

我国北方农牧交错区土地生态安全评价 ——以白城市为例

张茹¹, 戴文婷¹, 刘兆顺², 董霁红¹

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221000; 2. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130000)

摘要:白城市位于北方农牧交错区,生态环境脆弱。为了解其土地生态安全状况,基于压力—状态—响应(pressure-state-response 简称PSR)模型,共选取21个指标构建了土地生态安全评价指标体系,对2007—2012年白城市及其所辖5个县区土地生态安全变化情况进行评价分析。结果表明:(1)各县(市、区)土地生态压力—状态—响应情况不同,镇赉县、大安及洮北区土地生态压力安全值较高,对安全综合值贡献率在38%以上;洮南市土地生态状态安全值较高,贡献率在36%以上;通榆县土地生态压力—状态—响应安全值分布比较均衡,贡献比为35:34:31。(2)2007—2012年,白城市土地生态安全综合值由0.712 2提高至0.780 4,土地生态环境有所改善,但土地安全等级仍处于敏感级,生态环境比较脆弱。(3)白城市土地生态安全状况的改善有赖于实施有效的人口政策,控制人口规模;引进人才,鼓励农民发展新型绿色农业,减轻土地污染压力;提高环境保护意识,加大环保投资力度,促进土地生态恢复。

关键词:农牧交错区;土地生态;安全评价;PSR模型;白城市

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)02-0259-08

Evaluation of Land Ecological Security in Agro-Pastoral Zone of Northern China —A Case Study of Baicheng City

ZHANG Ru¹, DAI Wenting¹, LIU Zhaoshun², DONG Jihong¹

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221000, China; 2. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130000, China)

Abstract: Baicheng City is located in agro-pastoral zone in northern China. The ecological environment of this city is fragile. In order to understand the status of land ecological security in Baicheng City, we selected 21 indexes to construct the evaluating index system of land ecological security based on pressure-state-response model (PSR), and to evaluate and analyze the changes of land ecological security in Baicheng City and 5 counties (cities, districts) under its jurisdiction from 2007—2012. The results showed that: (1) statuses of land ecological pressure-state-response in different counties (cities, districts) were not same, the land ecological pressure values of Zhenlai County, Da'an County and Taobei District were higher, their contribution rates for comprehensive value were more than 38%; the land ecological state value of Taonan City was higher, and its contribution rate was more than 36%; the distribution of land ecological pressure-state-response value of Tongyu County was balanced, their contribution ratio was 35:34:31; (2) during the period from 2007 to 2012, the comprehensive value of land ecological security of Baicheng City increased from 0.712 2 to 0.780 4, and the land ecological environment had improved, but the land security level was still at the sensitive level, the ecological environment was fragile; (3) the improvement of land ecological security situation of Baicheng City depended on the implementation of effective population policy for controlling population scale, reducing the pollution pressure of land by introducing talent and encouraging farmers to develop new green agriculture, promoting ecological restoration of land by raising awareness and increasing investment in environmental protection.

Keywords: agro-pastoral zone; land ecology; security evaluation; PSR model; Baicheng City

土地资源作为万物生存之根本,其良好的生态安全状态不仅是人类赖以生存和发展的物质基础,更是实现社会可持续发展的先决条件^[1]。然而,近年来城镇化与工业化的快速推进,人地矛盾的日益突出以及土地利用程度的不断增强,导致土地污染、水土流失、土地荒漠化等现象日益严重,直接或间接地威胁着土地生态安全,制约着人类社会的可持续发展^[2]。因此,关于土地生态安全的研究已经成为土地可持续利用的热点课题,引起众多学者的关注^[3]。其中,对土地生态系统的结构、功能、价值进行客观评价,掌握土地资源动态,了解土地资源变化详情,为土地资源可持续利用提供合理依据已经成为土地生态安全研究的关键环节^[4]。目前,土地生态安全评价仍处于探索阶段^[5],评价尺度主要集中于短期静态到长期动态的时间尺度以及从地方到区域的空间尺度。评价方法主要集中于从自然因素、经济因素以及社会因素出发,在压力—状态—响应(pressure-state-response 简称 PSR)模型框架下,利用景观生态、生态足迹、物元分析等模型和 GIS、支持向量机等多种方法,通过构建生态安全评价指标体系对研究区土地利用进行生态安全评价^[6]。

白城市位于科尔沁草原东部,嫩江平原西部,是我国北方典型的农牧交错地区。受恶劣生态环境以及自然灾害等因素的影响,该区经济基础薄弱,土地退化严重,贫困人口集中^[7]。因此,文章以白城市为研究区域,对其进行土地生态安全评价。目的在于明确白城市及其所辖各县(市、区)土地生态环境现状及发展变化情况,分析土地生态安全所存在的问题及影响因素,最终为白城市土地利用效率的提高和生态安全状况的改善提供理论参考和科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

白城市位于吉林省西部,辖洮北区、洮南市、大安市、镇赉县、通榆县 5 个县(市、区)。地理坐标为 121°38′—124°22′ E, 44°13′57″—46°18′ N,土地面积 25 745 km²,占吉林省总面积的 7.29%,居吉林省第三位。总体地势表现为西北高,东北低,东南略有抬升。全年气候具有“日照充足,降雨量变动大,旱多涝少”的特点。年平均气温 5.1℃,全年无霜期约 149 d,年平均降水量 399.8 mm,降水量主要集中于 5—9 月份,约占全年总降水量的 88%。

2012 年,白城市总人口 200.02 万人,其中农业人口 119.85 万人,占人口总数的 59.91%。地区总产值 615.4 亿元,比 2011 年增长 12.2%。其中,第一、二、三产业增长值分别为 110.6 亿元、293.8 亿

元、211.0 亿元,三次产业结构为 18.0 : 47.7 : 34.3。作为国家级商品粮生产基地,2012 年,白城市粮食总产量为 346.9 万 t,总播种面积 102.6 万 hm²,实现粮食单产 3 381.1 kg/hm²。其中玉米产量 210.3 万 t,水稻产量 87.2 万 t,播种面积分别为 40.6 万 hm²,11.8 万 hm²。此外,畜牧业经济仍保持平稳发展趋势,其中肉类总产量 9.8 万 t,同比增长 12.0%;禽蛋产量 5.1 万 t,牛奶产量 14.4 万 t,均同比增长 6.5%。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源 研究数据主要来源于《吉林统计年鉴》(2008—2013)、《白城统计年鉴》(2008—2013)、白城市社会经济统计公报(2007—2012)以及所辖县(区)地方志,原始数据见表 1。

1.2.2 评价指标体系构建 PSR 框架模型是 20 世纪 80 年代,由世界银行(WB)、联合国粮农组织(FAO)、联合国环境规划署(UNEP)、联合国开发计划署(UNDP)在其联合开展的土地质量指标(Land Quality Indicators,简称 LQL)研究项目中所取得的成果^[8]。由互为因果关系的压力、状态和响应三部分组成^[9];即因人类活动而对生态环境所产生的压力;生态环境因压力而改变了其原有的性质或自然数量(状态);人类通过技术手段以及管理策略等对生态环境产生的变化所做出的行为响应。因其具有综合性、灵活性和因果关系清晰等优点成为当前可持续发展和生态安全评价领域较常用的方法^[10]。

不同地区土地生态安全状况有所差异,因此,学者们从不同角度构建生态安全评价指标体系,在此基础上对研究地区进行生态安全评价。例如,刘凌冰^[11]等对西北荒漠区土地生态安全进行评价时,侧重于从人口承载、社会经济以及资源环境 3 方面选取土地生态压力指标,从土地利用质量及利用结构方面选取土地生态状态指标,从环境治理和经济社会发展方面选取土地生态响应指标。张锐等^[12]对耕地进行生态评价时,通过选取人口密度、单位耕地面积化肥负荷、人均耕地面积等作为土地压力指标,选取耕地粮食单产、水土流失程度等作为土地状态指标,选取农民人均纯收入、农业机械总动力等作为土地响应指标。汤洁等^[13]对东北农牧交错带土地生态安全指标体系构建中,选取人口自然增长率、经济密度等作为土地压力指标,选择土地利用类型面积比作为状态指标(如耕地面积比、水域面积比、草地面积比等),将第三产业产值占 GDP 比重,农业机械化水平等指标作为土地响应指标。

在参考以上不同地区土地生态安全评价指标体系的基础上,根据指标选取的科学性、完整性、相对独

立性及可操作性原则,结合白城市资源环境,土地利用质量、利用结构以及社会经济发展等实际情况^[14-15],最终构建 4 个层次(目标层、准则层、因素层、指标层)的评价指标体系,共分为 3 个分系统,6 个子系统和 21 个指标因素(见表 2)。同时,根据各指标

对土地生态的影响结果,将指标划分为正向指标和负向指标两类。正向指标数值越大,表示土地生态安全状态越好,维护和改善土地生态安全的能力越强;负向指标值越大,表示土地生态安全状态越差,土地利用过程中矛盾冲突越严重。

表 1 2007—2012 年白城市土地生态安全评价各指标

指标名称	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
人口密度/(人·km ⁻²)	78.82	79.00	78.92	78.71	78.67	77.69
人口自然增长率/‰	4.20	3.67	3.68	-0.26	1.70	-5.26
经济密度/(万元·km ⁻²)	88.79	112.92	138.47	171.49	215.00	239.08
城镇化率/%	39.75	39.79	39.86	39.99	40.00	40.08
化肥使用强度/(kg·hm ⁻²)	535.50	596.85	531.01	334.35	440.41	523.65
人均耕地面积/(hm ² /人)	0.31	0.31	0.36	0.43	0.46	0.51
人均水资源量/(m ³ /人)	1120.00	1120.00	1118.00	1090.00	1121.00	1012.00
粮食单产/(kg·hm ⁻²)	4007.94	6850.63	3951.22	5276.91	4393.63	4310.33
水土协调度	0.71	0.64	0.62	0.33	0.47	0.44
农业强度/(万元·hm ⁻²)	16.96	25.78	27.54	35.04	43.08	51.64
畜牧业强度/(万元·hm ⁻²)	15.54	17.24	0.85	21.95	21.21	18.88
耕地面积比/%	24.38	24.38	28.53	33.65	36.49	38.64
林地面积比/%	12.01	12.29	12.58	12.91	13.23	13.44
水域面积比/%	7.12	7.11	6.97	7.06	7.06	7.06
草场面积比/%	44.31	44.31	44.28	44.31	44.31	35.19
生态造林面积比/%	0.56	0.64	0.65	0.59	0.45	0.47
建成区绿化覆盖率/%	29.83	29.91	31.46	31.50	31.50	32.43
农民人均年纯收入/(元/人)	2851.00	3519.00	3537.00	4504.00	5513.00	6200.00
环保投资占 GDP 比重/%	0.05	0.06	0.83	1.09	0.91	0.99
第三产业占 GDP 比重/%	37.03	38.76	37.87	36.01	33.72	34.75
农业机械化水平/(kW·hm ⁻²)	4.69	5.01	4.56	3.05	4.11	4.18

表 2 白城市土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	因素层	指标层	安全趋势
土地生态安全	资源环境—社会经济 (压力层)	社会经济压力	C ₁ 人口密度(人/km ²)	—
			C ₂ 人口自然增长率(‰)	—
			C ₃ 经济密度(万元/km ²)	+
			C ₄ 城镇化率(%)	+
			C ₅ 化肥使用强度(kg/hm ²)	—
		资源环境压力	C ₆ 人均耕地面积(km ² /人)	+
			C ₇ 人均水资源量(m ³ /人)	+
			C ₈ 粮食单产(kg/hm ²)	+
			C ₉ 水土协调度	+
			C ₁₀ 农业强度(万元/hm ²)	+
			C ₁₁ 畜牧业强度(万元/hm ²)	+
	土地质量—土地结构 (状态层)	土地质量状态	C ₁₂ 耕地面积比(%)	+
			C ₁₃ 林地面积比(%)	+
			C ₁₄ 水域面积比(%)	+
			C ₁₅ 草场面积比/%	+
			C ₁₆ 生态造林面积比(%)	+
	环境治理—社会经济 (响应层)	环境治理响应	C ₁₇ 建成区绿化覆盖率(%)	+
			C ₁₈ 农民人均年纯收入(元/人)	+
			C ₁₉ 环保投资占 GDP 比重(%)	+
		社会经济响应	C ₂₀ 第三产业占 GDP 比重(%)	+
			C ₂₁ 农业机械化水平(kW/hm ²)	+

1.2.3 数据处理

(1) 基准值确定。指标基准值的确定主要来源于国际、国家、地方及行业标准,相似环境类比标准,

科学研究已判定的生态效应标准以及国际、国家或省内公认值或平均值^[16]。文章中土地生态安全评价指标基准值的确定及其来源见表 3。

表 3 白城市土地生态安全评价指标基准值及其来源

评价指标	基准值	基准值来源
C ₁ 人口密度/(人·km ⁻²)	128	国际标准
C ₂ 人口自然增长率/‰	4.94	2007—2012 年全国平均值
C ₃ 经济密度/(万元·km ⁻²)	400.37	2007—2012 年全国平均值
C ₄ 城镇化率/%	50	《生态县、生态市、生态省建设指标(2011 试行)》
C ₅ 化肥使用强度/(kg·hm ⁻²)	250	《生态县、生态市、生态省建设指标(2011 试行)》
C ₆ 人均耕地面积/(km ² /人)	0.05	联合国国际警戒线
C ₇ 人均水资源量/(m ³ /人)	2005	2007—2012 年全国平均值
C ₈ 粮食单产/(kg·hm ⁻²)	5561.67	2007—2012 年全国平均值
C ₉ 水土协调度	0.70	2007—2012 年全国平均值
C ₁₀ 农业强度/(万元·hm ⁻²)	46.54	2007—2012 年吉林省平均值
C ₁₁ 畜牧业强度/(万元·hm ⁻²)	47.27	2007—2012 年吉林省平均值
C ₁₂ 耕地面积比/%	12.86	2007—2012 年全国平均值
C ₁₃ 林地面积比/%	20.05	2007—2012 年全国平均值
C ₁₄ 水域面积比/%	10	国际公认值
C ₁₅ 草场面积比/%	36.83	2007—2012 年全国平均值
C ₁₆ 生态造林面积比/%	0.28	2007—2012 年吉林省平均值
C ₁₇ 建成区绿化覆盖率/%	36	《城市园林绿化评价标准(2010)》
C ₁₈ 农民人均年纯收入/(元/人)	8000	《生态县、生态市、生态省建设指标(2011 试行)》
C ₁₉ 环保投资占 GDP 比重/%	3.5	《生态县、生态市、生态省建设指标(2008 试行)》
C ₂₀ 第三产业占 GDP 比重/%	45	《生态县、生态市、生态省建设指标(2011 试行)》
C ₂₁ 农业机械化水平/(kW·hm ⁻²)	4.24	2007—2012 年全国平均值

(2) 计算指标安全指数。
正向指标:当 $x_j \geq y_j$ 时, $s_j = 1$; 当 $x_j \leq y_j$ 时, $s_j = x_j / y_j$ 。
负向指标:当 $x_j \leq y_j$ 时, $s_j = 1$; 当 $x_j \geq y_j$ 时, $s_j = y_j / x_j$ 。
式中: s_j 为各项指标的安全指数; x_j 为各指标实际值, 为各 y_j 指标的基准值。

(3) 确定指标权重。目前,计算指标权重的方法可分为客观赋权法和主观赋权法两类。为避免人为因素干扰,文章中采用客观赋权法中的熵权法确定指标权重。熵权法是在综合考虑各种指标所提供的信息量的基础上计算出综合指标的数学方法,其优点是能够客观准确的得到各指标权重值^[17]。求取步骤如下:

① 指标数据标准化针对研究区 n 年, m 个指标形成原始数据矩阵 $\{X_{ij}\}_{m \times n}$ 采用极差法对指标进行标准化处理。

正向指标:
$$e_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}}$$
负向指标:
$$e_{ij} = \frac{x_{j\max} - x_{ij}}{x_{j\max} - x_{j\min}}$$

(1)

式中: x_{ij} 为某项指标的实际值; $x_{j\max}$, $x_{j\min}$ 为第 j 项指标的最大值和最小值; e_{ij} 为标准化后该指标的实际评价值。根据此方法将原始化矩阵转变为标准化矩阵:

② 熵值计算第 j 项指标的熵值定义为:

$$p_j = -k \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}$$

(2)

$$k = \frac{1}{\ln m}, f_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sum_{i=1}^m e_{ij}}$$
且 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$

③ 指标权重确定第 j 项指标权重的计算公式为:

$$w_j = \frac{1 - p_j}{\sum_{j=1}^n (1 - p_j)}$$

(3)

④ 计算指标综合安全值

$$z = \sum_{j=1}^m (s_j \times w_j)$$

(4)

式中: z 表示土地生态系统综合值; m 表示指标总数; w_j 表示某一指标的权重; s_j 表示某该指标的安全指数。

1.2.4 土地生态安全分级标准 根据计算所得的土地生态安全综合值,在参考相关文献的基础上^[18-21],结合白城市土地生态安全实际,采用非等间距方法将该地区土地生态安全综合值(0~1)划分为 5 个等级,见表 4。

2 结果与分析

根据白城市土地生态安全评价指标体系及综合安全值计算,得出白城市及其所辖各县(市、区)2007—2012 年土地生态安全综合值,见表 5。

表 4 土地生态安全等级划分

安全区间	等级	表征状态	系统特征
≤0.4	1	恶劣级	土地生态环境脆弱,受到严重破坏,系统结构残缺不全,服务功能丧失。生态恢复与重建很困难,生态环境问题很大并经常演变成生态灾难
0.4~0.6	2	风险级	土地生态环境受到较大破坏,系统结构恶化严重,服务功能严重退化,受外界干扰后恢复困难。生态问题较大,易发生自然灾害
0.6~0.8	3	敏感级	土地生态环境较差,系统结构受到一定程度破坏,服务功能发生退化但仍能维持基本功能。生态灾害时有发生,生态问题显著
0.8~0.9	4	良好级	土地生态环境比较好,系统结构完整,较少受到破坏,服务功能较完善。生态灾害发生的可能性不大,生态问题不显著
>0.9	5	安全级	土地生态环境良好,基本上未受到破坏,系统结构完整,服务功能完善。生态灾害很少发生,生态问题不显著

表 5 2007—2012 年白城市及各县(市、区)
土地生态安全综合值

名称	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
白城市	0.7121	0.7416	0.7286	0.7246	0.7439	0.7804
洮北区	0.7409	0.7615	0.7670	0.8186	0.7946	0.7758
通榆县	0.6397	0.7158	0.6592	0.6698	0.7281	0.7430
镇赉县	0.7023	0.6823	0.7195	0.7432	0.7775	0.7897
大安县	0.6307	0.6518	0.6719	0.7006	0.6922	0.7112
洮南市	0.7256	0.7471	0.7768	0.7524	0.7807	0.7910

2.1 白城市土地生态安全评价

根据白城市土地生态安全评价结果,可知 2007—2012 年,白城市土地生态安全综合值处于 0.712 2~0.780 4 之间,安全等级均为敏感级。表明评价期内白城市土地生态环境总体较差,系统结构受到一定程度破坏,系统服务功能有所退化。不同年份土地生态安全值有所不同,其中 2007 年土地生态安全综合值最低,为 0.712 1,土地生态状况最差。2012 年土地生态安全综合值最高,为 0.780 4,土地生态状况最优。总体上,2007—2015 年白城市土地生态安全状况处于波动性上升趋势,且于 2010 年后持续好转。评价期内白城市各年份土地生态安全值见表 6。

表 6 2007—2012 年白城市土地生态安全值

安全值	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
社会经济压力	0.1613	0.1641	0.1672	0.1711	0.1761	0.1791
资源环境压力	0.0969	0.0946	0.0970	0.1096	0.1017	0.0951
压力安全值	0.2582	0.2587	0.2642	0.2807	0.2778	0.2742
土地质量状态	0.1162	0.1384	0.1079	0.1289	0.1361	0.1345
土地结构状态	0.1507	0.1513	0.1514	0.1526	0.1533	0.1519
状态安全值	0.2669	0.2897	0.2593	0.2815	0.2894	0.2864
环境治理响应	0.0866	0.0867	0.0888	0.0895	0.0895	0.0895
社会经济响应	0.1005	0.1064	0.1162	0.0729	0.0872	0.1303
响应安全值	0.1871	0.1932	0.2050	0.1625	0.1767	0.2198
安全综合值	0.7122	0.7416	0.7285	0.7247	0.7439	0.7804
安全等级	敏感级	敏感级	敏感级	敏感级	敏感级	敏感级

(1) 土地生态安全总体变化趋势。2008—2010 年,白城市土地生态安全综合值逐年降低,下降值为 0.016 9。在此期间,压力安全值处于明显上升状态,

上升值为 0.022 0。状态安全值呈小幅度下降趋势,下降值为 0.008 2。响应安全值下降迅速,由 2008 年 0.193 2 降低至 2010 年 0.162 5,下降值为 0.030 7。2010 年后,土地生态安全综合值增长迅速,由 0.724 7 上升至 0.780 4,上升值为 0.055 7,年均上升幅度为 3.77%。其中,土地生态响应安全值上升幅度较大,变化幅度为 0.057 3。此外,压力安全值与状态安全值增长幅度分别为 0.006 5,0.004 9。由以上分析可知,2008—2012 年,土地生态响应安全值的生长变动是影响白城市土地生态安全综合值变化的主要因素。

(2) 土地生态压力、状态、响应变化趋势。2007—2010 年,土地生态压力安全值呈上升趋势。在此期间,社会经济压力安全值逐年升高,主要因为有效的人口政策使得评价期内该地区人口自然增长率均小于全国平均值 4.94%,且呈现不断下降趋势,特别是 2010 年,白城市人口出现负增长,自然增长率下降为-0.26%,人口总数的降低一定程度上减轻了土地生态系统的承载和供给压力。同时城镇化进程的加快以及经济发展水平的提高使得该地区经济实力增强,单位土地面积经济收入由 2007 年 88.79 万元/km² 增加至 239.08 万元/km²,增长迅速。2010—2012 年白城市土地压力安全值开始下降,主要原因为自 2010 年开始,土地资源环境压力安全值持续降低,单位耕地面积化肥施用量由 334.35 kg/hm² 上升至 523.65 kg/hm²,远高于 250 kg/hm² 的生态安全基准值,土地生态系统污染严重。

2007—2012 年,土地状态安全值变化幅度较大。2007—2011 年土地结构状态安全值呈平稳上升趋势,原因为评价期内白城市农林业发展良好,耕地保有量不断攀升,所占比重由 24.38% 上升至 38.64%,林地面积所占比重由 12.01% 上升至 13.44%。2012 年,土地结构安全值有所降低,这一年草地退化造成草场面积所占比重由 44.31% 降低至 35.19%,不利于土地生态的健康发展。土地质量状态安全值变动幅度较大,其中,2009 年土地质量状态安全值由

0.138 4降低至 0.107 9,原因在于 2009 年白城市大面积旱灾造成土地缺水严重,粮食单产由 2008 年 6 850.63 kg/hm² 降低至 2009 年 3 951.22 kg/hm²。同时,草场产草量下降,畜牧能力降低,单位土地面积畜牧业强度由 17.24 万元/hm² 降低至 0.85 万元/hm²。

2007—2012 年,土地生态响应安全值变化明显。首先,社会经济响应安全值对土地生态响应安全值贡献波动较大。在此期间,农民人均年纯收入由 2 851 元/人上升至 3 537 元/人,呈平稳上升趋势。同时,环境保护投资力度、农业机械化发展水平以及第三产业产值比重均呈现先减后增趋势,最终使得社会投资响应呈波动性上升状态,上升幅度为 0.056 4。环境治理响应安全值呈平稳上升趋势,主要原因为 2007—2012 年,白城市荒山荒沙造林面积所占总面积的比重高于 0.45%,高于吉林省 2007—2012 年平均值 0.28%,位于吉林省前列。

以上分析可知,白城市土地生态安全综合值受土地响应安全值影响最大,状态安全值次之,压力安全值影响最小。促进该市土地生态状况改善的主要因素为较低的人口密度及自然增长率减轻了土地承载压力,辽阔的耕地面积及快速发展的经济增强了土地的供养能力。同时,正常年内土地利用结构的改善以及土地利用质量的提高,环境治理及社会经济发展能力的增强均促进了土地生态安全状况的改善。制约因素为单位耕地面积化肥施用量过高,土地环境受污染严重。灾害期内,受水资源匮乏的制约,水土协调度有所下降,土地产出能力降低,生态环境脆弱。虽然环保投资比有所提高,但投资所占 GDP 比重仍远低于 3.5% 的生态标准,影响土地生态环境的恢复。

2.2 白城市各县(市、区)土地生态安全评价

各县(市、区)2007—2012 年土地生态安全等级多处于敏感级,表明各地区土地生态环境较差,系统结构均遭受不同程度的破坏,服务功能退化,抗灾害能力不强。同时,评价期内各县(市、区)土地生态安全综合值变化情况各有不同。

通榆县土地生态安全综合值变化幅度最大(图 1),由 2007 年 0.637 9 上升至 2012 年 0.743 0,上升值为 0.103 3,安全等级为敏感级,土地生态安全状况总体趋于好转。各准则层中,压力安全值、状态安全值以及响应安全值对生态安全综合值贡献率分别为,35.58%,33.82%,30.60%。该区地域辽阔,土地面积占白城市总面积 33.00%,人口密度常年保持在 43 人/km²,远低于 128 人/km² 的国际标准,此外,人口自然增长率较低使得土地生态系统承载压力减小。耕地、林地所占面积比重分别由 2007 年 22.16%,14.64% 上升至 35.32%,

22.36%。耕地、林地面积的提高增强了土地生态景观功能,改善了土地生态状况。制约通榆县土地生态安全等级提高的主要因素为土地集约利用能力较差,截至 2012 年,农业强度仅为 25.74 万元/hm²,粮食单产仅为 2 398.60 kg/hm²。远低于吉林省均值 46.54 万元/hm² 以及全国均值 5 561.67 kg/hm²。

镇赉县与大安县土地生态安全综合值变化幅度较大。其中,镇赉县土地生态安全值由 2007 年 0.702 3 上升至 2012 年 0.789 7,变化幅度为 0.087 4。由图 2 可知,压力安全值对综合安全值贡献最大,原因在于 2007—2012 年,镇赉县人口密度为 43~62 人/km²,低于 128 人/km² 国际标准,人均耕地面积由 0.52 hm²/人增加至 0.67 hm²/人,远高于 0.05 hm²/人的联合国警戒线。其次,经济发展水平提高使得镇赉县经济密度平稳上升,地均 GDP 由 78.72 万元/km² 提升至 237.59 万元/km²。响应安全值对综合安全值贡献率较小,并于 2008 年贡献率降到最低,原因为 2008 年,镇赉县机械化水平有所降低,单位耕地面积农业机械总动力由 5.02 kW/hm² 降低至 3.02 kW/hm²,农民人均纯收入由 2 613 元/人降低至 2 241 元/人,土地供养压力增大。

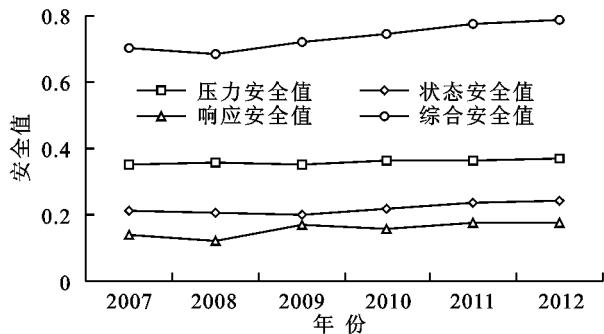


图1 通榆县土地生态安全值变化趋势

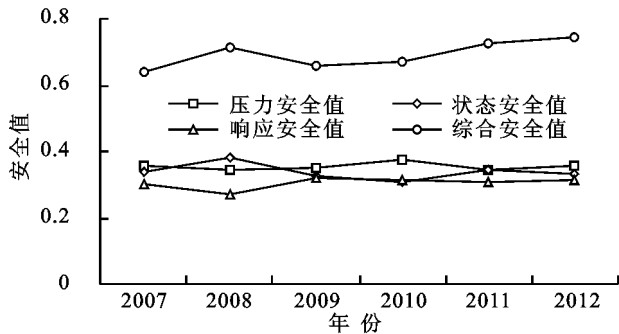


图2 镇赉县土地生态安全值变化趋势

大安县土地生态安全综合值变化幅度次之,由 2007 年 0.630 7 上升至 2012 年 0.711 2,上升值为 0.080 5,安全等级一直处于敏感级,但土地生态安全值呈平稳上升趋势。由图 3 可知土地生态压力及响应安全值均呈平稳上升趋势,积极影响因素为耕地面积辽阔,人口密度保持在 84~86 人/km²,人均耕地

面积广阔,土地供养能力较强。此外,研究期内大安县绿化覆盖率逐年提高,环保投资力度不断增强。制约因素主要为化肥施用量过高,虽然单位耕地面积化肥施用量由2007年 646.95 kg/hm^2 降低至2012年 535.80 kg/hm^2 ,但仍远高于 250 kg/hm^2 的国家生态标准。土地状态安全值呈下降趋势,原因为大安县水资源较为缺乏,人均水资源储量为仅为 $960 \text{ m}^3/\text{人}$,低于全国平均值 $2000 \text{ m}^3/\text{人}$ 。其次,水域所占土地总面积比例由2007年的14.33%下降至2012年4.27%,水资源匮乏造成水土协调程度较低,有效灌溉耕地面积比呈不断下降趋势,对土地质量造成威胁。

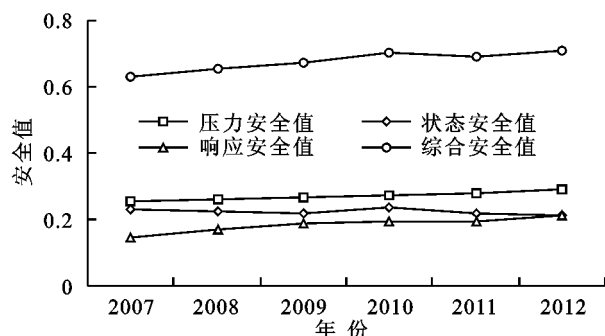


图3 大安县土地生态安全值变化趋势

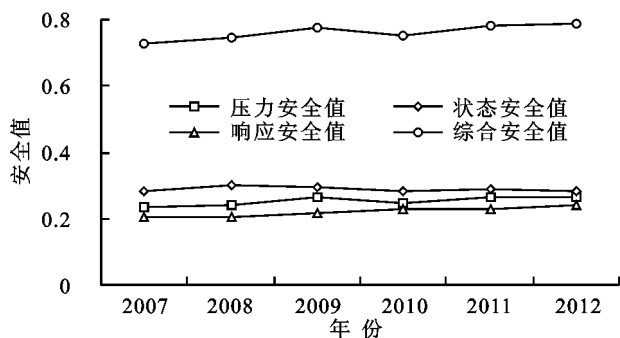


图4 洮南市土地生态安全值变化趋势

洮南市土地生态安全综合值变化幅度较小,安全等级均处于敏感级,但土地生态安全状况逐渐改善,土地生态安全综合值由2007年0.7256上升至2012年0.7910,变化+0.0654。由图4可知,准则层中,状态安全值对综合安全值贡献率最大,贡献比率呈下降趋势。由2007年40.64%上升至2012年35.94%。主要原因在于评价期内洮南市土地结构发展不协调,草场退化,所占面积比重由45.46%降低至30.31%,水域面积比由5.23%降低至3.08%。压力安全值对综合安全值贡献率呈上升趋势,原因为评价期内洮南市人均耕地面积不断增加,由 $0.29 \text{ hm}^2/\text{人}$ 上升至 $0.42 \text{ hm}^2/\text{人}$,土地供养压力有所减小。但同时,化肥使用强度过大,历年单位耕地面积化肥施用量均高于 570 kg/hm^2 ,对土地造成较大环境污染压力。此外,受灌溉水平及条件限制,各年份粮食产量变化不稳定,最终造成压力安全值呈波动性变化。响应安全值对综合安全值贡献率呈平

稳上升趋势。主要得益于农业发展带给农民经济收入的增加,人均年纯收入由3461元/人增加至7767元/人。其次,该区环保投资及第三产业发展水平逐年提高,所占GDP比重分别由2007年0.01%,32.93%上升至2012年1.03%,34.79%。

洮北区土地生态安全综合值变化幅度最小,由2007年0.7409上升至2012年0.7758,上升值为+0.0349。2007—2010年,土地生态安全综合值平稳上升,安全等级由敏感级提升至良好级。2010—2012年,土地生态安全综合值呈下降状态,安全等级降低至敏感级,具体见图5。2007—2010年,虽然状态安全值由0.2738下降至0.2731,下降0.0007,但压力安全值及响应安全值上升幅度明显,上升幅度分别为0.0156,0.0778。原因为作为白城市市辖区,洮北区2007—2010年经济发展迅速,城镇化水平较高,经济密度由2007年130.67万元/ km^2 增加至667.09万元/ km^2 ,高于400.37万元/ km^2 的全国平均值。其次,评价期内洮北城区镇化率保持在56.04%~56.33%,高于50%的生态县建设标准。响应安全值中,2007—2010年,农民人均年纯收入持续升高,由3413元/人提升至5300元/人,农业机械化水平不断提高,单位耕地面积农业机械总动力由4.88 kW/ hm^2 提高至6.28 kW/ hm^2 ,环保投资力度不断增强,所占GDP比重由0.01%提升至2.05%,建成区绿化覆盖率由29.10%提升至34.19%。2010—2012年,综合安全值有所下降,其中状态安全值及响应安全值下降明显,主要原因为土地结构中草场退化,所占土地面积比重由22.98%下降至17.68%,最终造成畜牧业产值下降,由28.96万元/ km^2 下降至16.39万元/ km^2 ,造成状态安全值降低。此外,农业机械化操作水平及环境保护投资力度下降,分别下降至0.76 kW/ hm^2 ,1.32%,造成响应安全值降低。

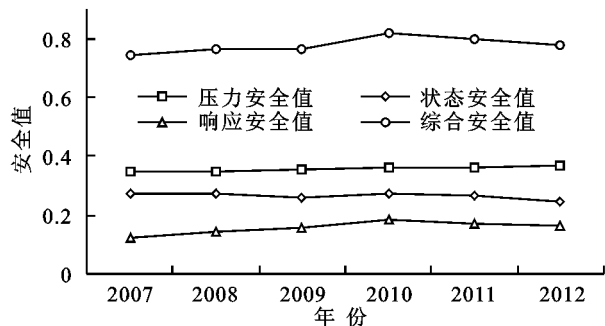


图5 洮北区土地生态安全值变化趋势

综上所述,不同地区土地生态安全影响因素各不相同。其中,镇赉县、大安县与洮北区土地压力安全值对土地生态安全综合值贡献较大,年贡献率均在38%以上。洮南市土地状态安全值对土地生态安全综合值贡献较大,年贡献率均大于36%。通榆县各准则层土地安全值贡献率比较均衡,贡献比为35:

34:31。首先,耕地面积比重大,人均耕地面积较大,农业机械化水平较高等优势是各县(市、区)土地生态安全状况改善的积极因素。限制因素主要有干旱造成水资源匮乏,水土协调度不高,最终造成粮食产出能力减弱,农牧业强度降低。其次,各县(市、区)单位耕地面积化肥施用量过高,土地环境污染严重。最后,环保投资占GDP比重虽有不同程度提高,但仍远低于3.5%的国家标准,环保投资能力仍有待加强。

3 结论与讨论

通过构建白城市土地生态安全评价指标体系,评价白城市及所辖各县(市、区)土地生态安全状况,分析土地生态安全影响因素,得出3点主要结论。第一,评价期内各县(市、区)土地生态压力—状态—响应安全值各不相同。镇赉县、大安县及洮北区土地生态压力安全值较高,对土地生态安全值贡献率均高于38%;洮南市土地生态状态安全值较高,贡献率高于36%;通榆县土地生态压力、状态、响应安全值较为均衡,贡献比为35:34:31。第二,2007—2012年,除个别年份外,白城市土地生态安全综合值整体呈现上升趋势,由2007年0.7122上升至2012年0.7804,土地生态环境安全状况有所改善。但安全等级一直处于敏感级,土地生态环境仍比较脆弱。第三,人均耕地面积富足,经济发展水平增强,土地利用结构优化及利用质量提高是白城市土地生态安全状况改善的主要因素。但过高的化肥施用量,较弱的环保投资力度造成该地区土地污染压力增大,受破坏后恢复能力不强。因此,要提高白城市土地生态安全状况,需继续实行有效的人口政策,注重控制人口规模,降低土地承载压力;加大农业技术投资,规范土地利用活动,引进人才,鼓励农民发展新型绿色农业,减轻土地污染压力;提高环境保护意识,加大环保投资力度,改善土地生态环境现状。

评价结果表明白城市及其所辖地区安全等级多为敏感级,土地生态环境较差。具体表现为系统受到破坏,服务功能发生退化,生态灾害时有发生,与我国北方农牧交错区生态表征相吻合。说明基于PSR模型构建的土地生态安全评价指标体系符合白城市土地生态安全实际,同时对农牧交错带其他地区土地生态评价指标体系的构建具有一定的参考价值。受实际情况限制,部分评价指标及基准值的获取比较困难,因此,评价指标及基准值的确定仍有进一步完善的空间。

参考文献:

[1] 刘彦随. 保障我国土地资源安全的若干思考[J]. 中国科

学学院刊, 2006, 21(5): 379-384.

- [2] 张利, 陈影, 王树涛, 等. 滨海快速城市化地区土地生态安全评价与预警: 以曹妃甸新区为例[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2445-2454.
- [3] 余健, 房莉, 仓定邦, 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.
- [4] 陈西蕊, 张蓉珍. 基于P—S—R模型的陕西省土地资源生态安全动态评价[J]. 南方农业学报, 2011, 42(2): 224-228.
- [5] 许国平. 中国土地资源安全评价研究进展及展望[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 276-279.
- [6] 范瑞锭, 陈松林, 戴菲, 等. 福建省土地利用生态安全评价[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2010, 26(5): 97-101+108.
- [7] 社会石, 滕泽宇, 王华, 等. 吉林省白城市生态系统服务价值预测研究[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(6): 1583-1589.
- [8] Rapport D J, Singh A. An Ecohealth-based framework for State of Environment Reporting[J]. Ecological Indicators, 2006, 6(2): 409-428.
- [9] 陈美球, 刘桃菊, 许莉. 基于PSR框架模型的流域生态系统健康评价研究现状及展望[J]. 江西农业大学学报: 社会科学版, 2011, 10(3): 83-89.
- [10] 袁丽娟. 土地资源生态安全评价研究综述[J]. 西部资源, 2013(3): 179-181.
- [11] 刘凌冰, 李世平. 西北荒漠化地区土地生态安全评价: 以酒泉市为例[J]. 水土保持研究, 2014, 21(4): 190-194.
- [12] 张锐, 郑华伟, 刘友兆. 基于PSR模型的耕地生态安全物元分析评价[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 5090-5100.
- [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): 119-124.
- [14] 孙晓庆, 陈刚. 吉林西部土地利用变化的生态环境效应评价[J]. 吉林水利, 2011, 354(11): 1-5.
- [15] 臧立娟. 吉林西部土地利用结构优化配置研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [16] 李秀霞, 张希. 基于熵权法的城市化进程中土地生态安全研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 13-17.
- [17] 张祥义, 许皞, 赵文廷. 基于PSR模型的河北省土地生态安全评价的分区[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(8): 207-211.
- [18] 李宗杰, 田青, 宋玲玲, 等. 基于水土保持的甘肃省生态安全评价[J]. 生态学杂志, 2015, 34(5): 1420-1426.
- [19] 马璞. 北方农牧交错带土地利用生态安全评价[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(7): 53-58.
- [20] 张松男. 吉林省四平市土地生态安全评价研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [21] 张军以, 苏维词, 张凤太. 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.