ )	国民收入平均水平	正向
		第三产业比重( $D_9$ )	第三产业发展程度	正向
		农业机械化水平( $D_{10}$ )	机械化水平	正向
		化肥施用量( $D_{11}$ )	化肥对土地的污染度	逆向
		农药施用量( $D_{12}$ )	农药对土地的污染度	逆向
		单位耕地用电量( $D_{13}$ )	单位耕地耗费的能量	正向
	社会因素	城镇化率( $D_{14}$ )	城市化发展程度	正向
		人口自然增长率( $D_{15}$ )	人口增长的程度和趋势	逆向
		人口密度( $D_{16}$ )	单位面积土地人口数量	逆向
		就业率( $D_{17}$ )	社会就业人数	正向
		工业废水排放达标率( $D_{18}$ )	工业废水治理率	正向
		工业固体废物利用率( $D_{19}$ )	工业固体治理率	正向
		环保投资占 GDP 的比重( $D_{20}$ )	环境保护程度	正向
		单位面积土地工业废气排放量( $D_{21}$ )	空气污染程度	逆向

3 哈尔滨市土地生态安全定量评价

3.1 数据来源

本研究数据来源于《哈尔滨统计年鉴》(2002—2009 年),《黑龙江统计年鉴》(2002—2009 年)。本文数据除部分可直接从统计年鉴里查得<sup>[17-18]</sup>,其它都是根据查得数据计算得到。

3.2 土地生态安全值的确定

3.2.1 数据的标准化处理 采用极差标准化法将原始数据作标准化处理,得出指标的标准化矩阵(表 2)。将数值标准化处理也就可以消除不同变量之间

的差异性,使数值均为 0~1,因而具有可比性。

3.2.2 主成分的提取 主成分分析法就是将多元变量归结为较少的一些变量,也就是一个降维的过程<sup>[19-20]</sup>。运用 SPSS 17.0 软件进行数值的处理,得出相关系数矩阵。所选取的变量中有 60%以上的系数绝对值大于 0.3,故认为可以进行主成分分析<sup>[8]</sup>。将标准化矩阵导入 SPSS 17.0 软件中进行主成分分析,得出前五个累计方差贡献率达到 94.18%,初始方差贡献率分别为 39.62%,17.84%,14.80%,12.54%,9.38%,说明这 5 个变量就可以作为主成分,这 5 个成分基本涵盖了变量信息。

表 2 2001—2008 年哈尔滨市土地生态安全标准化值

指标层	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
$D_1$	0.03	0.00	0.03	1.00	0.71	0.92	0.89	0.88
$D_2$	0.00	0.12	1.00	0.37	0.43	0.52	0.61	0.69
$D_3$	0.01	0.00	0.04	1.00	0.75	0.96	0.96	0.96
$D_4$	1.00	1.00	1.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
$D_5$	0.87	1.00	0.97	0.00	0.18	0.24	0.51	0.55
$D_6$	1.00	0.78	0.66	0.33	0.40	0.57	0.21	0.00
$D_7$	0.00	1.00	0.19	0.19	0.30	0.04	0.24	0.56
$D_8$	0.00	0.07	0.14	0.28	0.41	0.56	0.75	1.00
$D_9$	0.00	0.22	1.00	0.08	0.02	0.01	0.26	0.33
$D_{10}$	0.10	0.27	0.30	0.00	0.18	0.62	0.86	1.00
$D_{11}$	1.00	0.84	0.87	0.76	0.82	0.89	0.37	0.00
$D_{12}$	1.00	0.78	0.63	0.63	0.75	0.13	0.24	0.00
$D_{13}$	0.12	0.46	0.69	0.00	0.80	0.46	0.53	1.00
$D_{14}$	0.39	0.40	0.00	0.70	0.71	0.99	1.00	0.98
$D_{15}$	0.44	0.29	0.53	0.59	1.00	0.71	0.00	0.03
$D_{16}$	1.00	0.80	0.70	0.40	0.30	0.20	0.10	0.00
$D_{17}$	0.96	0.93	1.00	0.81	0.11	0.00	0.31	0.36
$D_{18}$	0.52	0.92	1.00	0.92	0.94	0.00	0.10	1.00
$D_{19}$	0.53	1.00	0.75	0.86	0.88	0.00	0.58	0.89
$D_{20}$	0.89	0.94	0.92	0.97	0.89	0.69	0.00	1.00
$D_{21}$	0.76	0.89	0.76	0.74	0.78	0.46	1.00	0.00

得出的正交旋转后的各个评价因子的成分矩阵,根据其中各因子的贡献率分别将各因子归于 5 个主成分之中。分析得出的旋转因子载荷矩阵主要反映各因子的贡献率大小,因子贡献率绝对值大小决定该因子归入的主成分。其中第一主成分所包含的因子较多,多为人均耕地面积、耕地面积比重、人口密度、水土协调度等一些土地资源数量方面的因子。第二主成分包括了农业机械化水平、化肥施用量等土地资源质量方面因子。第三主成分包括工业废水排放达标率、工业固体废物利用率等土地资源治理方面因子。第四主成分包括森林覆盖率、第三产业比重等土地资源社会指标方面因子。第五主成分包括单位面积土地废气排放量、环保投资率等土地资源的生态指标方面因子(表 3)。

3.2.3 主成分的计算 由 SPSS 软件分析得出的因子得分矩阵,可将其作为计算各年份主成分值的权重,如公式(1)所示。

$$F_{ij} = p_{ij} \cdot m_i \tag{1}$$

式中: $F_{ij}$ ——第  $j$  年第  $i$  个主成分; $p_{ij}$ ——第  $j$  年第  $i$  个评价因子的标准化值; $m_i$ ——第  $i$  个评价因子的得分矩阵系数。

得出各年份的主成分值后,根据 SPSS 软件分析结果得出旋转后的主成分方差贡献率(表 4)。可选取各主成分的方差贡献率作为计算各年份生态安全值的权重,如公式(2)所示。

$$F_j = \sum_{i=1}^5 F_{ij} \cdot k_i \tag{2}$$

式中: $F_j$ ——第  $j$  年的生态安全值; $F_{ij}$ ——第  $j$  年第  $i$  个主成分; $k_i$ ——各主成分的方差贡献率; $i$ ——1—5 的整数; $j$ ——1—8 的整数;由以上公式(1)—(2)计算可得出结果(表 5)。

表 3 旋转因子载荷矩阵

指标层	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$
$D_4$	0.99	0.03	0.11	0.01	-0.06
$D_1$	-0.98	-0.04	-0.13	-0.02	0.02
$D_3$	-0.98	-0.08	-0.14	0.01	0.04
$D_{16}$	0.90	0.30	0.10	-0.24	-0.17
$D_5$	0.89	-0.40	0.07	0.15	0.05
$D_{14}$	-0.84	-0.36	-0.26	-0.28	0.14
$D_6$	0.84	0.36	-0.25	-0.31	-0.09
$D_{17}$	0.76	0.07	0.40	0.00	-0.26
$D_8$	-0.75	-0.53	-0.10	0.23	0.29
$D_{12}$	0.61	0.51	0.28	-0.33	-0.34
$D_{15}$	-0.07	0.93	-0.09	-0.05	0.08
$D_{10}$	-0.37	-0.78	-0.26	0.29	0.31
$D_{11}$	0.52	0.71	-0.26	-0.23	-0.22
$D_{19}$	0.09	-0.10	0.97	0.06	-0.11
$D_{18}$	0.19	0.24	0.90	0.20	0.22
$D_7$	0.17	-0.47	0.66	-0.16	0.16
$D_2$	-0.24	-0.09	-0.06	0.95	0.11
$D_9$	0.39	-0.13	0.17	0.88	-0.04
$D_{13}$	-0.19	-0.34	0.17	0.55	0.50
$D_{21}$	0.31	0.16	-0.04	-0.11	-0.88
$D_{20}$	0.29	0.50	0.52	-0.10	0.60

表 4 各主成分的方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
$F_1$	8.32	39.62	39.62
$F_2$	3.75	17.84	57.46
$F_3$	3.11	14.80	72.25
$F_4$	2.63	12.54	84.79
$F_5$	1.97	9.38	94.18

3.3 评价标准的确定

国内目前还没有一个统一的确定土地生态安全的标准。标准值的确定不仅是个比较复杂的过程,而且要因地制宜,各个地方生态环境差异性较大,因而不能一概而论。本文参考国内相关研究,同时结合哈尔滨市土地资源现状,建立了哈尔滨市土地生态安全的评价标准(表 6)。

表 5 2001—2008 年哈尔滨市土地生态安全值

年份	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	生态安全值
2001	0.5305	0.2744	0.2692	-0.1604	0.0230	0.2810
2002	0.4858	-0.0385	0.8062	-0.0886	-0.0513	0.2890
2003	0.4927	0.3690	0.5165	0.9039	-0.0063	0.4503
2004	-0.3714	0.6048	0.8250	-0.0507	-0.3631	0.0424
2005	-0.3075	0.6486	0.7047	0.1984	0.0259	0.0942
2006	-0.2275	0.3705	-0.1542	0.1116	0.2711	-0.0075
2007	-0.2796	-0.2725	0.2341	0.2995	-0.5382	-0.1377
2008	-0.2891	-0.1764	0.7725	0.3247	0.5312	0.0589

表 6 哈尔滨市土地生态安全评判标准值

安全值区间	等级	状态
$>0.4$	安全	I
$0\sim0.4$	较安全	II
$-0.4\sim0$	临界安全	III
$<-0.4$	不安全	IV

3.4 结果与分析

由以上可得出 2001—2008 年哈尔滨市土地生态安全水平,2001—2002 年为 II 级,处于较安全水平;2003 年为 I 级,处于安全水平;2004—2005 年为 II 级,处于较安全水平;2006—2007 年为 III 级,处于临界安全水平;2008 年为 II 级,处于较安全水平。

由图 1 可得,哈尔滨市土地生态安全变化趋势可分为:2001—2003 年为上升期;2003—2004 年为下降期;2004—2005 年为上升期;2005—2007 年为下降期;2007—2008 年为上升期,土地生态安全水平为波动发展的变化趋势。2001—2003 年生态安全值不断增加,由 2001 年的较安全水平增长到 2003 年的安全水平,并在 2003 年达到一个高峰值。这一阶段工业废水排放达标率和工业固体废物使用率不断增加,并且维持在一个较高的水平上,得益于政府加强环境治理,提高环境质量。

土地生态安全采用的评价标准主要包括以下几个方面<sup>[20]</sup>:(1)国家、行业和地方规定的标准。国家已发布的环境质量标准如农田灌溉水质标准(GB5804-92)、保护农作物大气污染物最高允许浓度(GB9137-88)、农药安全使用标准(GB4285-89)、污水综合排放标准(GB8978-96)、黑龙江省省级生态示范区建设标准等;(2)将区域生态环境的背景值或本底值作为评价的标准。如从哈尔滨的实际情况出发,选择植被覆盖率、水土流失治理率、人均耕地面积、生物物种丰度和生物多样性等指标;(3)科学研究已判定的生态效应。通过当地或相似条件下,科学研究已判定的保障生态安全的各项指标的要求等作为评价的参考标准。

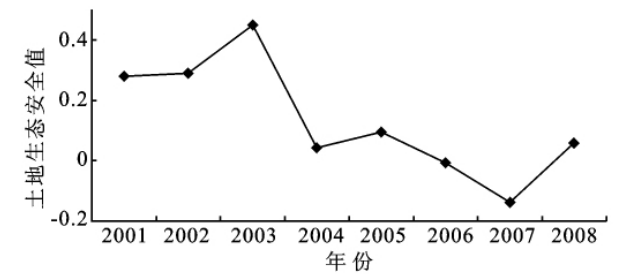


图 1 2001—2008 年哈尔滨市土地生态安全变化趋势

第三产业比重、粮食单产、耕地面积比重等正向指标也不断增加,并且维持在一个较高的水平上;2003—2004 年土地生态安全水平处于下降期,由于人口密度,人口自然增长率的增加,农药施用量逐年增长,导致土地压力负荷加重,土壤生态污染加剧。人类活动对环境的影响往往有滞后性,因而前几年的一些危害土地生态安全行为集中于某段时间发生;2004—2005 年土地生态安全水平处于上升期,是由于人均 GDP、森林覆盖率等正向指标值不断增加,土地生态环境有所好转;2005—2007 年土地生态安全水平再次处于下降期,并于 2006 年、2007 年达到了负值,为这一阶段的最低点。由于工业发展,工业废水废气固体废物排放量增加,环境治理程度有减弱,加上之前环境污染治理程度不够积累了一些问题,导

致这一阶段生态问题再次凸显;2007—2008年土地生态安全水平再次处于上升期,之前所累积的生态环境问题得到一定程度的改善,同时政府对环境重视程度的加强,加大了环保投资力度。总的来说,2001—2008年哈尔滨市土地生态安全水平总体呈现波动变化的递减发展趋势,但总体处于较安全水平。

## 4 结语

本文通过建立评价指标体系对2001—2008年哈尔滨市土地生态安全水平初步开展评价,得出2001—2008年哈尔滨市土地生态安全水平总体呈现波动变化的递减发展趋势,土地生态安全水平波动较大,处于较不稳定发展阶段,但总体处于较安全水平。

土地生态安全评价是一个系统性工程,建立评价指标体系不能完全反映出土地生态安全现状,需综合各方面因素加以分析。而且标准值的确定在全国范围内没有一个统一的规范,仍需在实践中不断完善。整合土地资源生态安全影响机理及土地资源生态安全评价研究成果,量化土地资源生态安全指标标准,对于提高土地利用结构优化模型的科学性和合理性有着重要的意义,这也将是未来可持续土地利用研究的前沿<sup>[11]</sup>。本文结合哈尔滨土地生态现状,在科学性、适用性原则的基础上,参考确定土地生态安全的各项标准,得出适用于哈尔滨及其周边地区土地生态安全的评判标准值。但评判标准值并不是唯一确定的值,各地区有所差异,需综合各地区情况加以实际分析,不能一概而论。

土地生态安全关系到一个地区整体生态环境的可持续性,应当加以足够的重视。从以上分析的结果来看,哈尔滨市土地生态安全状况并不乐观,在以后的土地利用过程中,政府应引起足够重视,加大环境保护力度。

### 参考文献:

- [1] 许月卿,崔丽.小城镇土地生态安全评价研究:以贵州省猫跳河流域为例[J].水土保持研究,2007,14(5):345-348.
- [2] 张虹波,刘黎明,张军连,等.黄土丘陵区土地资源生态安全及其动态评价[J].资源科学,2007,29(4):193-199.
- [3] 刘欣,葛京凤,冯现辉.河北太行山区土地资源生态安全研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(5):68-74.
- [4] 左太安,苏维词,马景娜,等.三峡重庆库区针对水土流失的土地资源生态安全评价[J].水土保持学报,2010,24(2):74-78.
- [5] 杨赛明,徐跃通,张邦花.区域土地资源可持续利用的生态安全评价[J].中国人口·资源与环境,2010,20(3):325-328.
- [6] 高桂芹,韩美.区域土地资源生态安全评价:以山东省枣庄市中区为例[J].水土保持研究,2005,12(5):271-273.
- [7] 刘勇,刘友兆,徐萍.区域土地资源生态安全评价:以浙江嘉兴市为例[J].资源科学,2004,26(3):69-75.
- [8] 杜忠潮,韩申山.基于主成分分析的土地生态安全评价实证研究:以陕西省10个省辖市为例[J].水土保持通报,2009,29(6):198-207.
- [9] 张小虎,雷国平,袁磊,等.黑龙江省土地生态安全评价[J].中国人口·资源与环境,2009,19(1):88-93.
- [10] 李玉平,蔡运龙.河北省土地生态安全评价[J].北京大学学报:自然科学版,2007,43(6):784-789.
- [11] 张虹波,刘黎明.土地资源生态安全研究进展与展望[J].地理科学进展,2006,25(5):77-85.
- [12] 林彰平,刘湘南.东北农牧交错带土地利用生态安全模式案例研究[J].生态学杂志,2002,21(6):16-19.
- [13] 汤洁,朱云峰,李昭阳,等.东北农牧交错带土地生态环境安全指标体系的建立与综合评价:以镇赉县为例[J].干旱区资源与环境,2006,20(1):121-124.
- [14] 杜巧玲,许学工,刘文政.黑河中下游绿洲生态安全评价[J].生态学报,2004,24(9):1918-1920.
- [15] 张文梅,任志远,王丽霞,等.城市水土资源生态安全评价:以西安市为例[J].资源科学,2008,30(12):1916-1921.
- [16] 周飞,郭良珍,陈士银,等.湛江市土地资源生态安全评价与限制因素[J].水土保持研究,2010,17(5):202-211.
- [17] 哈尔滨统计年鉴(2002—2009)[M].北京:中国统计出版社,2009.
- [18] 黑龙江统计年鉴(2002—2009)[M].北京:中国统计出版社,2009.
- [19] 徐建华.计量地理学[M].北京:高等教育出版社,2006:95-98.
- [20] 毛文永.生态环境影响评价概论[M].北京:中国环境科学出版社,2003:172-177.