

DOI: 10.5846/stxb201806211361

刘时栋, 徐丽萍, 张婕. 新疆土地生态安全时空变化. 生态学报, 2019, 39(11): - .

Liu S D, Xu L P, Zhang J. Spatiotemporal change of land ecological security in Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(11): - .

新疆土地生态安全时空变化

刘时栋^{1,2}, 徐丽萍^{1,*}, 张 婕^{2,3}

1 新疆石河子大学理学院, 石河子 832000

2 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083

3 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

摘要: 土地生态安全评价能高效引导土地合理利用, 协调生态保护与区域经济发展之间的矛盾。以核密度估算法及克里金空间插值为技术支撑, 构建基于突变级数法的土地生态安全评价指标体系, 并采用空间变异系数法及灰色预测模型对新疆土地生态安全进行探索性测度分析。结果表明: (1) 新疆土地生态安全总体水平不断提高。土地生态安全指数由 2004 年的 0.76 上升到 2017 年 0.94, 安全等级呈现“不安全→较不安全→临界安全→较安全”的发展趋势。(2) 新疆各县市土地生态安全的不均衡性得到改善, 空间差异缩小。新疆土地生态安全空间变异系数由 2004 年的 0.51 上升为 2017 年的 0.84, 呈持续上升趋势, 其中 2009 年到 2014 年期间最快增加了 0.29。(3) 研究区人口增加了 27.59%, 同时未利用地和草地面积的减少量分别占到整个新疆面积的 7.51‰ 和 9.45‰。自然资源分布不均、社会经济发展对未利用地和草地的大量占用以及区域人口的急剧增加可能是新疆土地生态安全面临的主要问题。(4) 通过灰色模型预测, 2020 年新疆土地生态安全将进一步得到改善, 土地生态安全空间差异将进一步缩小。与 2005 年相比, 2020 年空间变异系数将上升到 0.85; 安全区和临界安全区将分别增加 2.06% 和 11.24%; 较安全区、较不安全区、不安全区将分别下降 2.98%、9.16%、1.15%。

关键词: 土地生态安全; 核密度估算法; 突变级数法; 新疆

Spatiotemporal change of land ecological security in Xinjiang

LIU Shidong^{1,2}, XU Liping^{1,*}, ZHANG Jie^{2,3}

1 Shihezi University, Shihezi 832000, China

2 China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

3 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China

Abstract: Land ecological security assessment can guide rational land use efficiently and coordinate the contradiction between ecological protection and regional economic development. Supported by the kernel density estimation method and Kriging spatial interpolation, the index system of land ecological security evaluation based on catastrophe progression method has been constructed, and the spatial variation coefficient method and grey prediction model have been used to analyze the land ecological security in Xinjiang. The results indicated that: (1) the overall level of land ecological security in Xinjiang has continuously improved. The land ecological security index increased from 0.76 in 2004 to 0.94 in 2017; the development trend of "unsafe→less safe→critical safety→safer" is apparent at the ecological security level; (2) the disequilibrium of land ecological security has been improved and spatial differences have been reduced in all counties and cities of Xinjiang. The spatial variation coefficient of land ecological security in Xinjiang increased from 0.51 in 2004 to 0.84 in 2017. There has been a sustained upward trend, with the fastest increase of 0.29 between 2009 and 2014; (3) the population of the

基金项目: 国家自然科学基金(31760151)

收稿日期: 2018-06-21; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xlpalw@sina.com

research area increased by 27.59%, whereas the area of unused land and grassland decreased by 7.51‰ and 9.45‰, respectively. The uneven distribution of natural resources, extensive occupation of unused land and grassland for socio-economic development, and sharp increase in regional population may be the main problems of land ecological security in Xinjiang; (4) through the gray model prediction, the land ecological security of Xinjiang will be further improved in 2020, and the spatial difference of land ecological security will be further reduced. Compared with the scenario in 2005, the spatial variation coefficient will increase to 0.85 in 2020; the safety and critical safety zones will be increased by 2.06% and 11.24%, respectively; and the safer, less safe and unsafe zones will be reduced by 2.98%, 9.16%, and 1.15%, respectively.

Key Words: land ecological security; kernel density estimation; catastrophe progression method; Xinjiang

一个健康和稳定的土地生态系统对于确保我国粮食安全和社会经济发展有重要作用^[1]。在土地利用过程中,由于人类不恰当的行为,土地生态问题愈加突出^[2]。土地生态安全评价有利于高效引导土地合理利用,协调生态保护与区域经济发展之间的矛盾。

土地生态安全评价应用比较广泛的方法主要有“压力-状态-响应”模型法^[3]、综合指数法^[4]、生态足迹法^[5]和景观生态学方法^[6]等,主要涉及指标体系、安全阈值的确定等方面^[7-9]。李彩惠等学者采用基于综合评价模型的障碍诊断模型,充分挖掘了土地生态发展的障碍因子^[10-15];李明月等学者运用 BP 神经网络方法,对广州市土地生态安全状况进行定量评价与预警测度,提高了评价及预测结果的客观性^[16-17]。目前在土地生态安全评价方面大多基于统计数据且评价指标还没有统一^[18-20]。核密度估算方法(Kernel density estimation, KDE)是从样本空间数据本身出发,分析地理要素空间数据整体分布特征及影响范围的一种方法^[21],是依据研究区地理要素的空间分布数据集来估算相应地理要素的集聚特征,核密度估算值越大,则该区域受到相应的地理要素的影响越大^[22]。核密度估算方法克服了以往研究中单一考虑地理要素的本身空间位置而忽略其对一定范围内相邻地理要素的影响。结合突变级数法既能克服对指标赋予权重带来的直观性误差又能考虑各评价指标相对重要性,更能突出地理要素在空间上实际影响力的辐射范围,增强了评价的客观性与真实性。

新疆作为我国“一带一路”发展战略的核心区,土地盐碱化、草地退化等生态问题严重扰乱了生态平衡,已经成为制约整个新疆经济和社会发展的最大障碍^[1]。因此有必要采用科学合理针对性强的方法对新疆土地生态状况进行测度分析。本文借鉴国内相关研究经验^[23-25]把核密度估算^[26]方法引入土地生态研究,基于土地生态核密度估计分析新疆土地生态安全的时空变化特征,同时采用突变级数法建立新疆土地生态安全动态评价体系。本研究对进一步完善土地生态安全评价体系及土地生态安全状况预警系统具有一定的参考价值,为土地生态安全评价提供了从空间数据入手的新思路,对于当前高速城镇化与农业现代化导致的生态敏感区土地生态安全问题的认知与解决具有重要意义,也为新疆土地利用的规划、及生态保护区划提供理论支撑,从而促进当地土地资源的永续利用及区域社会经济的可持续发展。

1 研究方法

本文采用核密度函数对相关土地生态安全指标核密度进行计算。采用突变级数法及空间变异系数来评价分析新疆的土地生态安全状况。在评价的基础上利用灰色预测理论预测新疆 2020 年的短期土地生态安全状况,分析讨论评价预测结果并提出预警建议。具体技术路线如图 1:

1.1 指标体系构建

借鉴相关研究^[1],构建新疆地区土地生态安全评价指标体系,对新疆土地生态安全进行评估分析。该指标体系共分为目标层、准则层、因素层、指标层 4 层,并按照空间上的质量分布状况、时间上的生态可持续性、利用上的相互比例关系以及经济上的投入产出状况把土地生态安全目标层细分为土地系统健康、土地可持续

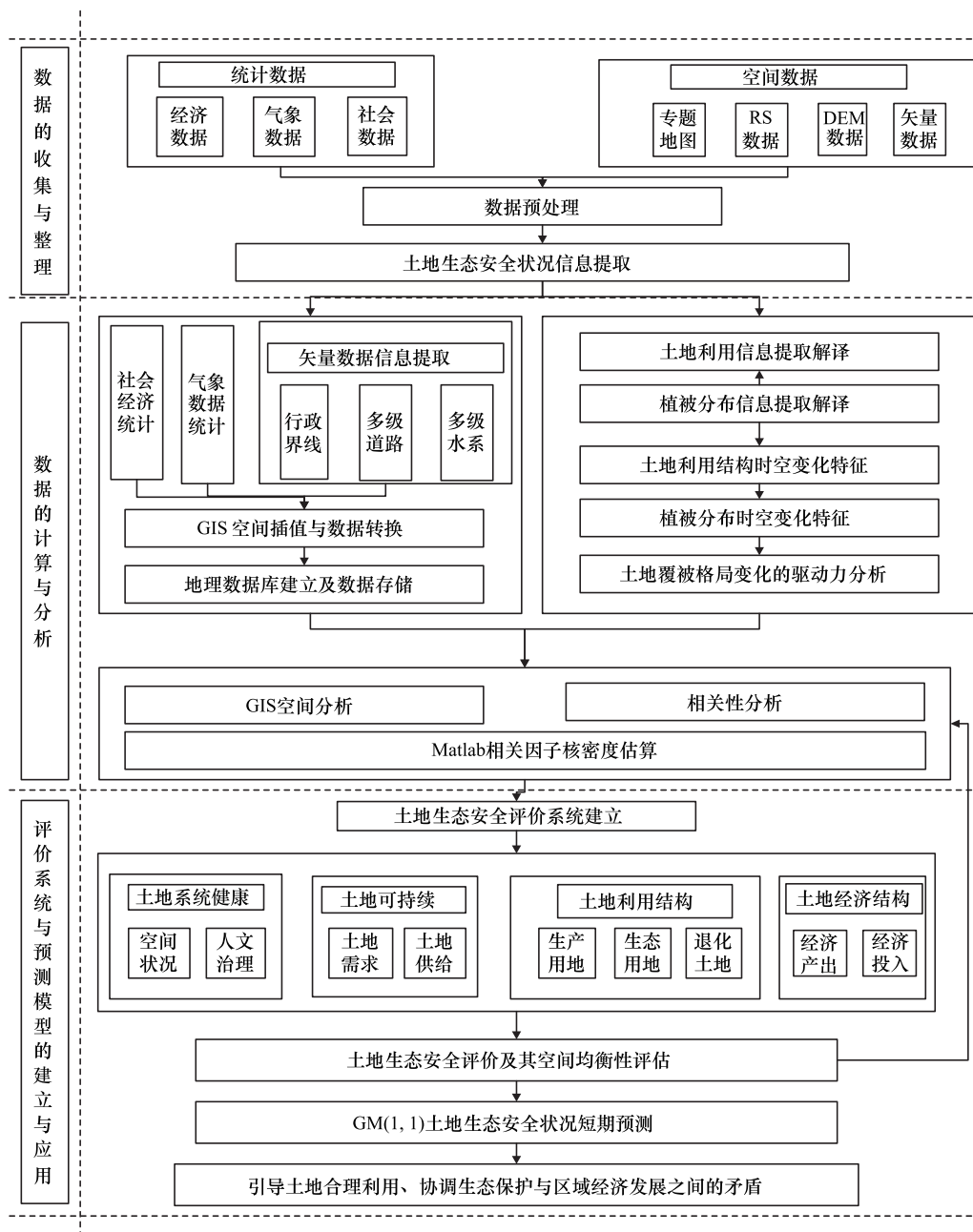


图1 技术路线

Fig.1 Technical route

性、土地利用结构和土地经济结构 4 个方面。土地系统健康状况主要用来表征空间上土地生态安全的质量高低,主要包括水文、道路、植被等资源的空间分布现状以及研究区当前面临最大的水土流失和土地盐碱化问题的人为治理质量;土地可持续性主要表征研究区土地生态安全在时间上的供需平衡问题,主要包括人口增长、城市扩张等对土地的需求以及提供粮食的农用地、改善生态环境的深林植被等土地的供给;土地利用结构主要表征土地在生产、生态等不同方面的利用所占的比例;土地经济结构主要表征研究区土地在经济方面的投入和产出状况。具体新疆土地生态安全动态评价指标体系如下(表 1)。

表 1 新疆土地生态安全动态评价指标体系

Table 1 Land ecological security dynamic evaluation index system of Xinjiang

目标层 Aim	准则层 Guidelines	因素层 Factors	指标层 Index	趋势性 Trend
土地生态安全 Land ecological security	A1 土地系统健康	B1 空间现状	C1 水网密度	正
			C2 路网密度	逆
			C3 植被密度	正
	A2 土地可持续	B2 人文治理	C4 水土流失防治面积(千 hm ²)	正
			C5 盐碱地治理面积(千 hm ²)	正
			C6 人口增长率/%	逆
		B3 土地需求	C7 人口密度(万人/km ²)	逆
			C8 城镇化率/%	逆
			C9 单位面积农作物产量(kg/hm ²)	正
	A3 土地利用结构	B4 土地供给	C10 森林覆盖率/%	正
			C11 耕地面积比重/%	正
			C12 林地面积比重/%	正
		B5 生产用地	C13 园地面积比重/%	正
			C14 草地面积比重/%	正
			C15 水域面积比重/%	正
		B6 生态用地	C16 沼泽地面积比重/%	正
			C17 冰雪面积比重/%	正
			C18 沙漠面积比重/%	逆
		B7 退化土地	C19 盐碱地面积比重/%	逆
			C20 戈壁滩面积比重/%	逆
			C21 建设用地面积比重/%	逆
	A4 土地经济结构	B8 经济产出	C22 第三产业比重/%	正
			C23 农林牧副渔产值(元/hm ²)	正
			C24 人均 GDP(元/人)	正
		B9 经济投入	C25 单位耕地农机总动力(kw/hm ²)	正
			C26 单位耕地化肥施用量(t/hm ²)	逆

本文选取极差标准化法对原始统计数据进行无量纲化处理,公式如下^[27]。

(1) 当评价指标为正向指标是:

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

(2) 当评价指标为逆向指标是:

$$y_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中, y_i 为原始数据无量纲化处理后的标准数据; x_i 、 $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 分别为原始数据中同一项指标的实际值、最小值和最大值。

1.2 核密度估算法

核密度函数估算方法以新疆相关空间数据每个样本点 $i(x, y)$ 为中心,通过反距离加权法运用核密度函数分别计算出每个样本点在指定的范围内密度贡献值。本文依托 Matlab 采用二维核密度函数^[21-22]对研究区与土地生态相关的栅格数据进行计算,计算公式如下:

$$\hat{f}(x, y) = \frac{3}{n r^2 \pi} \sum_{i=1}^n \left[1 - \frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{r^2} \right]^2 \quad (3)$$

式中, $\hat{f}(x,y)$ 为待估算栅格单元中心点 (x,y) 的密度; r 为收索半径; $x_i、y_i$ 是样点 i 的坐标; n 为收索半径范围内样本点的个数; $x、y$ 为半径范围内待估算栅格中心点坐标; $(x-x_i)^2+(y-y_i)^2$ 为半径范围内待估算栅格中心点和样点 i 之间欧氏距离的平方。

1.3 突变级数法

突变级数法在不需对指标赋予权重的同时还考虑了各评价指标的相对重要性,是一种客观性较强的综合评价方法^[28]。该方法通过对评价目标的多层次分解,利用突变理论及模糊数学算法产生突变模糊隶属函数,由归一公式进行综合量化运算出总的隶属函数,再由总隶属度对评价目标进行排序分析^[29]。其归一化公式见下表(表2)。

表2 突变级数模型公式
Table 2 Catastrophe progression method

突变类型 Type	控制变量维数 Dimensions	势函数 Potential functions	归一化公式 Normalized formula
折叠突变 Fold catastrophe	1	$f(x) = x^2 + ax$	$x_a = \sqrt{a}$
尖点突变 Tip catastrophe	2	$f(x) = x^4 + ax^3 + bx$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}$
燕尾突变 Swallowtail catastrophe	3	$f(x) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}ax^3 + \frac{1}{2}bx^2 + cx$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}$
蝴蝶突变 Butterfly catastrophe	4	$f(x) = \frac{1}{6}x^6 + \frac{1}{4}ax^4 + \frac{1}{3}bx^3 + \frac{1}{2}cx^2 + dx$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}, x_d = \sqrt[5]{d}$

由相应的突变模型及归一化公式计算准则层和目标层的评价标准^[29](表3)。

表3 新疆土地生态安全评价等级指标
Table 3 Land ecological security evaluation scale of Xinjiang

等级 Grade	名称 Name	突变级数法标准 Standard of catastrophe progression method					常规值 Basic value
		土地生态安全 Ecological security	土地系统健康 Health status	土地可持续性 Sustainability	土地利用结构 Use structure	土地经济结构 Economic structure	
I	安全	>0.99	>0.99	>0.99	>0.99	>0.99	>0.8
II	较安全	0.97—0.99	0.98—0.99	0.97—0.99	0.98—0.99	0.97—0.99	0.6—0.8
III	临界安全	0.96—0.97	0.96—0.98	0.95—0.97	0.97—0.98	0.94—0.97	0.4—0.6
IV	较不安全	0.92—0.96	0.94—0.96	0.91—0.95	0.94—0.97	0.90—0.94	0.2—0.4
V	不安全	<0.92	<0.94	<0.91	<0.94	<0.90	<0.2

1.4 空间均衡性计算方法

变异系数表示地理数据的相对波动程度的地统计量,本文基于 SPSS 22.0 平台统计研究区从 2004 年到 2016 年的各县市土地生态安全指数的空间变异规律。其计算公式如下

$$C_i = \frac{1}{\bar{x}_i} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n-1}} \times 100\%$$

(4)

式中, C_i 为表示第 i 年新疆各县市的土地生态安全空间变异系数; $\bar{x}_i$ 表示第 i 年新疆各县市的土地生态安全指数的平均值; x_{ij} 表示第 i 年第 j 个县市的土地生态安全指数; n 为新疆县市的总数目。

2 区域概况与数据来源

2.1 研究区概况

新疆地处我国西北干旱区^[30],介于 73°20′—96°25′E,34°15′—49°10′N 之间,是我国“一带一路”发展战

略的核心区^[1]。深居大陆腹地,水汽难以到达,具有典型的温带大陆性干旱半干旱气候。山间盆地、河谷等地貌众多,风沙地貌极其发育^[31](图 2)。荒漠面积大而绿洲面积小,可作为农业利用的土地少。植被覆盖度低^[32],森林多沿河流分布^[33]。新疆水资源时空分布极度不均,土地资源的不合理利用以及落后的灌溉技术致使次生盐渍化和沼泽化不断加剧,土壤肥力下降,草地面积大量减少,大片的胡杨林、灌木林遭受严重破坏,草地和森林生态功能不断弱化^[2]。

2.2 数据来源与处理方法

2.2.1 数据来源

本文使用数据包括新疆 85 个县市的统计数据;新疆地区近十几年的 MODIS、TM 遥感数据;新疆数值高程模型数据以及新疆各级行政界限、政府驻地、各级道路、水系等矢量数据。其中新疆最新统计年鉴仅更新到 2015 年,因此 2016、2017 年的部分统计数据采用 2015 年数据代替。具体来源及使用情况如下(表 4)。

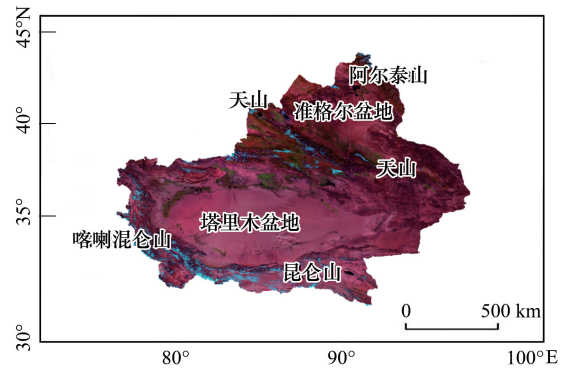


图 2 研究区示意图

Fig.2 Geographical location of Xinjing

表 4 数据来源
Table 4 Data sources

数据类型 Type of data	所用数据 Data	数据来源 Data Sources	操作软件 Software
统计数据 Statistical data	2004—2016 年统计年鉴	新疆统计年鉴	SPSS、Excel、Matlab
栅格数据 Raster data	MODIS 2001—2017 年 7 月 28 号 250 m	NASA 网站	ENVI 5.0、Matlab、MRT
	TM、ETM ⁺ 1995、2000、2005、2010、2015 年 8 月 30 m	USGS 网站	ENVI 5.0、ArcGIS 10.3
	DEM 新疆 30 m 数字高程数据	地理空间数据云	ArcGIS 10.3
矢量数据 Vector data	政府驻地、界限、道路等	NGCC 网站	ArcGIS 10.3

2.2.2 处理方法

选取新疆 1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 7 月或者 8 月 30 m 的 Landsat 以及 2001 年到 2017 年 7 月 250 m 的 MODIS 影像^[30]。分别利用 ENVI 5.0 及 MRT 工具对影像进行校正、打包、拼接、重采样等操作。文章研究范围比较大,相应研究尺度不宜过小,因此所有空间数据均统一分辨率为 1 km。通过监督分类规则进行遥感影像分类,并进行人工目视解译修正,使得每种地类分类准确度以及总精度都在 90% 以上,每一年期的遥感影像分类 Kappa 系数均大于 0.9(表 5)。最终形成 1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年五期分别包含耕地、林地、草地、水域、建设用地、沼泽地、未利用地、冰雪用地 8 种用地类型的新疆土地利用类型图^[34]。

表 5 遥感分类精度检验
Table 5 Remote sensing classification accuracy test

年代 Year	1995	2000	2005	2010	2015
总精度 Overall accuracy/%	90.51	92.46	91.24	92.18	92.84
Kappa 系数 Overall kappa	0.9021	0.9315	0.9154	0.9017	0.9035

3 结果分析

3.1 土地生态安全指数分析

为了有效提高对土地生态安全评价的准确性并且确定影响土地生态安全的主要因子,有必要分析单项指数对土地生态安全影响的过程,文章基于突变级数评价指标体系,利用突变级数模型公式(表 2)计算得出

2004—2017 年各准则层的土地生态安全指数(图 3),绘制新疆各指数时间序列图、道路与水系核密度图、土地生态可持续性状况及其核密度图、土地利用覆被变化图以及土地经济结构空间插值图。

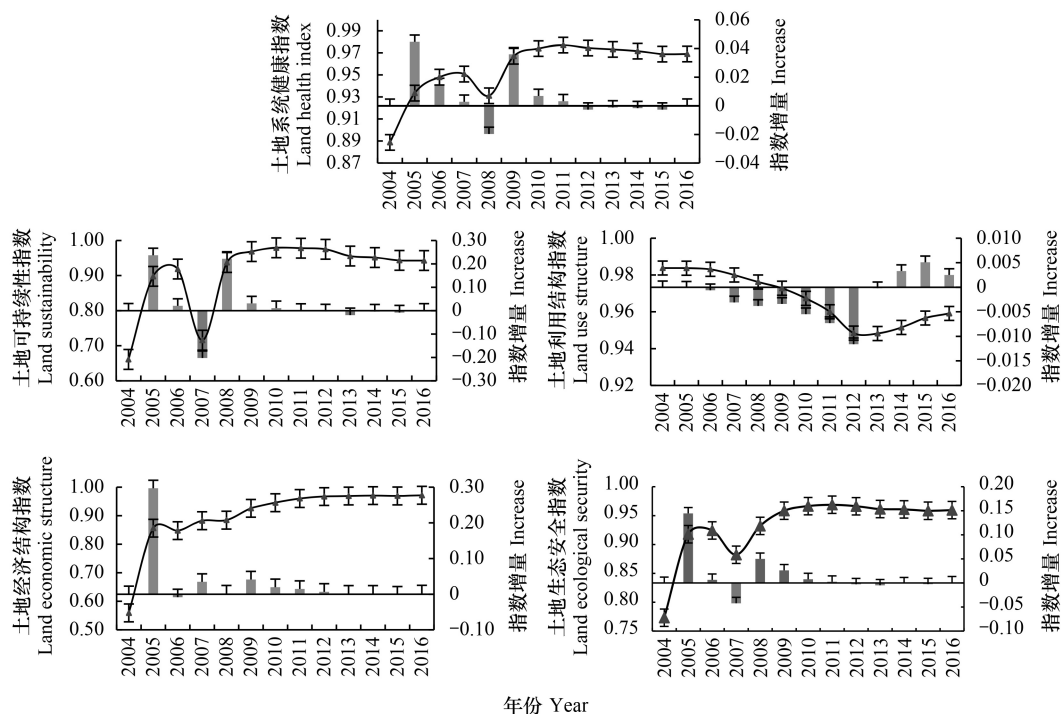


图 3 土地生态安全指数时间序列图

Fig.3 Land ecological security index value

图中折线趋势表示相应指数变化趋势;图中条形高度表示相应指数增量

3.1.1 土地系统健康指数分析

新疆土地质量空间分布不均匀,呈现“三山”附近植被茂盛、水系发育、土地健康状况良好而“两盆”地区干旱缺水、植被稀少、生态极其脆弱的状态(图 4)。新疆的土地生态系统健康指数整体呈现波动上升趋势且阶段特征明显(图 3),由 2004 年的 0.89 上升到 2007 年 0.95,3 年内升高了 0.06,后到 2008 年下降为 0.93,随

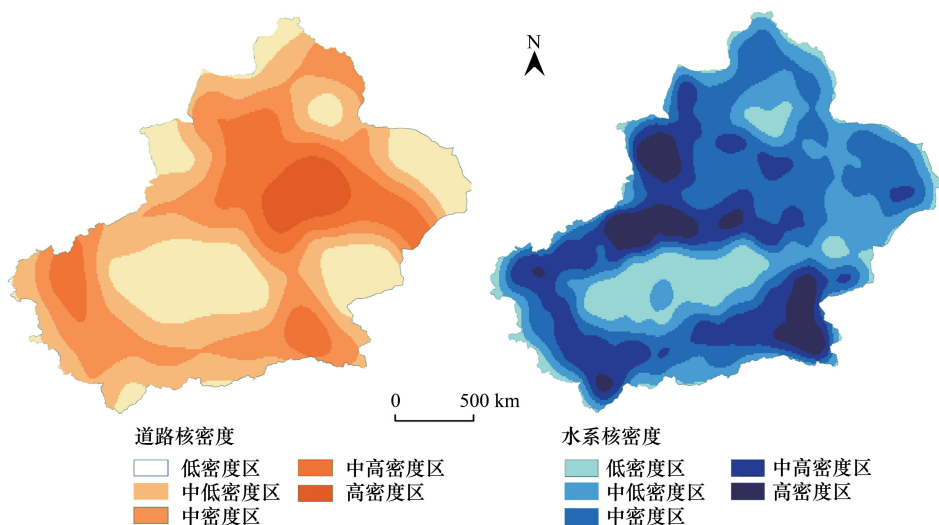


图 4 新疆道路水系核密度估算结果

Fig.4 Kernel density estimation results of road and water of Xinjiang

后又以年均升高 0.02 的速度至 2011 年上升到 0.98 处于不稳定的临界安全状态,其后又出现窄幅下降,截止 2014 年为 0.97,2014 年至今基本稳定于 0.97 左右。整体土地生态健康指数以年均 0.062 的速度升高,经历了“不安全→较不安全→不安全→临界安全”的发展趋势。

3.1.2 土地可持续性指数分析

新疆近 13 年的土地生态可持续性指数(图 3)在波动中上升,由 2004 年的 0.66 以年均 0.03 的速度上升到 2013 年的 0.94,2013 年以后基本稳定于临界安全状态。可持续性等级经历了“不安全→较不安全→较安全→临界安全”的变化过程。土地生态可持续性变化趋势呈现出明显的空间分布差异(图 5)。南疆环塔里木盆地周围绿洲 2001 到 2005 年生态可持续性得到改善,2005 年到 2009 年呈现很大程度的恶化,2009 年到 2017 年又得到连续不断地改善;伊犁地区 2001 到 2005 年北部有所改善南部有所恶化,2005 年到 2009 年南部有所改善北部有所恶化,2009 年到 2013 年整体不断地改善,但 2013 年到 2017 年又整体有所恶化;北疆塔城地区、阿勒泰地区、昌吉等地的山区部分呈一直持续不断地恶化态势;天山北麓的山前平原区 2001 年到 2013 年得到持续的改善,但 2013 年到 2017 年间乌昌石经济圈呈现微弱的恶化。

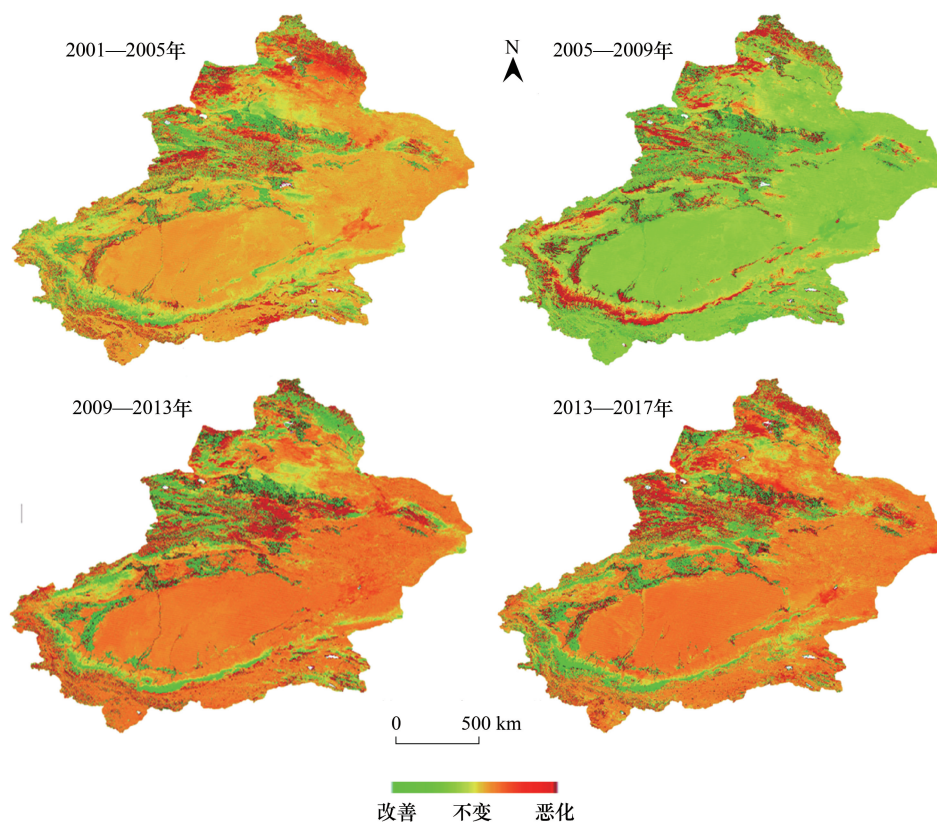


图 5 土地生态可持续性空间变化情况

Fig.5 Spatial change of land ecological sustainability

3.1.3 土地利用结构安全分析

新疆土地利用结构安全指数总体呈现下降趋势。由 2004 年的 0.98 以年均 0.004 的速度缓慢下降到 2013 年的 0.95,2013 年后又缓慢至回升 2016 年的 0.96,3 年内上升了 0.01。土地利用结构安全指数等级经历了“较安全→临界安全→较不安全→临界安全”的发展趋势(图 3)。土地利用空间结构的变化主要发生在南疆环塔里木盆地周围、天山南北以及塔城地区(图 6)。具体表现为耕地持续增加(图 7),从 1995 年到 2015 年耕地面积比重由 34.759‰增加到 47.219‰,面积增量率为 1016.55 km²/a;建设用地面积比重增加明显,从 1995 年到 2015 年面积增加了 2577 km²,其中 2010 年以后尤为突出,仅 2010 年到 2015 年这 5 年就增加了

1756 km²增速达到了 351.2 km²/a;未利用地面积(未包含沼泽地)比重持续减少,面积占比由 1995 年的 61.298%下降为 2015 年的 60.547%,减少速率高达 613.95 km²/a;草地比重持续均衡减少,20 年间持续减少 15441 km²;林地、水域及沼泽地面积均有少量的波动,其中林地增长 60.4 km²/a,水域增长 153.55 km²/a、沼泽地增长 24.2 km²/a。

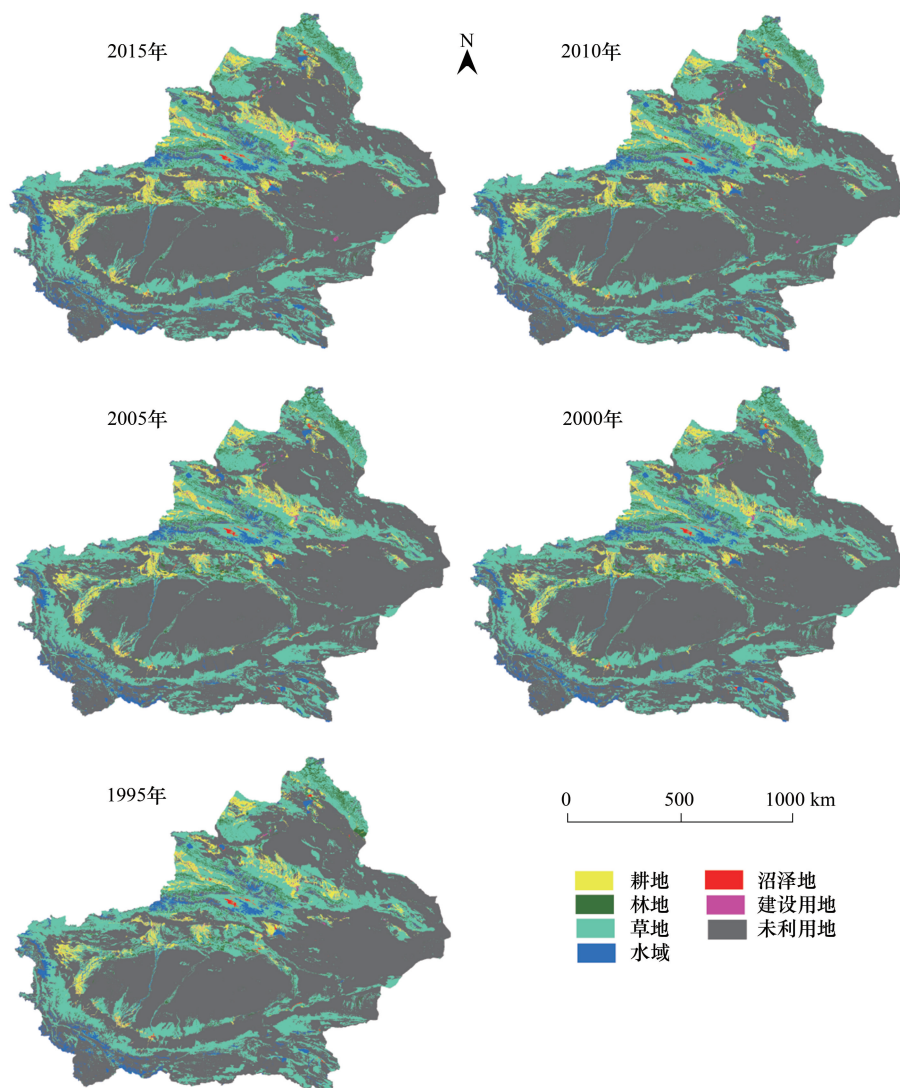


图 6 土地利用覆被变化

Fig.6 Land use coverage change

3.1.4 土地经济结构安全分析

新疆的土地经济结构安全指数处于持续上升趋势,由 2004 年的 0.56 以年均 0.342 的速度上升至 2016 年的 0.97,安全等级经历了“不安全→较不安全→临界安全→较安全”的发展趋势(图 3),但空间上存在着明显的差异,安全区域逐渐由天山南部的阿克苏地区向天山北麓经济带转移,呈现由西南到东北的“改善→恶化→改善→恶化”的交替性规律(图 8)。经过近 17 年的演变,天山北麓、伊犁地区北部、塔城地区以及巴音郭楞蒙古自治州等地土地经济结构安全状况得到改善,而南疆的阿克苏地区、和田地区、北疆的阿勒泰地区以及哈密地区等地土地经济结构安全状况有所恶化。中巴经济走廊的建设在一定程度上推动了土地经济结构的改善。

土地生态安全空间格局 2017 年与 2005 年相比有一定的改善(图 9)。到 2017 年,土地生态安全区和临

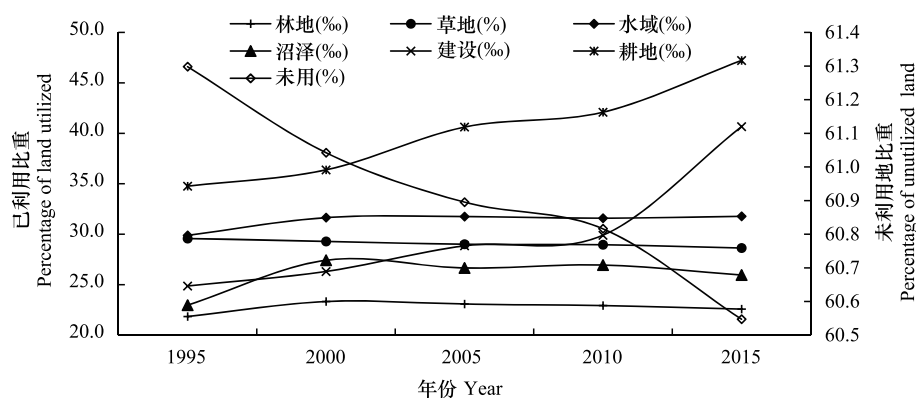


图7 土地利用数量结构

Fig.7 Land use quantity structure

图中已利用地比重包括耕地、林地、草地、水域、沼泽、建设等六种地类比重;图中未利用地比重仅包括未用一种地类比重

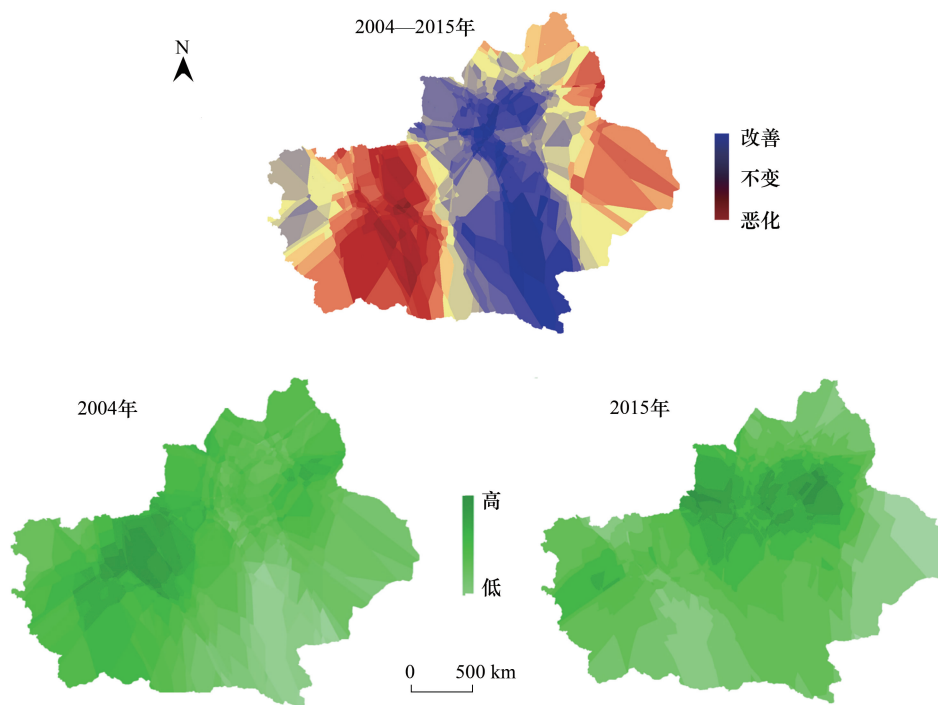


图8 土地利用经济结构

Fig.8 Land use economic structure

界安全区面积较 2005 年都有不同程度的增加。北疆古尔班通古特沙漠周围的临界安全区面积增加最明显, 增加比例高达 11.24%;新疆伊犁地区及昆仑山和阿尔泰山部分区域的安全区面积增加 4.06%。土地生态较安全区、较不安全区及不安全区面积呈现不同程度的下降。沙漠周围的较不安全区面积减少最大, 下降比例高达 9.16%;天山山脉、阿尔泰山山脉区、塔城地区及部分昆仑山山前平原的较安全区面积下降 4.98%;南疆塔克拉玛干沙漠及吐鲁番、哈密等地区的不安全区面积下降 1.15%。

新疆土地生态安全总体水平不断提高。土地生态系统安全指数由 2004 年的 0.76 上升到 2017 年 0.94 (图 2), 安全等级呈现出“不安全→较不安全→临界安全→较安全”的发展趋势。土地生态安全空间变异系数近 13 年持续上升(图 9), 由 2004 年的 0.51 上升为 2017 年的 0.84, 其中 2009 年到 2014 年期间最快增加了 0.29。2014 年以后进入了相对稳定时期, 在 0.84 周围微幅波动上涨。这说明新疆 85 个县市土地生态安全

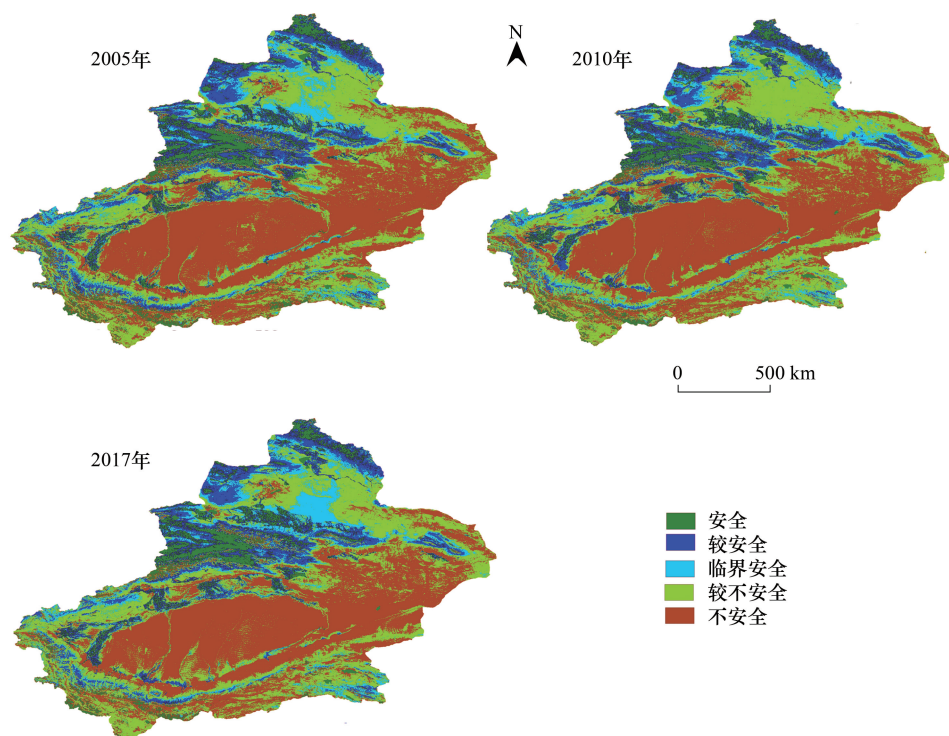


图9 土地生态安全核密度估算结果

Fig.9 Kernel density estimation results of land ecological security

状况逐渐趋于均衡化,土地生态安全区域差异逐渐缩小。

2020 年新疆土地生态安全状况将得到进一步优化(图 10)。与 2017 年的土地生态安全状况对比发现,天山山脉、阿尔泰山山脉区及塔城地区 0.8% 的较安全区将转变为安全区,而临界安全区面积 1.6% 的增加主要来自北疆准噶尔盆地的较不安全区和南疆塔里木盆地周围的不安全区。预测结果显示 2017 年以后新疆的土地生态安全空间变异系数微弱上升(图 11),有 2017 年的 0.84 增长为 2020 年的 0.85。该结果说明新疆的土地生态安全空间差异将进一步缩小。

4 讨论

相比于张月^[34]等人基于土地利用/覆盖变化构建的景观生态风险评价、邵玲^[35]等人基于土地利用总体规划的生态足迹评价以及黄晓东^[1]、洪惠坤^[36]仅以基于统计数据的突变级数法为技术支撑的评价,本研究综合构建了以核密度估算法及克里金空间插值为技术支撑,基于突变级数法的土地生态安全评价指标体系,并探索性的采用空间变异系数法及灰色预测模型对新疆生态安全进行评价,更加全面考虑了自然、人文和社会评价因子,突出了空间数据的优势,充分发挥出核密度估算法在土地生态安全评价方面提高评价空间识别精度的优势。同时土地的土地生态安全评价是一项影响因子繁多的复杂系统工程^[37]。由于空间数据仅为基于 1Km 的局限性,另外限于研究区土地整治项目数据的收集,本文在构建指标体系的时候没能加入与土地整理及土地生态整治方面的因子,在后续工作特别是土地

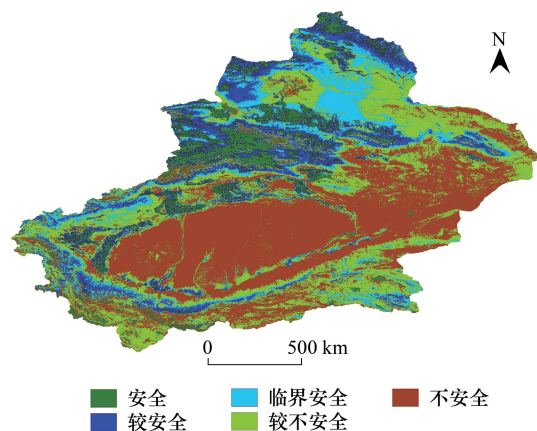


图 10 2020 年土地生态安全估算结果

Fig.10 Estimation results of land ecological security in 2020

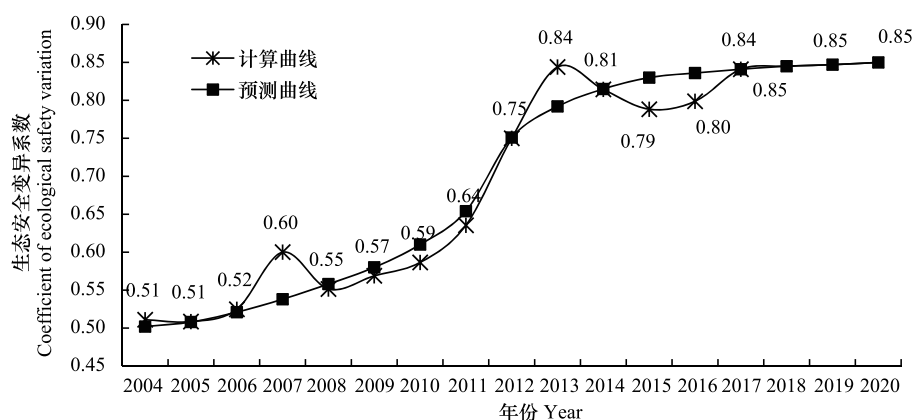


图 11 土地生态安全空间变异系数

Fig.11 Spatial coefficient of variation of land ecological security

生态安全预测预警研究中,可以在尽量考虑研究区土地整理及土地生态整治政策的同时以不同尺度的数据,对土地生态安全评价进行一个多尺度长期的预测性研究。

研究显示近 15 年来新疆土地生态安全状况之间得到改善,各区域土地生态安全趋向于空间协调发展。究其原因,黄晓东^[1]等学者认为随着各县第三产业 GDP 贡献率增加,且工业三废负荷指数一直在降低,在一定程度上对于减轻土地污染,延缓土地退化起到积极作用。张月^[34]等学者认为新疆土地利用结构的不断优化是导致土地生态安全状况得到改善的最直接因素。本文分析发现近 15 年新疆各级政府均不断加大的环境治理的投资力度、机械化程度的逐渐增高以及土地产出能力的增强也是使得该地区土地生态安全水平得到提高的重要原因。受国务院 2006 年 12 月通过的《西部大开发“十一五”规划》的影响,导致 2007 年土地生态系统健康出现下降。但是由于人们的惜土意识日益高涨,2016 年水土流失防治面积增加为 926.15 千公顷,盐碱治理面积增加为 856.62 千 hm^2 。经济的发展使得政府调控能力增强,当地政府不断加大对环境治理的投资力度,其中环境污染治理投资占 GDP 比重这一指标到 2016 年增加近两倍。北疆经济发展相对较好地区环境治理力度的增加很大程度上促进了环境质量的改善。南疆经济发展相对落后土地粮食产出不足的地区机械化程度的逐渐增高,农林牧副渔产值逐年升高,反映出土地产出能力的增强。这些因素都会促进新疆各区域土地生态安全趋向于空间协调发展。

然而人口密度的持续增加导致的对土地资源需求量的持续增加破坏了土地系统动态平衡的持续性,同时由于占新疆近 30% 面积的草地的持续减少引起了土地生态功能退化,也不利于土地生态系统的可持续发展。城镇化和工业化进程中建筑用地占用的耕地、林地及草地量不断增加^[38],不合理的土地利用结构必然导致土地生态功能下降。农用地年化肥施用量到 2016 年也激增到了 248.09 万 t,这也是 2005 年以后土地生态安全指数增长缓慢的原因。

受限于新疆干旱环境的土地生态安全仍然处于较低水平,新疆土地生态安全状况仍需改善。因此,建议自治区内大中型城市应通过高度集约土地利用、控制人口增长、建设多功能生态产业,满足城市人群需求;小型城市结合自身发展情况,坚持生态优先,按照城市内空间功能与特色的差异性,因地制宜的调整产业结构,保障生态用地;农村地区应当合理规划土地用途,优化土地利用结构,严格按照土地利用总体规划执行土地用途管制。同时加强乡村规划,推进新农村建设,提高土地的集约节约利用。在未利用地方面,保障湖泊水面、河流水面、滩涂、苇地、沼泽地、沟渠等生态用地不被占用,控制每年未利用地的减少量。对于生态保护发展区,应深入开展土地利用生态规划并深入挖掘本地地区的资源优势,着重发展生态旅游和沙漠特色生态农业。

5 结论

(1) 新疆土地生态安全总体水平不断提高。土地生态系统安全指数由 2004 年的 0.76 上升到 2017 年 0.

94,安全等级经历了“不安全→较不安全→临界安全→较安全”的发展趋势。

(2)新疆各县市土地生态安全不均衡性得到改善,空间差异性缩小。新疆土地生态安全空间变异系数近15年由2004年的0.51上升为2017年的0.84,呈持续上升趋势,其中2009年到2014年期间最快增加了0.29。

(3)自然资源分布不均、社会经济发展对未利用地以及草地的大量占用以及区域内人口的急剧增加可能是新疆土地生态安全面临的主要问题。占新疆近30%面积的草地持续减少以及城镇化和工业化进程中占用生态用地势必导致土地生态功能下降。

(4)经灰色模型预测到2020年新疆土地生态安全将进一步得到改善,土地生态安全空间差异将进一步缩小。空间上安全区将增加4.06%,临界安全区将增加11.24%;较安全区将下降4.98%,较不安全区将下降9.16%,不安全区将下降1.15%。

参考文献(References):

- [1] 黄晓东. 新疆土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- [2] 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. 水土保持通报, 2013, 33(6): 175-180.
- [3] Wang H, Long H L, Li X B, Yu F. Evaluation of changes in ecological security in China's Qinghai Lake Basin from 2000 to 2013 and the relationship to land use and climate change. Environmental Earth Sciences, 2014, 72(2): 341-354.
- [4] Zhang J S, Gao J Q. Lake ecological security assessment based on SSWSSC framework from 2005 to 2013 in an interior lake basin, China. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(10): 888.
- [5] Li X B, Tian M R, Wang H, Wang H, Yu J J. Development of an ecological security evaluation method based on the ecological footprint and application to a typical steppe region in China. Ecological Indicators, 2014, 39: 153-159.
- [6] Zhou K H, Liu Y L, Tan R H, Song Y. Urban dynamics, landscape ecological security, and policy implications: a case study from the Wuhan area of central China. Cities, 2014, 41: 141-153.
- [7] 李强, 刘云庆, 陈望香, 王兴磊, 周晓花, 冯伟莹. 新疆地表水体重金属生态风险评估. 中国环境科学, 2018, 38(5): 1913-1922.
- [8] Xu X B, Yang G S, Tan Y, Zhuang Q L, Li H P, Wan R R, Su W Z, Zhang J. Ecological risk assessment of ecosystem services in the Taihu Lake Basin of China from 1985 to 2020. Science of the Total Environment, 2016, 554-555: 7-16.
- [9] 于潇, 吴克宁, 郇文聚, 魏洪斌, 刘玲, 宋英赫, 高星. 三江平原现代农业区景观生态安全时空分异分析. 农业工程学报, 2016, 32(8): 253-259.
- [10] 李彩惠, 霍海鹰, 李雅洁, 侯玮. 基于突变级数模型的城市低碳竞争力评价及障碍因子诊断分析. 资源科学, 2015, 37(7): 1474-1481.
- [11] 秦伟霞, 王新闯, 马守臣, 张合兵, 陈宁丽, 宋香平. 基于功能分区的土地生态质量障碍因子诊断——以新乡市为例. 水土保持研究, 2015, 22(4): 148-154.
- [12] 周磊, 黄秋昊. 基于灰色关联 TOPSIS 的城市土地效益评价及障碍因子诊断. 水土保持研究, 2014, 21(4): 39-44.
- [13] 李春燕, 南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断. 中国土地科学, 2015, 29(4): 72-81.
- [14] 王鹏, 况福民, 邓育武, 田亚平, 易锋. 基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价. 经济地理, 2015, 35(1): 168-172.
- [15] 张宇, 游和远. 基于 P-S-R 的土地资源生态环境安全评价——以湖北省为例. 生态经济, 2015, 31(8): 125-128.
- [16] 李明月, 赖笑娟. 基于 BP 神经网络方法的城市土地生态安全评价——以广州市为例. 经济地理, 2011, 31(2): 289-293.
- [17] Huang L, Yan L J, Wu J G. Assessing urban sustainability of Chinese megacities: 35 years after the economic reform and open-door policy. Landscape and Urban Planning, 2016, 145: 57-70.
- [18] 刘莎莎. 新疆植被覆盖变化及其对气候的敏感性分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017: 3-5.
- [19] 刘凌冰. 甘肃省土地生态安全评价研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014: 2-6.
- [20] 秦晓楠, 卢小丽, 武春友. 国内生态安全研究知识图谱——基于 Citespace 的计量分析. 生态学报, 2014, 34(13): 3693-3703.
- [21] 李鹏山, 吕雅慧, 张超, 郇文聚, 杨建宇, 朱德海. 基于核密度估计的京津冀地区耕地破碎化分析. 农业机械学报, 2016, 47(5): 281-287.
- [22] 李黎, 王会豪, 任平. 基于核密度估算的都江堰耕地破碎化趋势及特征分析. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2017, 30(1): 72-76.
- [23] Han B L, Liu H X, Wang R S. Urban ecological security assessment for cities in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region based on fuzzy and entropy methods. Ecological Modelling, 2015, 318: 217-225.
- [24] 谢余初, 巩杰, 张玲玲. 基于 PSR 模型的白龙江流域景观生态安全时空变化. 地理科学, 2015, 35(6): 790-797.
- [25] 潘竞虎, 刘晓. 疏勒河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建. 生态学杂志, 2016, 35(3): 791-799.

- [26] 孟祥凤,王冬艳,李红.东北老工业城市建设占用耕地驱动力分析. 农业工程学报, 2018, 34(11): 225-233.
- [27] 于海洋, 张飞, 曹雷, 王娟, 杨胜天. 基于乡镇尺度的土地生态安全时空格局评价研究——以博尔塔拉蒙古自治州为例. 生态学报, 2017, 37(19): 6355-6369.
- [28] 胡源. 武汉市耕地资源安全评价研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014: 31-55.
- [29] 邓维强. 基于 DPSIR 模型的罗平县耕地资源安全评价研究[D]. 昆明: 云南大学, 2015.
- [30] 赵杰, 刘雪佳, 杜自强, 武志涛, 徐小明. 昼夜增温速率的不对称性对新疆地区植被动态的影响. 中国环境科学, 2017, 37(6): 2316-2321.
- [31] 高原. 基于遥感的新疆 NPP 时空变化特征及其影响因素分析[D]. 兰州: 西北师范大学, 2015.
- [32] 李魁明, 帅红, 姚罗兰. 基于物元模型的岳阳市土地生态安全评价. 湖南农业科学, 2013, (21): 44-48.
- [33] 邓文叶, 贾尔恒·阿哈提, 魏明娜, 马俊英, 牛婷, 祝婕, 蔺尾燕, 都伟新. 新疆准噶尔盆地南缘一次典型沙尘污染特征分析. 新疆环境保护, 2017, 39(02): 1-6, 17-17.
- [34] 张月, 张飞, 王娟, 任岩, Ghulam A, Kung H. 基于 LUCC 的艾比湖区域生态风险评价及预测研究. 中国环境科学, 2016, 36(11): 3465-3474.
- [35] 邵玲. 新疆土地利用总体规划的生态足迹评价研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2011.
- [36] 洪惠坤, 廖和平, 魏朝富, 李涛, 谢德体. 基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价. 生态学报, 2015, 35(24): 8016-8027.
- [37] 高星. 耕地质量等级提升的土地整治项目设计关键技术研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2016.
- [38] 王波, 王夏晖, 张笑千. “山水林田湖草生命共同体”的内涵、特征与实践路径——以承德市为例. 环境保护, 2018, 46(7): 60-63.