
综
合
治
理

生态脆弱区土地生态安全动态评价

——以河北省张家口市为例

许月卿, 赵菲菲, 孙丕苓

(中国农业大学 资源与环境学院 土地资源管理系, 北京 100193)

摘要: [目的] 通过研究河北省张家口市土地生态安全的演变趋势及时空差异特征, 旨在为张家口市土地资源管理及可持续利用提供科学依据。[方法] 从土地自然基础状况、土地利用状况、土地污染、退化状况、土地景观格局状况、土地生态建设状况及土地社会经济状况 6 个方面构建张家口市土地生态安全评价指标体系, 运用综合指数法对张家口市 2000 和 2010 年土地生态安全状况进行动态评价, 分析其土地生态安全动态变化趋势及其空间异质性特征。[结果] 2000—2010 年张家口市多数县区的土地生态安全评价综合指数呈增长趋势, 且土地生态安全状况多处于安全、较安全及敏感态, 土地生态安全状况处于风险态和恶劣态的区县主要集中在中部市区及其周边地区。[结论] 近 10 a 来, 张家口市土地生态安全状况总体变好, 这与退耕还林还草工程及其他生态建设工程的实施具有密切关系。

关键词: 土地生态安全评价; 指标体系; 生态脆弱区; 张家口市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0232-07

中图分类号: F301.24

DOI:10.13961/j.cnki.sjtbctb.20150909.001

Evaluation of Land Ecological Security in Ecologically Fragile Area

— A Case Study of Zhangjiakou City, Hebei Province

XU Yueqing, ZHAO Feifei, SUN Piling

(Department of Land Resources and Management, College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: [Objective] This paper aims to provide scientific support for land resource management and its sustainable use in Zhangjiakou City of Hebei Province through studying the evolution of land ecological security and its spatial variation. [Methods] This paper developed an index system for the evaluation of land ecological security according to land natural attributes, land use condition, land pollution and degradation, landscape pattern, land ecological construction and land social-economic condition. The paper also evaluated the land ecological security condition in 2000 and 2010 of Zhangjiakou City using the comprehensive index method, and analyzed the changes of land ecological security and its spatial heterogeneity. [Results] The land ecological security value in most counties of Zhangjiakou City increased from 2000 to 2010, and the land ecological security in most counties were in secure situation, less secure situation, and sensitive situation. The counties with land ecological security condition in risk and deteriorating situation mainly located in Zhangjiakou urban center and its surrounding areas. [Conclusion] The land ecological security situation in Zhangjiakou City has become better in the past 10 years, which may be attributed to the “grain for green project” and other ecological restoration projects.

Keywords: land ecological security evaluation; index system; ecologically fragile area; Zhangjiakou City

人口的快速增长, 城镇化速度的加快以及人类对自然环境不合理开发利用等引起了各种土地生态环境问题。土地荒漠化、土地盐碱化、水土流失及土地污染等土地生态环境问题使土地生态系统功能下降, 破坏了土地生态系统的稳定与安全, 因此土地生态安

全问题受到全球范围内的高度重视, 土地生态安全研究成为地球科学、生态学以及环境科学研究的重要前沿领域^[1-5]。

生态脆弱区是指生态条件已经成为社会经济发展的限制因素或社会经济按照目前的模式继续发展

收稿日期: 2014-10-24

修回日期: 2014-12-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“环京津冀北贫困带土地利用变化及其优化利用调控研究”(41171088), “基于多源数据融合的冀北贫困带土地利用多功能演变研究”(41571087)

第一作者: 许月卿(1972—), 女(汉族), 河北省定州市人, 博士, 副教授, 博导, 主要从事土地利用变化与可持续利用、土地资源利用与评价等方面研究。E-mail: xmoonq@sina.com。

下去将会威胁到生态安全的区域^[6]。生态脆弱区的地表组成物质相对不稳定,对外界干扰因素反映敏感,在特征上主要表现为对外界反映比较敏感、生态演变过程不稳定、容易导致环境退化、水土流失、土地生产力下降等^[7]。因此生态脆弱区土地生态安全问题研究成为土地科学研究的重要内容。

张家口市位于河北省西北部,是典型的生态环境脆弱区。同时,张家口市地处北京市上风上水地带,是北京市主要的水资源来源区和生态屏障之一^[8],特别是随着京津冀的一体化发展,该地区更担负着保护京津地区生态安全的重要任务。但长期以来,由于人类对土地的过渡开垦和超强开发,超出了环境承载力,土地沙化、水土流失、土地污染等土地生态环境问题日益突出,严重制约了社会经济的发展。因此,本文从可持续发展的角度系统研究张家口市土地生态安全状况,剖析其土地生态安全的演变趋势及时空差异特征,以期为实现张家口市土地可持续利用以及京津冀区域协同发展提供理论依据。

1 研究区域概况与数据来源

1.1 研究区概况

张家口市地处京、冀、晋、蒙4省市交界处,地势西北高、东南低,分为坝上、坝下两大部分,总面积 $3.70 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。坝上高原区包括沽源、康保、尚义和张北4县,占张家口总面积的1/3,海拔一般在1400 m左右,地势南高北低。坝下低中山盆地区,地势西北高,东南低,海拔在1000~2000 m之间。张家口市属半干旱大陆性季风气候,年降水量300~500 mm。2012年,全市总人口468.41万人,其中农业人口311.51万人,非农业人口156.44万人,城镇居民人均可支配收入18441元,农民人均纯收入5564元。土地利用类型主要为耕地、林地、草地和未利用地,4类土地利用类型占张家口地区总面积的92%左右。

1.2 数据来源

本文所用数据主要有空间数据和社会经济数据,其中空间数据包括张家口市2000和2010年土地利用现状数据,由国家自然科学基金“环京津冀北贫困带土地利用变化与优化利用调控”课题组对张家口市2000和2010年Landsat TM影像进行遥感解译得到,其解译精度分别为88.92%和90.46%,各地类的kappa系数均超过0.80,解译结果符合研究要求。结合研究区土地利用特点,参照国家基本资源与环境本底动态遥感调查数据库的分类体系,将土地利用类型划分为耕地、园地、林地、草地、居民点与工矿用地、交通用地、水域和未利用地八大类。1:250000DEM数

据来源于国家基础地理信息中心,并由此生成研究区坡度数据。地貌来自中国1:1000000数字地貌数据库。人口、GDP、育林面积等社会经济数据来源于张家口市统计年鉴(2000—2010年)。景观格局指数数据根据土地利用现状图和景观指数模型计算得到。

2 研究方法

2.1 评价指标体系构建

土地生态安全是指土地生态系统结构合理,生态系统服务功能完善,具有稳定、均衡、充裕的自然资源,土地生态环境没有或少有污染、退化的健康状态,涉及到自然、经济和社会等多方面^[9]。土地生态系统的自然条件和自身结构状态如地形、地貌、土壤、水文、植被及景观结构与格局等是构成土地生态安全的基础,人类活动如土地利用方式、强度、经济建设、农业生产以及生态环境建设和治理等是影响土地生态系统稳定性和完整性的外在压力和响应。在综合考虑土地生态安全评价影响因素及张家口市土地生态系统特征的基础上,参考相关研究^[3-5,9-11],根据科学性、全面性、数据可获取性、动态性等原则,从土地自然基础状况、土地利用状况、土地污染和土地退化状况、土地景观格局状况、土地生态建设状况及土地社会经济状况6个方面构建张家口市的土地生态安全评价指标体系(表1),并采用层次分析法和特尔菲法进行指标权重的赋值(表1)。土地生态安全评价各指标含义、计算方法见表1。

(1) 土地生态恢复力指数是指土地生态系统在受到压力威胁后,恢复和保持结构稳定性的能力^[12],根据不同土地利用类型对生态系统恢复的贡献和作用,分别赋以不同的恢复力值,进而计算得到土地生态恢复力指数公式(1)。

$$F = (\sum A_i \times F_i) / A \quad (1)$$

式中: F ——土地生态系统的恢复力; A_i ——第*i*种地类的面积; F_i ——第*i*种地类的恢复力系数; A ——研究区总面积。

(2) 耕地、林地、草地、水域的生态系统结构和功能显著好于沙地、盐碱地、裸地等未利用地。因此,耕地、林地、草地、水域和未利用地(包括沙地、沼泽地、盐碱地、裸地等)间的转化可影响到土地的生态安全状况。本文分别采用土地退化率和未利用地再开发利用率两个指标来表征这种与土地生态安全密切相关的地类转化公式(2)、(3)。

$$K_i = (S_{1i} + S_{2i} + S_{3i} + S_{4i} + S_{5i}) / S_j \quad (2)$$

式中: K_i ——土地退化面积比例, $i=2000,2010$; S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 ——耕地—未利用地面积,园地—未利用地面积,林地—未利用地面积,草地—未利用

地面积,水域—未利用地面积; S_j ——各评价单元土地总面积。

$$K_i = (S_{1i} + S_{2i} + S_{3i} + S_{4i} + S_{5i}) / S_j \quad (3)$$

式中: K_i ——未利用地再开发利用率; $i = 2\ 000, 2\ 010$; S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 ——未利用地—耕地面积,未利用地—园地面积,未利用地—林地面积,未利用地—草地面积,未利用地—水域面积; S_j ——各评价单元土地总面积。

(3) 水土流失敏感性是指区域生态系统水土流失生态过程发生的潜在可能性及其程度,用来反映产生生态失衡与水土流失的可能性大小^[13-14],是影响土地生态安全的重要因素公式(4)。

$$SS_j = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 C_i} \quad (4)$$

式中: SS_j ——第 j 个单元的水土流失敏感性指数; C_i ——第 i 个因子(降雨侵蚀力、地形因子、植被覆盖率)敏感性等级^[13-14]。降水侵蚀力因子计算见参考文献

献^[15]。根据张家口市坡度数据,进行坡度划分并赋值。将各评价单元中林地与草地所占的比例作为植被覆盖率。

(4) 选取香农多样性指数、面积—周长分维数、聚合度指数表征景观格局状况公式(5)(6)(7)。

$$SHDI = \sum P_i \ln P_i \quad (5)$$

式中: $SHDI$ ——香农多样性指数; P_i ——景观类型 i 所占比例。

$$PAFRAC = -2 \ln(P/K) / \ln(A) \quad (6)$$

式中: $PAFRAC$ ——面积—周长分维数; P ——斑块周长; A ——斑块面积; K ——常数。

$$COHESION = \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n P_i \sqrt{a_i}} \right| \times \left| 1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right|^{-1} \quad (7)$$

式中: $COHESION$ ——聚合度指数; P_i ——斑块类型 i 的总周长(m); a_{ij} ——斑块类型 i 的总面积(m^2); A ——总面积(m^2)。

表 1 张家口市土地生态安全评价指标体系及其权重

| 目标层 | 准则层 | 指标层 | 指标描述 | 权重 |
|----------|------------------------------|---------------------------------------|--|---------|
| 土地生态安全评价 | 土地自然基础状况 $A_1(0.218\ 2)$ | 年降水量 D_1/mm | 由《张家口统计年鉴》获得各单元年降水量 | 0.032 8 |
| | | 土地生态恢复力指数 D_2 | 参考文献 ^[12] ,由公式(1)计算得到 | 0.052 8 |
| | | 坡度 D_3 | 由张家口市 DEM 得到坡度图,并统计分析得到各单元坡度等级面积比例,并赋等级值 | 0.042 8 |
| | | 地貌 D_4 | 由张家口市地貌类型图统计得到各单元不同地貌类型面积比例,并赋等级值 | 0.040 2 |
| | | 有效灌溉面积率 $D_5/\%$ | 有效灌溉面积/耕地总面积 $\times 100\%$ | 0.049 6 |
| | 土地利用状况 $A_2(0.184\ 0)$ | 植被覆盖率 $D_6/\%$ | (林地面积+草地面积)/土地总面积 $\times 100\%$ 由土地利用现状图统计计算得到 | 0.075 6 |
| | | 人均生态用地面积 $D_7/(hm^2/人)$ | (耕地面积+林地面积+草地面积+水域面积)/总人口, 由土地利用现状图和人口数计算得到 | 0.065 8 |
| | | 单位面积草地载畜量 $D_8/(只 \cdot hm^{-2})$ | 由《张家口统计年鉴》获得牲畜个数经计算得到 | 0.042 6 |
| | 土地污染、退化状况 $A_3(0.227\ 7)$ | 土地退化率 $D_9/\%$ | — | 0.081 5 |
| | | 单位耕地化肥施用量 $D_{10}/(kg \cdot hm^{-2})$ | 农用化肥施用量/耕地总面积 | 0.038 6 |
| | | 单位耕地农药施用量 $D_{11}/(kg \cdot hm^{-2})$ | 农药使用量/耕地总面积 | 0.031 4 |
| | | 水土流失敏感性 D_{12} | — | 0.076 2 |
| | 景观格局状况 $A_4(0.136\ 8)$ | 香农多样性指数 D_{13} | — | 0.049 8 |
| | | 面积—周长分维数 D_{14} | — | 0.045 2 |
| | | 聚合度指数 D_{15} | — | 0.041 8 |
| | 土地生态建设状况 $A_5(0.083\ 3)$ | 育林面积比例 $D_{16}/\%$ | 由《张家口统计年鉴》获得各单元育林面积计算得到 | 0.043 2 |
| | | 未利用地再开发利用率 $D_{17}/\%$ | — | 0.040 1 |
| | 土地社会经济状况 $A_6(0.150\ 0)$ | 城市化水平 $D_{18}/\%$ | 非农人口/总人口 $\times 100\%$ | 0.044 5 |
| | | 人口自然增长率 $D_{19}/\%$ | 由《张家口统计年鉴》获得 | 0.022 3 |
| | | 万元产值能源消耗 $D_{20}/(t/万元)$ | 年能源消耗总量/GDP | 0.021 2 |
| | | 人口密度 $D_{21}/(人 \cdot hm^{-2})$ | 总人口/土地总面积 | 0.031 2 |
| | | 地均 GDP $D_{22}/(万元 \cdot hm^{-2})$ | GDP/土地总面积 | 0.030 8 |

2.2 指标标准化

由于评价指标原始数据量纲不同,需对原始数据

进行标准化处理。本文采用极差标准化法方法对指

标数据进行标准化处理,即对土地生态状况中属于正向指标采用升梯形函数,负向指标采用降梯形函数进行标准化处理^[16]。

升梯形函数:

$$\frac{x-b_1}{b_2-b_1} \quad (b_1 \leq x \leq b_2) \quad (8)$$

降梯形函数:

$$\frac{b_2-x}{b_2-b_1} \quad (b_1 \leq x \leq b_2) \quad (9)$$

式中: x ——指标实际值; b_1, b_2 ——指标的上下限。

对景观格局指数香浓多样性指数(SHDI)和聚合度指数(COHESION)采用极差法进行标准化处理,而周长—面积分维数(PAFRAC)的标准化处理遵循邬建国^[17]的生态设定,即值越接近 1.5,景观越不稳

定。具体周长—面积分维数(PAFRAC)的标准化公式见参考文献^[17]。

2.3 综合指数与评价标准的确定

采用综合指数法对张家口市的土地生态安全进行评价,计算公式为:

$$T_i = \sum_{i=1}^m W_i \times C_i \quad (10)$$

式中: T_i ——土地生态安全评价综合指数; W_i ——指标的权重; C_i ——指标数据标准化值; m ——指标数目。 T_i 值介于 0~1 之间,其值越大,生态安全状况越好,反之越差。评价结果见表 2—3。

借鉴已有相关研究成果^[3,5,9-10],结合张家口市实际情况,将土地生态安全评价价值划分为 5 个等级(表 4—5)。

表 2 张家口市各评价单元 2000 年土地生态安全评价综合指数

| 评价单元 | 土地自然基础状况 | 土地利用状况 | 土地污染退化状况 | 景观格局状况 | 土地生态建设状况 | 土地社会经济状况 | 土地生态安全评价综合指数 |
|--------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|--------------|
| 张家口市市区 | 0.073 6 | 0.006 1 | 0.054 7 | 0.068 1 | 0.054 7 | 0.057 1 | 0.314 3 |
| 宣化县 | 0.072 8 | 0.062 2 | 0.150 3 | 0.076 2 | 0.045 0 | 0.089 5 | 0.496 0 |
| 张北县 | 0.137 6 | 0.140 6 | 0.184 5 | 0.114 5 | 0.010 6 | 0.107 1 | 0.695 0 |
| 康保县 | 0.109 8 | 0.146 6 | 0.153 4 | 0.090 9 | 0.030 8 | 0.117 9 | 0.649 4 |
| 沽源县 | 0.151 2 | 0.184 0 | 0.227 7 | 0.069 6 | 0.029 4 | 0.111 5 | 0.773 3 |
| 尚义县 | 0.123 1 | 0.102 6 | 0.217 8 | 0.072 1 | 0.008 3 | 0.106 3 | 0.630 1 |
| 蔚县 | 0.100 6 | 0.101 8 | 0.167 1 | 0.121 4 | 0.021 7 | 0.089 5 | 0.602 0 |
| 阳原县 | 0.095 5 | 0.063 7 | 0.159 1 | 0.075 6 | 0.016 0 | 0.104 5 | 0.514 4 |
| 怀安县 | 0.111 9 | 0.060 1 | 0.204 3 | 0.109 0 | 0.006 2 | 0.084 9 | 0.576 5 |
| 万全县 | 0.057 8 | 0.049 1 | 0.192 9 | 0.085 8 | 0.055 5 | 0.088 0 | 0.529 2 |
| 怀来县 | 0.081 4 | 0.056 8 | 0.172 1 | 0.099 8 | 0.034 1 | 0.087 4 | 0.531 7 |
| 涿鹿县 | 0.143 6 | 0.096 1 | 0.181 3 | 0.080 5 | 0.055 3 | 0.088 6 | 0.645 3 |
| 赤城县 | 0.107 1 | 0.172 9 | 0.210 7 | 0.082 0 | 0.012 0 | 0.090 3 | 0.675 0 |
| 崇礼县 | 0.035 5 | 0.122 0 | 0.208 1 | 0.042 4 | 0.004 3 | 0.103 1 | 0.515 3 |

表 3 张家口市各评价单元 2010 年土地生态安全评价综合指数

| 评价单元 | 土地自然基础状况 | 土地利用状况 | 土地污染退化状况 | 景观格局状况 | 土地生态建设状况 | 土地社会经济状况 | 土地生态安全评价综合指数 |
|--------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|--------------|
| 张家口市市区 | 0.081 5 | 0.014 6 | 0.123 2 | 0.067 9 | 0.071 2 | 0.057 2 | 0.415 6 |
| 宣化县 | 0.070 6 | 0.040 5 | 0.181 2 | 0.094 7 | 0.040 7 | 0.086 4 | 0.514 2 |
| 张北县 | 0.173 9 | 0.143 9 | 0.215 2 | 0.112 2 | 0.001 9 | 0.104 3 | 0.751 4 |
| 康保县 | 0.108 7 | 0.154 6 | 0.194 1 | 0.058 9 | 0.003 1 | 0.116 3 | 0.635 8 |
| 沽源县 | 0.131 8 | 0.184 0 | 0.228 7 | 0.062 5 | 0.048 5 | 0.112 6 | 0.768 1 |
| 尚义县 | 0.170 3 | 0.123 2 | 0.228 1 | 0.056 9 | 0.012 8 | 0.102 5 | 0.693 6 |
| 蔚县 | 0.177 5 | 0.108 0 | 0.107 8 | 0.122 6 | 0.021 6 | 0.088 2 | 0.625 6 |
| 阳原县 | 0.138 1 | 0.076 6 | 0.203 0 | 0.081 3 | 0.026 5 | 0.096 2 | 0.621 7 |
| 怀安县 | 0.132 5 | 0.061 0 | 0.217 1 | 0.084 7 | 0.050 7 | 0.076 0 | 0.621 9 |
| 万全县 | 0.059 3 | 0.041 5 | 0.193 6 | 0.078 6 | 0.022 2 | 0.087 3 | 0.482 5 |
| 怀来县 | 0.103 4 | 0.055 2 | 0.178 5 | 0.084 2 | 0.019 8 | 0.081 8 | 0.522 8 |
| 涿鹿县 | 0.193 8 | 0.079 1 | 0.178 7 | 0.072 7 | 0.030 4 | 0.089 5 | 0.644 1 |
| 赤城县 | 0.131 8 | 0.165 9 | 0.224 9 | 0.069 1 | 0.005 6 | 0.088 2 | 0.685 6 |
| 崇礼县 | 0.028 7 | 0.134 9 | 0.220 2 | 0.043 5 | 0.019 7 | 0.100 4 | 0.547 4 |

表 4 土地生态安全等级划分

| 等级 | 安全状态 | 综合指数 | 指标特征 |
|-----|------|------------|---|
| V | 安全态 | ≥ 0.7 | 土地生态系统结构完整,功能基本完善,生态环境基本未受干扰破坏,生态系统恢复再生力强,生态问题不显著,生态灾害少 |
| IV | 较安全态 | 0.6~0.7 | 土地生态系统结构尚完整,功能较为完善,生态环境较少受到破坏,生态系统较容易恢复,生态问题不显著,生态灾害较少 |
| III | 敏感态 | 0.5~0.6 | 土地生态系统结构有变化,功能已有退化,生态环境受到一定破坏,生态系统受干扰后易恶化,生态问题显著,生态灾害时有发生 |
| II | 风险态 | 0.4~0.5 | 土地生态系统结构破坏较大,功能严重退化,生态环境受到较大破坏,受外界干扰难以恢复,生态问题较大,生态灾害较多 |
| I | 恶劣态 | < 0.4 | 土地生态系统结构残缺不全,功能几乎崩溃,生态环境受到严重破坏,生态恢复与重建困难,生态问题很大并经常演变成生态灾害 |

表 5 张家口市 2010 和 2000 年土地生态安全评价等级

| 年份 | 评价等级 | | | | |
|------|------------|------------------------|---------------------|--------|-----|
| | 安全态 | 较安全态 | 敏感态 | 风险态 | 恶劣态 |
| 2000 | 沽源县 | 张北县、康保县、尚义县、蔚县、涿鹿县、赤城县 | 阳原县、怀安县、万全县、怀来县、崇礼县 | 宣化县 | 市区 |
| 2010 | 张北县 沽源县 | 康保县、尚义县、蔚县、涿鹿县、赤城县 | 宣化县、怀来县、崇礼县 | 市区、万全县 | 无 |

3 结果与分析

3.1 指标权重分析

由表 1 可见,土地退化率、水土流失敏感性、植被覆盖率、人均生态用地面积和土地恢复力指数对土地生态安全影响较大,其权重均大于 0.05。万元产值能源消耗、人口自然增长率对土地生态安全影响相对较弱,其权重值均小于 0.02。从准则层来看,土地污染、退化和土地自然基础状况对土地生态安全影响较大,其次是土地利用状况和土地社会经济,土地景观格局和土地生态建设状况对土地生态安全影响相对较弱。张家口市地处内蒙古高原向华北平原过度的农牧交错带,水土流失严重,风沙肆虐,干旱频发,是典型的生态环境脆弱区。长期以来由于历史和自然原因,张家口市植被严重破坏,土地沙化、荒漠化、草场退化问题十分突出,严重限制了研究区社会经济的发展,成为环京津贫困带中的重要组成^[18]。在人口和经济发展的压力下,长期的超强开发和垦殖,加上脆弱的生态环境,导致严重的土地退化,使得生存环境更为恶劣,从而陷入“生态脆弱—贫困—掠夺式土地利用—资源环境退化—进一步贫困”的恶性循环。因此,土地污染、退化和脆弱的自然生态系统是影响其土地生态安全的重要因素。今后若进一步增加植被覆盖率,提高生态用地面积比例,增强土地恢复力,降低水土流失敏感性和土地退化率,将会使土地生态安全向良性方向发展。

3.2 土地生态安全评价综合分析

张家口市 2000 年土地生态安全评价综合指数平均值为 0.582,处于敏感态,各区县的土地生态安全评价综合指数范围为 0.314 3~0.773 3,而到 2010 年土地生态安全评价综合指数平均值为 0.609,处于较安全态,各区县土地生态安全评价综合指数范围为 0.415 6~0.768 1。市区及其周边的宣化县和万全县的土地生态安全评价综合指数均较小,而地处北部坝上高原的沽源县、张北县、康保县、尚义县综合指数均较大。从评价等级划分看,2000 年和 2010 年张家口市多数区县土地生态安全处于较安全态和敏感态,位于坝上高原的沽源县处于安全态,市区处于恶劣态,市区周边的万全县和宣化县处于风险态。相比于 2000,2010 年张家口市处于安全态的除了沽源县外,还有张北县,没有区县处于恶劣态,市区的土地生态状况由 2000 年的恶劣态变为 2010 年的风险态。可见,张家口市土地生态安全状况总体变好,体现了近年来张家口市退耕还林还草以及各项生态建设工程实施的效果。

从土地生态安全评价等级空间分布图(图 1)可见,张家口市土地生态安全状况表现出明显的区域差异特征。张家口市北部和南部地区的土地生态安全状况较好,特别是北部坝上高原的部分区域如张北县和沽源县的土地生态安全状况处于安全态,中部市区及其周边县域如万全县、宣化县的土地生态安全状况较差,处于敏感态、风险态和恶劣态。

北部坝上地区由于海拔高,气温低,降水少,农业以种植土豆、甜菜、莜麦等耐旱作物为主,一年一季,耕地施用化肥、农药量较少,土地利用程度和强度较低。同时,坝上地区地广人稀,经济发展水平较落后,对土地生态系统的干扰和压力较小。2010 年沽源县和张北县人口密度分别为 64 和 91 人/km²,人均 GDP 分别为 9 568.7 和 12 959.1 元/人,远远低于市区及其周边的宣化县、怀来县的 28 654.5,16 965.9 和 24 660.8 元/人(表 6)。由于坝上地区人类开发建设强度和干扰程度较小,林地和草地生态用地面积均较大,植被覆盖率较高,土地生态恢复力较强,土地退化、污染程度较低。由表 6 可见,坝上高原张北、沽源、尚义和康保 4 县的植被覆盖率、人均生态用地面积普遍高于市区及其周边的宣化、怀来、万全等县,而有效

灌溉率、旱涝保收率、单位耕地面积化肥施用量、单位耕地面积农药施用量、建设用地比例却低于市区及其周边的宣化、怀来、万全县域。同时坝上地区也是张家口市退耕还林还草和生态建设工程实施的重点区域。2000—2010 年坝上地区林地增加 582.63 hm²,增加幅度 17.36%,年均增加幅度 1.74%。而中部市区及其周边县域水土资源较丰富,经济发展水平较高,人口稠密,人地矛盾突出,土地开发建设强度较大,工业企业污染和农业面源污染较严重,人类对土地生态系统的干扰和压力较大,林地和草地生态用地面积较小,土地生态恢复力较低,导致其土地生态安全程度较低。可见,中部市区及其周边县域的自然条件和社会经济水平在全市都位居前列,但由于人类对土地生态系统的压力和干扰较大,导致其土地生态安全状况较差。

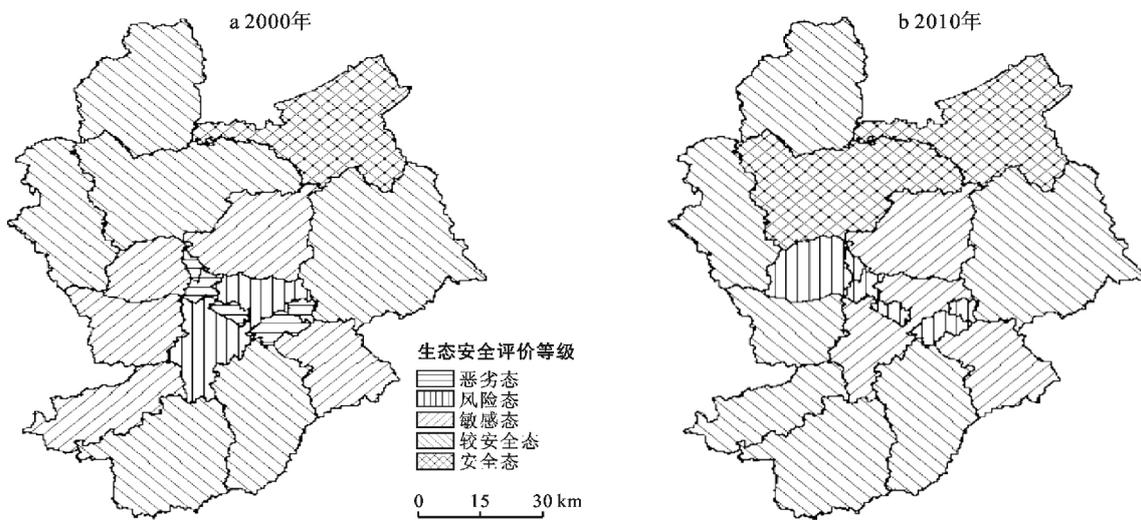


图 1 2000 和 2010 年张家口市土地生态安全评价等级

表 6 2010 市区及其周边县域与张家口坝上 4 县土地生态安全相关指标对比

| 指标名称 | 市区及周边县域 | | | | 坝上高原县域 | | | |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|
| | 市区 | 宣化县 | 万全县 | 怀来县 | 张北县 | 沽源县 | 尚义县 | 康保县 |
| 有效灌溉率/% | 44.68 | 63.91 | 58.61 | 89.87 | 25.13 | 21.16 | 19.48 | 16.24 |
| 旱涝保收率/% | 75.78 | 49.46 | 59.87 | 65.73 | 35.29 | 31.22 | 24.88 | 35.98 |
| 人口密度/(人·km ⁻²) | 1 250 | 1 125 | 197 | 197 | 91 | 64 | 75 | 83 |
| 经济密度/(万元·km ⁻²) | 3 115.8 | 264.4 | 315.1 | 485.1 | 118 | 60.8 | 84.6 | 80.2 |
| 人均 GDP(元/人) | 28 654.5 | 16 965.9 | 15 988.5 | 24 660.8 | 12 959.1 | 9 568.7 | 11 284.4 | 9 665.2 |
| 植被覆盖率/% | 49.07 | 43.03 | 48.98 | 52.59 | 48.61 | 58.22 | 65.86 | 55.69 |
| 人均生态用地面积(hm ² /人) | 0.14 | 0.55 | 0.47 | 0.46 | 1.08 | 1.53 | 1.28 | 1.14 |
| 建设用地比例/% | 20.82 | 5.03 | 7.28 | 6.76 | 2.73 | 3.05 | 2.72 | 2.58 |
| 单位面积化肥使用量/(kg·hm ⁻²) | — | 206.37 | 126.16 | 554.9 | 68.2 | 62.07 | 59.46 | 34.79 |
| 单位面积农药使用量/(kg·hm ⁻²) | — | 1.69 | 4.28 | 17.98 | 1.06 | 1.94 | 1.49 | 1.87 |

4 结论

(1) 土地退化率、水土流失敏感性、植被覆盖率、

人均生态用地面积和土地恢复力指数是影响土地生态安全的主要因素;土地污染、退化状况和土地自然状况是影响土地生态安全的重要方面,增加植被覆

盖率,提高生态用地面积比例,降低水土流失敏感性和土地退化率,将会使土地生态安全向良性方向发展。

(2) 2010 年绝大多数区县的土地生态安全评价综合指数高于 2000,2010 年张家口市土地生态安全状况明显好于 2000 年。这与张家口市近年来退耕还林还草工程以及相关生态建设工程的实施密切相关。

(3) 张家口市各区县土地生态安全状况多集中在安全、较安全和敏感态,其中市区生态安全状况最差,坝上沽源县和张北县土地生态安全状况最好,其空间分布格局大体是北部坝上和南部地区土地生态安全状况好于中部市区及其周边县域,其原因是市区及其周边地区人口稠密,植被覆盖率较低,土地污染较严重,土地利用强度大,抵消了其在自然环境和社会经济上的优势。

(4) 张家口市是典型的生态脆弱区,同时又处于地处北京市上风上水地带,其土地生态安全直接影响到下游的北京及其周围地区。随着京津冀一体化进程的推进,张家口市在大力发展社会经济的同时,要密切加强其土地生态建设,特别是中部市区及其周围毗邻地区,增加植被覆盖率,减少土地污染、退化,优化土地利用结构和景观格局,减小土地生态系统压力,发展生态农业,提高土地生态恢复能力,以维持土地生态系统安全,确保张家口市及北京与周边地区的健康发展。

[参 考 文 献]

- [1] 刘雅爱,葛京凤,梁彦庆,等. 基于 PSR 模型的张家口地区生态安全综合评价[J]. 水土保持通报,2013,33(3): 270-274.
- [2] 施晓清,赵景柱,欧阳志云. 城市生态安全及其动态评价方法[J]. 生态学报,2005,25(12):3237-3243.
- [3] 喻锋,李晓兵,王宏,等. 皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价[J]. 地理学报,2006,61(6):645-653.
- [4] 蒙吉军,赵春红,刘明达. 基于土地利用变化的土地生态安全评价:以鄂尔多斯市为例[J]. 自然资源学报,2011,26(4):578-590.
- [5] 解雪峰,吴涛,肖翠,等. 基于 PSR 模型的东辽河流域生态安全评价[J]. 资源科学,2014,36(8):1702-1711.
- [6] 王国. 我国典型脆弱生态区生态经济管理研究[J]. 中国生态农业学报,2001,9(4):9-12.
- [7] 刘燕华,李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展[M]. 北京:北京商务印书馆,2001.
- [8] 和继军,蔡强国,方海燕,等. 张家口地区水土保持措施空间配置效应评价[J]. 农业工程学报,2009,25(10):69-75.
- [9] 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.
- [10] 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): 312-315.
- [11] 孙丕苓,杨海娟,刘庆果. 南水北调重要水源地的土地生态安全动态研究:以陕西省商洛市为例[J]. 自然资源学报,2012,27(9):1520-1530.
- [12] 刘明华,董贵华. RS 和 GIS 支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价[J]. 地理研究,2006,25(5):930-938.
- [13] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报,2000,20(1):9-12.
- [14] 刘康,欧阳志云,王效科,等. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. 生态学报,2003,23(12):2711-2718.
- [15] 周伏建. 福建省土壤侵蚀与综合治理[J]. 水土保持通报,2000,20(4):56-59.
- [16] 郭祥,岳德鹏,刘永兵,等. 基于 RS 与 GIS 技术的县级生态状况评价与比较[J]. 林业调查规划,2009,34(1): 50-53.
- [17] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2007:106-115.
- [18] 孙丕苓,许月卿,王数. 环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. 农业工程学报,2014,30(14): 277-288.