

基于增强型植被指数序列和景观格局分析的松嫩平原盐碱地动态

—以大安市为例*

刘世梁^{1**} 董玉红² 安南南¹ 王军³ 赵海迪¹

(¹ 北京师范大学水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875; ² 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; ³ 国土资源部土地整理中心, 北京 100812)

摘要 吉林省西部是我国盐碱化严重的地区之一, 盐碱地动态变化与监测受到关注。基于盐碱化典型区大安市 2000、2005 和 2010 年 TM 影像解译获取的土地利用数据与 2000—2012 年增强型植被指数 (EVI) 的序列数据, 结合传统景观格局方法分析盐碱地的动态变化, 并通过灰色关联方法分析盐碱地动态变化的主要驱动因子。结果表明: 2000—2010 年, 大安市主要景观类型为耕地、草地和盐碱地, 其中, 盐碱地和耕地面积呈增加趋势, 草地呈减少趋势, 盐碱地面积的增加主要来源于草地、沼泽和水域, 盐碱地呈现出连通性和聚集度增加的特征。大安市年际 EVI 呈增长趋势, 年均 EVI 空间分布差异明显, 盐碱地 EVI 值低于其他景观类型, 2000—2012 年植被覆盖改善的面积稍高于植被退化的面积, 景观类型转化影响了 EVI 的变化趋势。盐碱地景观演变是自然因素与人为因素共同作用的结果, 人类活动干扰对土地盐碱化的影响大于气候因子。

关键词 大安市 增强型植被指数 (EVI) 景观格局 盐碱地

文章编号 中图分类号 Q149 **文献标识码** A

Dynamics of salinization land based on EVI series data and landscape pattern analysis in Songnen Plain: A case study in Da'an City. LIU Shi-liang¹, DONG Yu-hong², AN Nan-nan¹, WANG Jun³, ZHAO Hai-di¹ (¹*State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; ²*Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*; ³*Land Consolidation and Rehabilitation Center of Land and Resources Ministry, Beijing 100812, China*)

Abstract: The west part of Jilin Province is one of the most salinization regions in China and much attention was paid to the dynamics and monitoring of the salinization land. Based on the land use data derived from TM images in 2000, 2005 and 2010 and the enhanced vegetation index (EVI) series data from 2000 to 2012 of Da'an City as a typical salinization region, we used landscape pattern analysis to elucidate the dynamics of salinization land, and used gray incidence method to analyze the main driving factors for the dynamics of land salinization. The results showed that the dominant land use types in Da'an were cultivated land, grassland and salinization land. From 2000 to 2010, the area of salinization land and construction land showed an increasing trend, while that of grassland tended to decrease. Salinization land, which showed increased connectivity and integrity, was mainly transformed from grassland land, swamp land and water area. Annual EVI values in Da'an City showed an overall increasing trend while the average values showed obvious spatial differences with the lowest EVI level in salinization land. From 2000 to 2012, the increment of vegetation cover area was larger than that of the degraded area. Landscape transformation affected the changing trends of EVI. Both natural factors and human

*国土资源部土地整治重点实验室开放课题(20140137)和国家自然科学基金项目(41171152)资助。

**通讯作者. E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

2014-03-07 收稿, 2014-07-23 接受。

activities affected the dynamics of salinization land, and human activities showed a greater impact on land salinization than climate factors.

Key words: Da'an City; enhanced vegetation index (EVI); landscape pattern; saline-alkali land.

土地盐碱化是当今世界土地荒漠化和农业生态环境退化的主要问题之一。目前,中国盐碱地面积为 $3630\times10^4\text{ hm}^2$ ^[1]。松嫩平原是我国土地次生盐碱化最严重的地区之一,土地次生盐碱化迅速发展^[2]。其盐碱化土地占土地总面积的20%,其中,以吉林省盐碱地扩展最明显,盐碱地面积最大^[3]。大尺度上土壤盐碱化的动态及其驱动力分析主要包括以下几个关键科学问题:土壤盐碱化信息提取、演变特征、格局分析与驱动力分析。在信息提取方面,遥感数据是提取盐碱化信息的有效手段^[4-5],主要用来监测盐碱化土地的变化^[6]、结合其他手段提取盐渍化信息^[7]、根据遥感光谱技术建立不同盐碱地类型的遥感解译标志^[8]。

植被指数是用于反映地表植被覆盖变化的有效参数,归一化植被指数(NDVI)是目前国内外应用比较广泛的植被指数,NDVI的时空变化特征可反映植被覆盖状况以及生态环境变化的趋势。NDVI被用来推断作物及土壤盐碱分布,在土地盐碱化研究上得到广泛应用^[9-10],但NDVI在大气纠正、低植被覆盖区土壤背景影响处理等方面存在不足^[11]。增强植被指数(enhanced vegetation index, EVI)是对NDVI的集成和改进,与NDVI相比,EVI提高了对高生物区植被的敏感度,能比较真实地反映植被的生长变化过程,更能反映研究区域内植被空间差异^[12]。目前,EVI被应用于土地覆盖动态分析^[13]、生态系统初级生产力^[14]、土地利用分类及动态分析^[15]等方面的研究。

景观格局指数常被用来描述景观格局及其动态变化,其在土地利用变化分析^[16]、土地生态安全评价^[17]、土壤侵蚀的景观格局变化^[18]方面的应用较多,但其在土壤盐碱化分布方面的报道相对较少^[3,19]。通过景观指数分析盐碱地的景观格局变化,选取恰当的格局指数,对分析盐碱化土地景观格局变化、揭示土壤盐碱化空间格局变化与驱动力分析具有重要意义。

大安市具有松嫩平原西部低洼易涝与风沙瘠薄的土地特征,是典型的生态环境脆弱区,是吉林省西部盐碱化严重的典型区域。本文以遥感数据为基础数据源,结合景观生态学理论,分析了大安市1990、2000、2010年的大安市景观格局与EVI动态变化、盐碱地EVI与景观格局变化以及盐碱地景观格局变化的驱动力,以期为土地资源及生态环境管理及应用提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

大安市($44^{\circ}57'00''$ — $45^{\circ}45'51''$ N, $123^{\circ}08'45''$ — $124^{\circ}21'56''$ E)位于吉林省西北部,为松嫩平原西部低平原区,是生态环境脆弱地区,总面积 4879 km^2 。该区属中温带大陆性季风气候,降水时空分布不均,常造成旱涝灾害,旱灾为大安市的主要自然灾害之一。全年平均日照时数3012.8 h,年均气温 4.3°C ,年均积温 2921.3°C ,年均降水量413.7 mm,年均蒸发量1749 mm。大安市是吉林省西部土壤盐碱化比较严重的地区之一,该区土地盐碱化程度严重且分布较集中(图1),重度盐碱地面积占总盐碱地面积的60.3%^[8],1954—2000年,大安市盐碱地面积共增加 $7.14\times10^4\text{ hm}^2$ ^[20]。

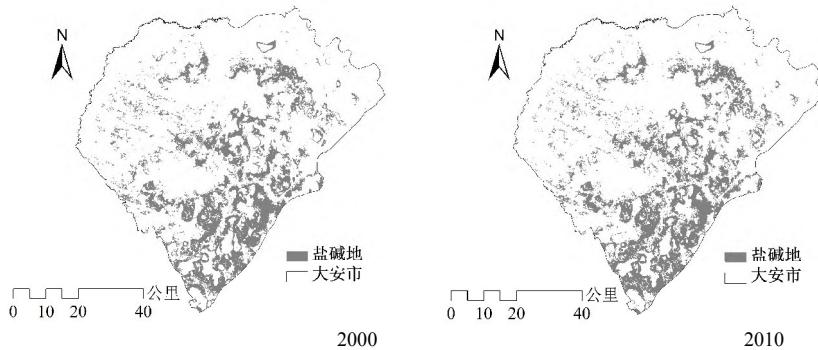


图1 2000和2010年大安市(A)盐碱地(B)分布

Fig.1 Distribution of salinization land (B) of Da'an City (A) in 2000 and 2010.

1.2 数据来源

本研究中的景观类型数据来源于2000、2005和2010年3期TM遥感影像解译的土地利用图，依据全国土地利用现状分类系统，将大安市景观类型划分为耕地、林地、草地、建设用地、沼泽和盐碱地7类景观类型。

本研究所使用的EVI数据源于2000—2012年NASA USGS提供的MOD13Q1数据，共299期，是采用Sinusoidal投影方式的3级网格数据产品，数据空间分辨率为1 km，MODIS-EVI的合成算法提高了选择小视角最佳像元的机会^[11]。

1.3 EVI最大值合成法

利用最大值合成法(MVC)^[21]对EVI进行合成，生成月EVI数据和年EVI数据，利用ArcGIS中Zonal Statistics对不同景观类型EVI进行统计。

1.4 变化趋势分析

一元线性回归分析可模拟每个栅格的变化趋势，利用多年EVI数据，通过每个栅格EVI的变化趋势来分析植被变化。线性趋势系数采用最小二乘法获得^[22]，其计算公式为：

$$SLOPE = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times EVI_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n EVI_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}$$

式中：变量*i*为1~13的年序号；*EVI_i*表示第*i*年的EVI值；*SLOPE*为趋势线的斜率，*SLOPE*>0说明EVI呈增加趋势，反之则是减少。

1.5 景观变化及景观指数分析

根据大安市2000、2005、2010年土地利用数据，得到该区3个时期的景观分布图，经过统计和计算得到不同景观的面积以及2000—2010年的景观面积转移矩阵。利用Fragstats 3.3软件计算盐碱地的景观格局指数，景观指数选取斑块密度(PD)、平均斑块面积(AREA_MN)、最大斑块类型指数(LPI)、分维数(FRAC)、斑块结合度(COHESION)、分离度(SPLIT)和聚集度(AI)。

2 结果与分析

2.1 大安市景观格局动态变化

由表1可以看出，2000—2010年，耕地为大安市最主要的景观类型，占大安市总面积的39%，其次为盐碱地和草地，占大安市总面积的19%和18%。2000—2010年，大安市盐碱地、建设用地、耕地、沼泽和林地面积呈增加趋势，而水域、草地面积呈减少趋势。其中，盐碱地的面积年增长率约0.4%。

表 1 2000—2010 年大安市不同景观类型面积的变化

Table 1 Area change of different landscape types in Da'an City from 2000 to 2010 (hm²)

景观类型	2000	2005	2010
Landscape type			
建设用地 Construction land	9276	10112	10246
耕地 Cultivated land	188868	189726	194758
水域 Water area	36621	32949	29565
盐碱地 Salinization land	93883	96415	97210
草地 Grassland	93078	91691	88542
沼泽 Swamp land	25633	25911	25965
林地 Forest land	40273	40828	41347

2000—2010 年, 研究区草地、沼泽和水域转化为盐碱地的面积最大, 转化为盐碱地的比率分别为 4.4%、8.7% 和 4.4%。期间, 在发生新盐碱化的同时, 有一部分盐碱地也转变成其他景观类型, 盐碱地转变为草地和耕地的比率为 2.1% 和 1.2% (表 2)。2000—2005、2005—2010 年, 研究区各种类型景观的变化转移趋势相近, 盐碱地面积转移主要由草地、沼泽与水体转化而来, 并呈逐步增加趋势。

表 2 大安市 2000—2010 年不同景观类型面积转移矩阵

Table 2 Area transfer matrix of different landscape types from 2000 to 2010 in Da'an City (hm²)

2000 年景观类型		2010 年景观类型 Landscape type in 2010						
Landscape type in 2000		沼泽	草地	耕地	建设用地	林地	水域	盐碱地
		Swamp	Grassland	Cultivated	Construction	Forest	Water	Salinization land
		land		land	land	land	area	
沼泽 Swamp land	19962		1528	1251	54	24	577	2236
草地 Grassland	499		83376	4706	307	12	66	4113
耕地 Cultivated land	469		498	193287	609	67	553	574
建设用地 Construction land	1		1	4	9268	0	1	1
林地 Forest land	35		125	220	1	39865	18	8
水域 Water area	4709		1039	2734	2	635	19020	1294
盐碱地 Salinization land	289		1976	1120	5	744	766	88983

由表 3 可以看出, 2000—2010 年, 研究区盐碱地斑块密度先增加后减小; 平均斑块面积和最大斑块指数增加, 体现了盐碱地面积的增加; 分维数先增加后减小, 表明斑块形状的变化由复杂到规则的变化; 斑块结合度增加, 反映景观中斑块的空间联系程度增加; 分离度减小; 聚集度先减小后增加; 聚集度增加和分离度的下降表明盐碱地由小斑块变为大斑。期间, 2010 年盐碱地平均斑块面积和最大斑块指数最大, 分维数和分离度最小, 斑块结合度和聚集度最大, 表明 2010 年盐碱地大斑块增加, 空间联系程度增大。

表 3 大安市不同时期盐碱地景观格局指数

Table 3 Landscape indices of salinization land of Da'an City in different stages

年份	斑块密度	平均斑块	最大斑块	分维数	斑块结合	分离度	聚合度
Year	PD	面积	指数	FRAC	指数	SPLIT	AI
	(n·km ⁻²)	AREA_MN	LPI		COHESION		
		(hm)	(%)				
2000	0.361	53.41	6.87	1.1010	99.49	194.08	92.96
2005	0.379	53.62	7.06	1.1013	99.52	178.47	92.84
2010	0.359	55.52	7.56	1.1008	99.55	155.40	93.08

2.2 大安市 EVI 的动态变化

2000—2012 年, 大安市 EVI 年际变化波动较大, 整体呈增长趋势。大安市月 EVI 随季节的变化趋势比较明显, 月均 EVI 值为 0.10~0.36, 1 月 EVI 值最小, 随后逐渐上升, 5 月开始快速增加, 到 7 月达最大值, 此后逐渐下降 (图 2)。

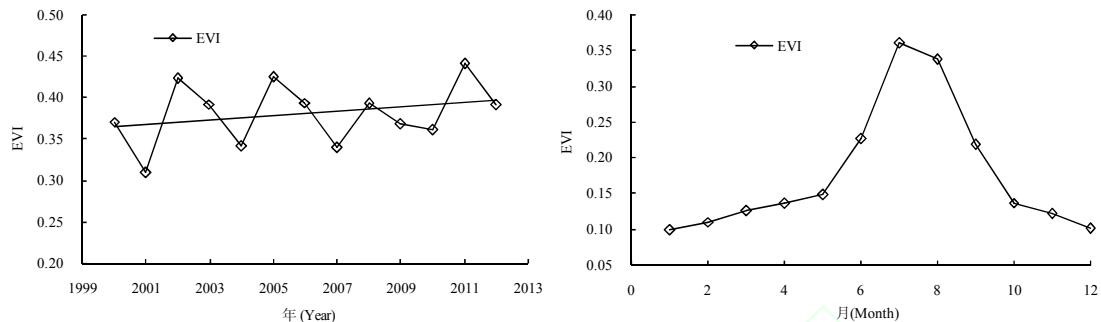


图 2 大安市 EVI 年际变化和月变化

Fig. 2 Annual and monthly variations of EVI in Da'an City.

由图 3 可以看出, 2000—2012 年, 大安市 EVI<0.33 的区域大部分位于中部和南部, 盐碱地分布连续面积较大的区域的年均 EVI 值较低。其中, 耕地、草地、水域、建设用地、盐碱地、林地和沼泽的年均 EVI 值分别为 0.44、0.35、0.25、0.41、0.28、0.42 和 0.36, 水域和盐碱地的 EVI 值最低。

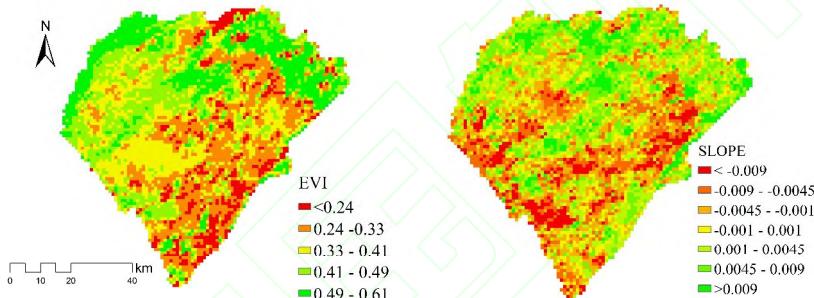


图 3 大安市多年 EVI 平均值以及 EVI 变化

Fig.3 Average EVI and its change trend in Da'an City.

基于一元线性回归分析大安市 EVI 的变化趋势(图 3), 负值表示植被退化区域, 正值表示植被改善区域, 结果表明, 区域内 EVI 变化趋势空间分布差异比较明显。由表 4 可以看出, 大安市 2000—2012 年植被覆盖整体得到改善的面积稍高于植被退化的面积, 其中得到改善的区域约占总面积的 45.8%, 退化的区域约占总面积的 41.0%。

表4 大安市EVI变化趋势及其面积

Table 4 Variation trends of EVI and relative areas in Da'an City

变化趋势 Variation trend	变化程度 Variation level	面积 Area (km ²)	面积比例 Area percentage (%)
$Slope \leq -0.009$	重度退化 Severe degrade	365.58	7.5
$-0.009 < Slope \leq -0.0045$	中度退化 Medium degrade	710.58	14.6
$-0.0045 < Slope \leq -0.001$	轻度退化 Light degrade	925.23	19.0
$-0.001 < Slope \leq 0.001$	基本不变 Basic unchanged	641.97	13.2

No change			
0.001< <i>Slope</i> ≤0.0045	轻度改善	1046.76	21.5
Light improvement			
0.0045< <i>Slope</i> ≤0.009	中度改善	807.61	16.6
Medium improvement			
<i>Slope</i> >0.009	明显改善	381.26	7.8
Obvious improvement			

由图4可以看出,盐碱地转化为旱地、水域、草地、沼泽和林地的区域的SLOPE值分别为0.0011、-0.0027、0.0014、0.0002、0.0012,其他景观类型转化为盐碱地的区域的SLOPE值分别为0.00009、0.0033、-0.0022、-0.0043、-0.0057。说明盐碱地转化为其他景观类型的区域的植被覆盖都呈改善趋势,而其他类型转变为盐碱地后植被覆盖呈降低趋势。

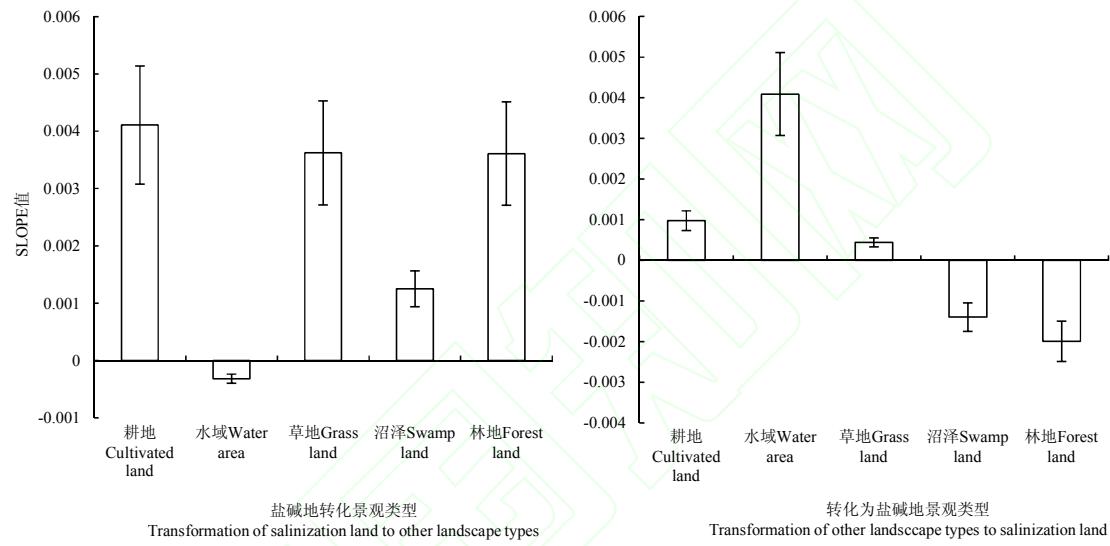


图4 盐碱地景观演变与SLOPE值的关系

Fig. 4 Relationship between landscape transformation and SLOPE.

2.3 大安市盐碱地变化的驱动力

气候因素是影响盐碱地动态变化的一个重要因素。盐碱化的形成主要是由于地形低洼积盐,在地表缺乏植被的情况下,气候干旱导致盐分集聚于地表^[23]。有研究表明,1954—2000年,大安市盐碱地面积年均增长率达到1.9%,1954—1975年和1996年—2000年是大安市盐碱地面积快速增长的两个时期,前一时期主要与气候有关,后一时期一方面受气候的影响,另一方面与人类干扰强度的增强有关^[20]。2000—2010年盐碱地面积增加较少,年均增长率达0.4%,这一时期年均气温整体呈下降趋势,年降水量呈上升趋势(图5)。

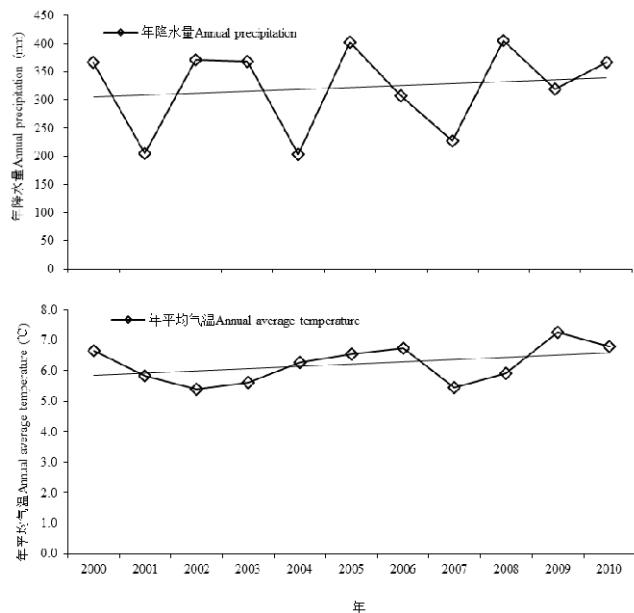


图5 大安市年平均气温和年降水量的变化

Fig. 5 Variations of annual mean temperature and annual precipitation in Da'an City.

人类活动是影响土地盐碱化动态变化的一个关键因素。人类活动影响土地利用模式和区域水文过程，从而影响土壤盐碱化过程，不合理的耕作、水分和土地资源利用是导致次生盐渍化的主要因子^[24]。2000—2010年，大安市不同景观类型中草地转化为盐碱地的面积最大，其次是沼泽和水域，草地、沼泽和水域的景观变化影响了盐碱地的分布状况，表明人们对土地利用方式的影响是导致大安市盐碱地面积增加和空间分布变化的一个重要因素。

选择与土地盐碱化过程直接相关的自然和人类活动因素[包括盐碱地面积、年平均气温、年降水量、总人口数、农业机械总动力、化肥用量、牲畜存栏数量(大牲口存栏数量和羊存栏数量之和)、有效灌溉面积] (表5)，通过灰色相关分析寻求盐碱化土地景观动态变化的主要驱动因子。得到盐碱地面积和上述因子的灰色关联系数分别为0.7975、0.8300、0.9615、0.5895、0.8634、0.8639和0.9300，表明研究区土地盐碱化动态是人类活动和自然因素共同作用的结果，人类活动包括对水肥资源的应用以及养殖对盐碱地动态变化的影响高于气候因子的影响。

表5 影响大安市土地盐碱化过程的重要因素

Table 5 Main factors affecting the salinization land in Da'an City

年份 Year	盐碱地面积 Salinization (hm ²)	年平均气温 Annual temperature (°C)	年降水量 Annual precipitation (mm)	总人口 Total (×10 ⁴)	农业机械总动力 Total power of agriculture (×10 ⁴ KW)	化肥用量 Amount of fertilizer (t)	牲畜存栏数量 Livestock herds (×10 ⁴)	有效灌溉面积 Effective irrigation area (×10 ³ hm ²)
2000	93883	5.05	279.6	258266	21.7	53938	265025	54.5
2005	96415	5.23	330.5	262198	42.1	53380	364286	49.63
2010	97210	4.425	386.1	279795	53	77149	258713	53.63

3 讨论

毁草开荒、大面积开垦等土地利用措施造成草场退化严重、盐碱地面积不断扩大^[25]。耕地、草地和盐碱地是大安市主要的景观类型，2000—2010年，大安市景观类型的变化表现为盐碱地、建设用地、耕地、沼泽和林地面积呈增加趋势，水域、草地面积呈减少趋势，2010年盐碱地面积的增加主要来源于草地、沼泽和水域；景观格局指数分析表明，盐碱地

景观边缘趋于规则化，景观聚合度增加，空间联系程度增强。人类土地利用活动对大安市土地盐碱化的影响，主要表现为人们对草地和沼泽的开发以及对水资源的利用。

植被作为土壤的保护层，影响着盐碱地的变化，植被退化是土壤盐渍化形成与演化的直接原因，地表无植被覆盖对土壤的水平和垂直积盐影响很大^[26]。2000—2012年，大安市EVI空间分布差异明显，盐碱地连续分布地区的EVI值低，盐碱地EVI值低于其他景观类型，一元线性回归分析分析结果表明，大安市EVI变化趋势的空间分布差异明显，植被覆盖改善面积稍高于植被退化面积，盐碱地和其他景观类型的转变影响了EVI的变化趋势。

土壤盐碱化的形成是由于自然和人为因素的综合作用所致，人为因素是短期内次生盐渍化的主要因素^[24]。大安市盐碱地动态变化受气候因素和人类活动因素的综合影响，年均气温和年降水量影响盐碱地的变化，人类活动通过调整土地利用结构影响盐碱地的分布。人类活动的影响成为土地盐碱化的关键驱动力，气候因子是土地盐碱化的另一重要因子。

参考文献

- [1] Yu Z-R (宇振荣), Wang J-W (王建武). Land salinization in China and the prevention counter measures. *Rural Eco-Environment* (农村生态环境), 2007, **13**(3): 1-5 (in Chinese)
- [2] Li Q-S (李取生), Qiu S-W (裘善文), Deng W (邓伟). Study on the secondary saline-alkalization of land in Songnen Plain. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 1998, **18**(3): 268-272 (in Chinese)
- [3] Zhang S-W (张树文), Yang J-C (杨久春), Li Y (李颖), et al. Changes of saline-alkali land in Northeast China and its causes since the mid-1950s. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2010, **25**(3): 435-440 (in Chinese)
- [4] Guan Y-X (关元秀), Liu G-H (刘高焕). A review of regional soil salinization monitoring by remote sensing. *Remote Sensing Technology and Application* (遥感技术与应用), 2001, **16**(1): 40-44 (in Chinese)
- [5] Kang Q (亢庆), Yu R (于嵘), Zhang Z-X (张增祥), et al. Advances in study on remote sensing application of soil salinization. *Remote Sensing Technology and Application* (遥感技术与应用), 2005, **20**(4): 447-454 (in Chinese)
- [6] Han H (韩惠), Feng Z-D (冯兆东), E Y-H (俄有浩), et al. Study on the saline soil changes using TM in Minqin Oasis, Northwest China. *Journal of Lanzhou University (Natural Science)* (兰州大学学报·自然科学版), 2006, **42**(4): 1-6 (in Chinese)
- [7] Tashpolat T (塔西甫拉提·特依拜), Zhang F (张飞), Zhao R (赵睿), et al. Selected methods and empirical analysis of extracting salinization information in the arid area of Xinjiang. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2007, **38**(4): 625-630 (in Chinese)
- [8] Wu H-S (吴会胜), Liu Z-L (刘兆礼). Remote sensing and mapping of saline sodic land based on spectral characteristics for Da'an City. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture* (农业系统科学与综合研究), 2007, **23**(2): 178-183 (in Chinese)
- [9] Huo D-M (霍东民), Zhang J-X (张景雄), Sun J-B (孙家炳). Using the CBERS-1 satellite data to study the thematic information extraction of saline dryland. *Remote Sensing for Land & Resources* (国土资源遥感), 2001, **13**(2): 48-52 (in Chinese)
- [10] Xu D (许迪), Wang S-L (王少丽), Cai G-L (蔡林根), et al. Applied study on identification of crops and salinity distribution by NDVI index. *Journal of Irrigation and Drainage* (灌溉排水学报), 2003, **22**(6): 5-8 (in Chinese)
- [11] Wang Z-X (王正兴), Liu C (刘闯), Huete A. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: Advances in vegetation index research. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, **23**(5): 979-987 (in Chinese)
- [12] Li H-J (李红军), Zheng L (郑力), Lei Y-P (雷玉平), et al. Comparison of NDVI and EVI based on EOS/MODIS data. *Progress in Geography* (地理科学进展), 2007, **26**(1): 26-32 (in Chinese)

- [13] Jin WB, Xue L, Xiong QX. Dynamic analysis of land cover in four-lake area of Jianghan Plain based on MODIS-EVI time series data. *Asian Agricultural Research*, 2012, **4**: 44-48
- [14] Sjöström M, Ardö J, Arneth A, et al. Exploring the potential of MODIS EVI for modeling gross primary production across African ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 2011, **115**: 1081-1089
- [15] Zhang X, Sun R, Zhang BD, et al. Land cover classification of the North China Plain using MODIS-EVI time series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2008, **63**: 476-484
- [16] Jia K-L (贾科利), Yao Y-L (姚玉玲), Guo Z-J (郭占军), et al. Landuse change and its environmental effect in ecologically vulnerable area: A case study in arid area of central Ningxia Hui Autonomous Region. *Bulletin of Soil and Water Conservation* (水土保持通报), 2011, **31**(6): 218-223 (in Chinese)
- [17] Wang J (王 娟), Cui B-S (崔保山), Yao H-R (姚华荣), et al. The temporal and spatial characteristic of landscape ecological security at Lancang River Watershed of longitudinal range gorge region in Southwest China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(4): 1681-1690 (in Chinese)
- [18] Shi Y-F (史云飞), Zhang L-L (张玲玲). Dynamic changes of landscape pattern of soil erosion intensity in hilly area of central-south Shandong Province, China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2012, **31**(8): 2059-2065 (in Chinese)
- [19] Bao C-H (包春红), Xu L-S (许林书), Wu Y-J (吴运军), et al. The landscape change of salt and alkaline land in semi-arid district before and after flooding: A case study in Zhenlai County. *Resources Science* (资源科学), 2007, **29**(4): 92-96 (in Chinese)
- [20] Li X-Y (李晓燕), Zhang S-W (张树文). Tempo-spatial dynamics and driving factors of saline alkali land in Da'an City of Jilin Province. *Resources Science* (资源科学), 2005, **27**(3): 92-97 (in Chinese)
- [21] Fan N (范 娜), Xie G-D (谢高地), Zhang C-S (张昌顺), et al. Spatial-temporal dynamic changes of vegetation cover in Lancang River Basin during 2001-2010. *Resources Science* (资源科学), 2012, **34**(7): 1222-1231 (in Chinese)
- [22] Qiu H-J (邱海军), Cao M-M (曹明月). Spatial and temporal variations in vegetation cover in China based on SPOT vegetation data. *Resources Science* (资源科学), 2011, **35**(2): 335-340 (in Chinese)
- [23] Zhang B (张 柏). The background features of natural environment and the harnessing pattern for the spread of saline land in the Songnen Plain. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 1993, **13**(2): 138-145 (in Chinese)
- [24] Hong W, Wang YH, Fan H, et al. The research of soil salinization human impact based on remote sensing classification in oasis irrigation area. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, **10**: 2399-2405
- [25] He Y-F (何艳芬), Zhang B (张 柏), Ma C-Q (马超群). Study on dynamic change of land sali-alkalization in Songnen Plain: A case study in Nong'an County. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2004, **18**(3): 146-150 (in Chinese)
- [26] Fang H-J (方华军), Yang X-M (杨学明), Zhang X-P (张晓平). Grey incidence analysis of saline-alkali in Songnen Plain due to stress of human activities. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2003, **17**(2): 65-70 (in Chinese)

作者简介 刘世梁,男,1976年,副教授。主要从事景观生态学、土壤学研究。E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

责任编辑 杨 弘