

# 松嫩平原盐碱化反演及其动态变化过程

花锦溪, 臧淑英, 那晓东

(哈尔滨师范大学 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150025)

**摘要:** [目的] 监测 2000—2013 年来松嫩平原盐碱地时空演变过程, 为松嫩平原盐碱地防治提供理论依据。[方法] 以 MODIS 影像为主要数据源, 结合野外实测样点建立回归模型, 对松嫩平原土壤含盐量进行定量反演。将整个研究时期分为 3 个时段: 时段 1 (2000—2004 年), 时段 2 (2004—2008 年), 时段 3 (2008—2013 年)。[结果] 时段 1 和时段 2 盐碱地面积增加, 增加速度为 5 109.75 和 2 240.62 km<sup>2</sup>/a, 同时盐碱化程度加剧; 以 2008 年为转折点, 时段 3 盐碱地面积减少, 主要是轻度盐碱地的减少, 但是盐碱化程度仍在加剧。[结论] 松嫩平原的盐碱化趋势不容乐观, 应该采取紧急措施防止盐碱化程度进一步恶化, 保护松嫩平原的生态环境健康发展。

**关键词:** 松嫩平原; 盐碱化; 反演; 动态变化

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)01-0155-06

**中图分类号:** TP75, X171

**文献参数:** 花锦溪, 臧淑英, 那晓东. 松嫩平原盐碱化反演及其动态变化过程[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 155-160. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.028; Hua Jinxi, Zang Shuying, Na Xiaodong. Retrieval of soil salinization process and its dynamic change in Songnen Plain[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 155-160. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.028

## Retrieval of Soil Salinization Process and Its Dynamic Change in Songnen Plain

HUA Jinxi<sup>1</sup>, ZANG Shuying<sup>1</sup>, NA Xiaodong<sup>1</sup>

(Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment,

College of Heilongjiang Province, Harbin Normal University, Harbin, Heilongjiang 150025, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of the study is to monitor the spatio-temporal evolution of saline soil in Songnen Plain and provide a theoretical basis for the prevention and treatment of saline soil in this region. [Methods] We established a regression model based on MODIS images and the field measured samples to retrieve soil salt content on Songnen Plain quantitatively. Study period can be divided into three sub-periods: period one(2000—2004), period two(2004—2008) and period three(2008—2013). [Results] The area of saline-alkali land increased and salinization was becoming worse in period one and two, and the rate of increase reached 5 109.75 km<sup>2</sup>/a and 2 240.62 km<sup>2</sup>/a respectively. After the turning point in 2008, the area of saline-alkali land(mainly the light saline-alkali land) decreased in period three, but the salinization degree was still growing. [Conclusion] Songnen Plain salinization is not optimistic, we should take emergent measures to prevent the further salinization and to ensure the healthy development of eco-environment of Songnen Plain.

**Keywords:** Songnen Plain; salinization; retrieve; dynamic change

土壤盐碱化是指由于自然和人为因素土壤发生盐化、碱化, 抑制了农作物正常生长, 导致土壤肥力下降、农作物产量下降, 许多土地撂荒, 也使得畜牧力下降, 严重制约经济和社会的发展。松嫩平原是中国最

收稿日期: 2016-03-22

修回日期: 2016-09-13

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“气候变暖背景下东北多年冻土退化对温室气体排放的影响”(41571199); 黑龙江省自然科学基金(D201409); 国家自然科学基金青年项目(41001243); 黑龙江省普通高校青年骨干学术项目(1253G034); 哈尔滨师范大学硕士研究生创新基金重点项目(HSDSSCX2015-11)

第一作者: 花锦溪(1991—), 女(汉族), 山西省太原市人, 硕士研究生, 研究方向为生态环境遥感应用研究。E-mail: huajinxil21@163.com。

通讯作者: 臧淑英(1963—), 女(汉族), 黑龙江省哈尔滨市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事 LUCC 与 3S 综合应用研究。E-mail: zsy6311@163.com。

大的苏打盐碱土分布区<sup>[1]</sup>,盐碱地面积占到中国盐碱地的 9.2%<sup>[2]</sup>,并且有些地方盐碱地面积还在不断增加。因此对该区域盐碱化土地的监测尤为重要,可为相关部门进行盐碱地的治理提供决策支持。遥感技术以其具有宏观、快速、省时、省经费的优点<sup>[3]</sup>,为大面积实时动态监测盐碱土状况提供了可能<sup>[4]</sup>,在盐碱地的监测中发挥了重要作用。Dehaan R. L. 等<sup>[5-6]</sup>对 5 种盐生植物的光谱进行了归一化处理,发现可见光和近红外波段能够将盐生植物与一般植物区别开。Taylor 等<sup>[7]</sup>基于雷达影像提取盐渍土,发现 L 波段能够较好的区分盐渍土和非盐渍土。张恒云等<sup>[8]</sup>基于 NOAA/AVHRR 数据,分析了海滨地区盐渍土的分布。刘庆生等<sup>[9]</sup>基于资源 1 号卫星数据与高分辨率全色数据,进行了 HIS/PCA 变换,评估了不同级别盐渍土状况。塔西甫拉提<sup>[10]</sup>基于 TM 数据,依据盐碱地地区主要地物光谱特征建立决策树提取盐渍地信息。许迪<sup>[11]</sup>基于 LANDSAT 卫星数据,利用监督分类、NDVI 指数等方法,对宁夏铜峡灌区作物进行了识别,并分析了土壤盐碱分布。陈实等<sup>[12]</sup>基于 Landsat 8 OLI 遥感影像,结合野外实测样点构建神经网络得到新疆石河子农垦区的土壤含盐量,精度为 66%。

总的来说,以往的研究具有重要的指导意义,但多是小尺度范围的研究,鲜有大尺度研究;多是对盐碱土进行定性研究,很少有定量的研究。本文拟以松嫩平原为研究区,对能表征土样盐分信息的土壤电导率 EC 值和 MODIS 影像光谱反射率进行相关分析,逐步回归建立统计模型,推算整个松嫩平原的土壤含盐量,基于决策树分类将盐碱地分为轻度盐碱地、中度盐碱地、重度盐碱地。通过 4 期反演数据分析近年来松嫩平原盐碱地的空间分布、面积变化、程度变化和重心转移。

## 1 研究区概况

松嫩平原位于黑龙江省西南部和吉林省西北部,地理坐标为 119°45′—129°36′E,42°50′—49°18′N,行政区划主要包括黑龙江省的 35 个县和吉林省的 20 个县,总面积约  $2.38 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。本区地处半干旱—半湿润的交错地带,属于典型的温带大陆性气候,年平均降水量为 400~500 mm,集中在夏季,并且由东南向西北递减,年平均蒸发量为 1 250~1 650 mm,蒸发量大而降水少使得气候干旱。松嫩平原是由松花江和嫩江冲积而成的平原,海拔 150~200 m,地势低洼,排水不畅,为土壤积盐提供了地形条件。

## 2 研究方法

### 2.1 数据源与处理

2013 年 11 月和 2015 年 4 月 2 次对松嫩平原盐碱地进行野外采样。采样点选取土壤表层 0—20 cm 的土壤,并将土样编号用 GPS 精确定位。为了保证采样的精确性,采用五点取法,取一个中间样点并在其四周以 20 m 为间隔采取 4 个样点,保证样点的均匀性和代表性。在实验室对所采土样进行风干、研磨,测定土壤电导率 (electrical conductivity,  $E_c$ ,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 值、pH 值。共采得 120 个样点。剔除受到降水等因素影响的 15 个样点,其余样点对中间样点和周围的 4 个样点取平均值,得到 21 个有效值(表 1),其中 11 个点用来建模,剩下的 10 个点用来验证。

表 1 实测数据野外实测样点含盐量

经度(E)	纬度(N)	实测 $E_c/(\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$
124.540 027 8	47.254 527 78	451.76
124.559 888 9	47.325 666 67	928.45
125.462 833 3	47.403 083 33	230.55
125.375 472 2	47.294 972 22	650.21
125.190 944 4	47.396 750 00	241.35
124.810 972 2	47.341 000 00	92.31
124.537 166 7	47.257 444 44	732.33
125.462 805 6	47.404 916 67	351.87
125.374 000 0	47.295 027 78	209.34
125.187 722 2	47.403 527 78	234.35
123.101 400 0	45.141 866 67	1 068.44
124.459 320 0	47.473 550 00	748.69
122.571 750 0	45.371 361 00	1 293.14
124.979 370 0	45.996 070 00	754.89
125.253 600 0	46.303 330 00	1 056.00
123.238 240 0	46.022 620 00	3 285.00
123.980 278 0	45.594 167 00	1 091.93
123.944 444 0	45.587 556 00	839.45
123.716 500 0	45.457 639 00	1 132.50
123.230 210 0	45.727 450 00	485.39
123.423 730 0	45.949 050 00	525.20

### 2.2 遥感数据

本研究采用的数据源来自 NASA 提供的 MODIS (Moderate-resolution imaging spectroradiometer) 卫星植被指数产品 MOD13Q1。空间分辨率为 250 m。它有全球免费、光谱范围广、数据接收简单、更新频率高等优点,特别是在大尺度研究中显现出优势。MODIS 数据不仅在监测全球地表覆盖变化、全球生产力、气候变化、生态环境和自然灾害等方

面具有重要意义,还在海洋、陆地、云层、大气温度等方面广泛应用<sup>[13]</sup>。

根据松嫩平原地理位置,选取轨道号为 H26 V04 和 H27 V04 的 MODIS Q1 遥感影像。根据实际采样点的时间,选取 2000 年第 145 d,2004 年第 145 d,2008 年第 145 d,2013 年第 145 d 的 MODIS NDVI 16 d 合成数据,共 8 景遥感影像。这个时期地表一般没有积雪覆盖,植被较少,盐碱土完全裸露,确保从影像中得到的是裸土的光谱信息。

此类产品属于 MODIS 的 4 级遥感影像数据,已经经过了辐射校正和几何校正,在此基础上还需要进行重要的预处理。利用 MRT 对 MODIS 数据进行批处理,输出 red,blue,NIR,MIR 波段,投影为 Albers equal area(双标准纬线等积圆锥投影),利用松嫩平原矢量边界对得到的影像掩膜处理,提取出松嫩平原的范围。由于受到外界环境与传感器成像的影响,对影像进行高斯低通滤波去噪,提高反演准确性。

### 2.3 分析方法

基于国内外研究与实测盐碱土光谱特征分析,盐碱土在可见光、近红外及中红外波段比较敏感,随着盐碱化程度的加重光谱反射率愈强,是确定盐碱化程度的最佳波段。因此,本文选取 MODIS 影像的蓝光、红光、近红外和中红外波段为反演波段。

2.3.1 相关分析 相关分析是对土壤含盐量与反射率关系的描述,采用 Pearson 相关系数<sup>[14]</sup>找到相关性最强的波段。其公式为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中: $r$ ——相关系数; $n$ ——样本数; $x_i$ 和 $y_i$ ——反射率值与 $E_c$ 值; $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ ——反射率的平均值和 $E_c$ 值的平均值。

对实测采样点 $E_c$ 值与对应点各波段的反射率值进行相关分析,结果表明 $E_c$ 值与蓝光、红光波段的反射率值在 0.01 水平显著相关,相关系数达到 0.856,0.727,而近红外、中红外相关性较低。

本研究还尝试对蓝光、红光、近红外、中红外波段反射率的几种变换形式(倒数、对数、对数的倒数)与含盐量进行相关分析,蓝光波段反射率的变换形式与土壤 $E_c$ 值均在 0.01 水平显著相关,但是相关系数却有所降低;红光波段反射率的变换形式在 0.05 水平与土壤 $E_c$ 值显著相关,显著性降低相关系数也降低;近红外、中红外波段反射率的变换形式与土壤 $E_c$ 值的相关性均不显著。表明基于蓝光、红光波段的反

射率值与 $E_c$ 值进行建模是最优的。

2.3.2 逐步回归分析 逐步回归<sup>[2]</sup>是将变量逐个引入方程,并进行统计检验,当引入的变量变得不再显著时,将其剔除。反复进行,直到无法选入也无法剔除,即所得的仅包含显著变量,建立最优方程。

数学模型为:

$$Y = A + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_m X_m \quad (2)$$

利用 $n = (i = 1, 2, 3, \dots, m)$ 组观测值( $X_{11}, X_{21}, \dots, X_{m1}$ )及最小二乘原理求出上式待定系数 $B_1, B_2, \dots, B_m$ 。

参考上面的相关分析,选取蓝光波段、红光波段的反射率值与土壤电导率 $E_c$ 值进行逐步回归分析。建立回归模型:

$$Y = -534.603 + 1.39 \times B_{1\text{blue}} \quad (3)$$

式中: $B_{1\text{blue}}$ ——MODIS 影像蓝光波段的反射率值; $Y$ ——能表征土壤盐分信息的电导率 $E_c$ 值( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )。

模型的 $R^2$ 为 73.5%,验证精度达到 71.43%,表明该模型具有一定的可靠性和准确性。

2.3.3 决策树分类 决策树分类是人们为了做出某种决策而进行的一系列判断过程,它由一个根结点、一系列内部结点和终极结点组成。一个结点只有一个父结点和 2 个或多个子结点。每个子结点代表一种分类属性,对应于遥感影像的分类即为不同类别的光谱、纹理等特征,每个终极结点代表一种地物类型。

参考 Shi 等<sup>[15]</sup>对盐分土壤的分类标准及松嫩平原盐碱土特征,按照 $E_c$ 值将盐碱地分为轻度盐碱地(660~1 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )、中度盐碱地(1 360~2 040  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )和重度盐碱地(>2 040  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )。

## 3 结果与分析

### 3.1 空间分布

根据逐步回归,建立模型,推算整个松嫩平原土壤盐碱化状况,得到松嫩平原土壤盐碱程度反演结果。松嫩平原盐碱化土地主要分布在平原的西部地区,被嫩江和松花江分割成南北 2 大片,并且西南重于东北。南片以吉林省大安、乾安、长岭、通榆、镇赉、前郭、松原等县市为集中分布区;北片以黑龙江省杜尔伯特蒙古族自治县、大庆、肇源、肇州、齐齐哈尔等市县为集中分布区。轻度盐碱地成片分布,在盐碱地中所占比重最多,从轻度到重度盐碱地面积逐渐减少。重度盐碱地多分布在江、河边沿或者城镇周边地区,还存在许多盐碱化程度相当高的碱泡。中度盐碱地多分布在重度盐碱地周围呈现同心圆状。

### 3.2 面积变化

依据松嫩平原盐碱化反演结果图,对松嫩平原不

同类型盐碱化土地的面积进行汇总分析(表 1)。总体上看,2000—2013 年松嫩平原除重度盐碱地面积有所增长外,轻度和中度盐碱地减少,总盐碱化土地面积减少。从 15 165.57 km<sup>2</sup>减少到 12 941.5 km<sup>2</sup>,平均每年减少 158.86 km<sup>2</sup>。整个松嫩平原盐碱化土

地面积占区域国土面积的比例由 7.02% 减少到 6.04%。轻度、中度盐碱地分别减少了 1 446.25, 1 146.25 km<sup>2</sup>,重度盐碱地增加了 28.27 km<sup>2</sup>,增幅达到 36.87%。从行政区域看,乾安县、通榆县、长岭县等地盐碱化面积最大,占到全县国土面积的 40% 以上。

表 1 2000—2013 年松嫩平原不同类型盐碱化土地面积

km<sup>2</sup>

年份	轻度盐碱地面积	中度盐碱地面积	重度盐碱地面积	非盐碱地面积	总盐碱地面积
2000	1 337.69	76.69	215 943.57	15 165.57	15 165.57
2004	845.19	399.50	215 935.89	20 275.32	20 275.32
2008	1 284.38	254.00	215 935.88	22 515.94	22 515.94
2013	191.44	444.25	214 186.75	12 941.50	12 941.50

时段 1 盐碱地面积迅速增加,以 1 277.44 km<sup>2</sup>/a 的速率增加,其中轻度盐碱地增加幅度最大,净增加 5 279.44 km<sup>2</sup>,在盐碱化土地中所占的比例增加了 3.2%,中度盐碱地减少 492.5 km<sup>2</sup>,重度盐碱地增加了 322.81 km<sup>2</sup>。时段 2 盐碱化土地面积仍在增加,轻度、中度盐碱地分别增加了 1 946.93,439.19 km<sup>2</sup>,重度盐碱地略有减少,在盐碱化土地中降低了 0.8%。时段 3 盐碱化土地面积迅速减少,主要是由于轻度、中度盐碱化土地面积的减少,特别是轻度盐碱化土地减少速度达到 1 734.35 km<sup>2</sup>/a,但是在这一时期重度盐碱地仍在增加。说明 2008 年以后松嫩平原全面禁牧及“中国北方盐碱地节水灌溉水盐调控机

理及治理开发技术研究与示范”项目启动<sup>[16]</sup>等一系列盐碱地治理措施的采取,使盐碱地面积有所减少,特别是盐碱化程度较轻的土地得到了有效控制。

### 3.3 程度变化

利用 ArcGIS 区域面积统计模块对得到的 4 期盐碱化数据进行分析,得到 2000—2013 年松嫩平原不同类型盐碱化土地转移矩阵(表 2)。

近 13 a 来松嫩平原盐碱地格局发生了明显的改变,3 个时段呈现出时段性特征,总体上盐碱化程度有所恶化。乾安县和杜尔伯特蒙古族自治县土壤盐碱化程度最严重,重度盐碱地面积达到 93.75 和 63 km<sup>2</sup>。

表 2 2000—2013 年松嫩平原不同类型盐碱化土地转移矩阵

km<sup>2</sup>

时段	类型	非盐碱地面积	轻度盐碱地面积	中度盐碱地面积	重度盐碱地面积
时段 1	非盐碱地	188 109.81	11 801.81	541.38	311.38
	轻度盐碱地	7 001.94	6 408.94	253.63	86.69
	中度盐碱地	511.81	777.38	47.13	1.38
	重度盐碱地	31.06	42.50	3.06	0.06
时段 2	非盐碱地	187 678.88	7 658.81	192.06	131.50
	轻度盐碱地	5 419.44	12 814.38	720.13	76.69
	中度盐碱地	65.75	482.44	275.56	21.44
时段 3	非盐碱地	188 185.31	3 192.19	80.88	223.25
	轻度盐碱地	12 595.19	8 305.88	36.06	30.25
	中度盐碱地	346.81	745.63	57.31	134.38
	重度盐碱地	117.94	62.13	17.19	56.38

时段 1 轻度盐碱地和重度盐碱地明显增加,增量为 5 279.44,322.81 km<sup>2</sup>;中度盐碱地有所减少,减少量为 492.50 km<sup>2</sup>。盐碱化发展的速度和面积远大于逆化的速度和面积,12 654.57 km<sup>2</sup>的非盐碱地转化为盐碱地,盐碱地范围扩张。轻度盐碱地的增加主要来自于非盐碱地,面积为 4 799.87 km<sup>2</sup>,占轻度盐碱地增加的 91%,非盐碱地发展为轻度盐碱地的面积

远大于轻度盐碱地逆转为非盐碱地的面积;中度盐碱地与非盐碱地、重度盐碱地的转化基本保持平衡,有少部分转化为轻度盐碱地;重度盐碱地的增加主要来源于非盐碱地和轻度盐碱地,面积为 311.38,86.69 km<sup>2</sup>。总体来说,该时段研究区盐碱地总面积增加,盐碱化程度加剧。时段 2 轻度盐碱地持续增加,主要来源于非盐碱地,面积为 7 658.81 km<sup>2</sup>,而轻度盐碱

地到非盐碱地的面积只有 5 419.44 km<sup>2</sup>,非盐碱地发展为轻度盐碱地的面积大于其逆向转化。轻度盐碱地发展为中度盐碱地的面积为 720.13 km<sup>2</sup>,占到中度盐碱地的 56%。盐碱化发展的总面积为 12 996.27 km<sup>2</sup>,远大于逆向转化的面积 8 367.75 km<sup>2</sup>。这一时段松嫩平原盐碱化程度加重。时段 3 中 2008 年是一个重大的转折点,轻度、中度盐碱地出现了大幅度逆转,盐碱地逆转为非盐碱地的面积达到时段 2 的 2 倍多,但是重度盐碱地仍在增加,主要来自于非盐碱地和中度盐碱地。这是由于 2008 年以来采取的一系列措施取得了一定成效,特别是对盐碱化程度较轻的土地使其逆转,轻度盐碱地面积迅速减少,但是对于一部分盐碱化程度较高的其盐碱度仍在恶化,有待进一步制定一系列新政策加强治理。

### 3.4 重心转移

为了进一步了解盐碱化土地的空间动态变化,基于 ArcGIS 平台,利用重心迁移模型<sup>[17]</sup>计算不同类型盐碱化土地的重心坐标,其原理与地理学中的人口分布重心相似,数学模型为:

$$X_{tm} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} \times X_{mi})}{\sum_{i=1}^n C_{mi}} \quad (4)$$

$$Y_{tm} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} \times Y_{mi})}{\sum_{i=1}^n C_{mi}} \quad (5)$$

式中:  $X_{tm}$ ,  $Y_{tm}$  ——第  $t$  年  $m$  类型盐碱地重心的经、纬度坐标;  $n$  ——第  $t$  年  $m$  类型盐碱地的斑块数;  $X_{mi}$ ,  $Y_{mi}$  —— $m$  类型盐碱地第  $i$  个斑块的几何中心经、纬度坐标;  $C_{mi}$  ——第  $t$  年  $m$  类型盐碱地第  $i$  个斑块的面积。

本研究将盐碱地分为 3 个类型,不同类型的重心赋以不同的权重值:轻度盐碱地重心权重值为 0.2,中度盐碱地重心权重值为 0.3,重度盐碱地重心权重值为 0.5。第  $t$  年的盐碱化重心的经纬度即为:

$$X_t = 0.2X_{t1} + 0.3X_{t2} + 0.5X_{t3} \quad (6)$$

$$Y_t = 0.2Y_{t1} + 0.3Y_{t2} + 0.5Y_{t3} \quad (7)$$

式中:  $X_t$ ,  $Y_t$  ——第  $t$  年盐碱化重心的经、纬度坐标;  $X_{t1}$ ,  $X_{t2}$ ,  $X_{t3}$  ——第  $t$  年轻、中、重度盐碱地重心的经度坐标;  $Y_{t1}$ ,  $Y_{t2}$ ,  $Y_{t3}$  ——第  $t$  年轻、中、重度盐碱地重心的纬度坐标。

盐碱地重心的迁移距离表明了盐碱地在其变化方向的幅度<sup>[18]</sup>,一般计算公式为:

$$D_{s-k} = C \times [(Y_s - Y_k)^2 + (X_s - X_k)^2]^{1/2} \quad (8)$$

式中:  $s, k$  ——2 个不同的年份;  $D_{s-k}$  —— $s$  和  $k$  在 2 a 间盐碱地重心迁移距离;  $X_s$ ,  $Y_s$  —— $s$  年盐碱地重心的经、纬度坐标;  $X_k$ ,  $Y_k$  —— $k$  年某类型盐碱地重心的经、纬度坐标;  $C$  ——把经纬度换算成平面坐标

(km)的系数,其值为 111.111。

通过上式计算得到 3 个时段松嫩平原盐碱地重心变化。盐碱化土地的重心分布与松嫩平原实际盐碱化土地的空间分布完全一致,说明盐碱化土地重心变化能够说明盐碱化土地的空间变化。近 13 a 来,松嫩平原盐碱地重心比较稳定,集中在吉林省的大安、通榆一带,总体向东北方向迁移。时段 1 盐碱地重心均位于大安县境内,迁移距离为 33.29 km;时段 2 重心向东北方向迁移至通榆县,迁移距离增大,达到 43.80 km;时段 3 重心又向西南方向折回,迁移距为 20.12 km。时段 1 和时段 2 盐碱地面积增大,盐碱化程度加剧,从西南向东北方向扩张,时段 3 大量盐碱化较轻的土地得到了一定治理,该时段盐碱化程度有所缓和,呈现向西南方向的收缩趋势。

## 4 讨论与结论

本研究以松嫩平原为研究区,基于 MODIS 影像可见光、近红外、中红外波段的反射率值及其变换形式(反射率的倒数、对数、对数的倒数)与野外采样点 EC 值进行相关分析,结果表明蓝光波段和红光波段的反射率值与 EC 值显著相关且相关性最高,进一步进行逐步回归分析,建立模型  $Y = -534.603 + 13890.717 \times B1_{blue}$ ,  $R^2$  为 73.5%,验证精度达到 71.43%。根据模型反演出整个松嫩平原的盐碱土盐分含量,将其划分为 3 个等级:轻度盐碱地、中度盐碱地和重度盐碱地。结果表明,松嫩平原的盐碱地主要分布在平原的西南地区。2000,2004,2008 和 2013 年松嫩平原盐碱地面积为 15 165.57,20 275.32,22 515.94,12 941.5 km<sup>2</sup>。3 个时段中,时段 1 和时段 2 盐碱地面积均增加且盐碱化程度不断加剧,时段 3 盐碱地面积减少但是盐碱化程度仍在加剧。盐碱化重心比较稳定,无明显迁移。本研究首次利用 MODIS 数据对近年来松嫩平原的盐碱化状况进行宏观、定量研究,结果具有一定的可信度,达到监测近年松嫩平原盐碱地动态变化的目的。

本研究存在的不足之处是进行线性回归建模,非线性模型的预测精度可能会有所提高。另一方面,由于松嫩平原面积较大,未能覆盖全区域。

### [参 考 文 献]

- [1] 马驰. 松辽平原土地盐碱化监测机理及方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- [2] 李秀军. 松嫩平原西部土地盐碱化与农业可持续发展[J]. 地理科学, 2000, 20(1): 51-55.
- [3] 马驰. 基于 HJ1 A-HIS 反演松嫩平原土壤盐分含量[J]. 干旱区研究, 2014, 21(2): 226-230.

- [4] 关元秀,刘高焕. 区域土壤盐渍化遥感监测研究综述[J]. 遥感技术与应用,2001,16(1):40-44.
- [5] Dehaan R L, Taylor G R. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil-salinization[J]. Remote Sensing of Environment, 2002,63(2):406-417.
- [6] Kirkby S D. Integrating a GIS with an expert system to identify and manage dryland salinization[J]. Applied Geograph, 1996,16(4):289-303.
- [7] Taylor G R, Mah A H, Kruse F A, et al. Characterization of saline soils using airborne radar imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 1996,57(3):127-142.
- [8] 张恒云,尚淑招. NOAA/AVNRR 资料在监测土壤盐渍化程度中的应用[J]. 遥感信息,1992,10(1):24-26.
- [9] 刘庆生,骆剑承,刘高焕. 资源一号卫星数据在黄河三角洲地区的应用潜力初探[J]. 地球信息科学,2000,2(2):56-57.
- [10] 何祺胜,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽. 基于决策树方法的干旱区盐渍地信息提取研究:以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J]. 资源科学,2006,28(6):134-140.
- [11] 许迪,王少丽,蔡林根,等. 利用 NDVI 指数识别作物及土壤盐碱分布的应用研究[J]. 灌溉排水学报,2003,22(6):5-8,32.
- [12] 陈实,高超,徐斌,等. 新疆石河子农区土壤含盐量定量反演及其空间格局分析[J]. 地理研究,2014,33(11):2135-2144.
- [13] 林年丰,汤洁,斯嵩,等. 松嫩平原荒漠化的 EOS-MODIS 数据研究[J]. 第四纪研究,2006,26(2):265-273.
- [14] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系:基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报,1998,2(3):204-210.
- [15] Shi Z, Li Y, Wang R C, et al. Assessment of temporal and spatial variability of soil salinity in a coastal saline field[J]. Environmental Geology, 2005,48(2):171-178.
- [16] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等. 盐碱地可持续利用研究综述[J]. 地理学报,2011,66(5):673-684.
- [17] 陈建军,张树文,陈静,等. 大庆市土地盐碱化遥感监测与动态分析[J]. 干旱区资源与环境,2003,17(4):101-107.
- [18] 卢远,林年丰,汤洁,等. 松嫩平原西部土地退化的遥感动态监测研究:以吉林省通榆县为例[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(2):24-27.

(上接第 154 页)

- [2] Braimoh A K, Vlek P L G. Land-Cover Dynamics in an Urban Area of Ghana[J]. Earth Interactions, 2004, 8(1):2688-2691.
- [3] 卜坤,张树文,张宇博. 基于 IDL 的栅格地图代数实现与应用[J]. 计算机工程与应用,2008,44(9):174-176.
- [4] 石忆邵,吴婕. 上海城乡经济多样化测度方法及其演变特征[J]. 经济地理,2015,35(2):7-13.
- [5] 霍明明,张轶莹,陈伟强. 基于 CA-Markov 的土地利用变化及预测研究:以巩义市鲁庄镇为例[J]. 中国农学通报,2015,31(12):279-284.
- [6] 余德贵,吴群. 基于碳排放约束的土地利用结构优化模型研究及其应用[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(8):911-917.
- [7] 肖翔,李扬帆,朱晓东. 基于土地利用驱动力的马尔科夫模型及其应用[J]. 土壤,2011,43(5):822-827.
- [8] Ching W K, Ng M K, Ching W. Markov Chains: Models, Algorithms and Applications (International Series in Operations Research & Management Science)[M]. New York: Springer-Verlag Incorporated Inc., 2006.
- [9] 刘慧璋,郭青霞,王曰鑫,等. 基于 Markov 的山西岔口小流域土地利用变化预测[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2012,32(1):53-57.
- [10] 刘飞跃,万哨凯. 吉安市土地利用变化的驱动因素分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(9):4738-4740.
- [11] 欧聪,张坤. 城市土地利用结构演变分析及其驱动机制研究:以长沙市为例[J]. 上海国土资源,2015,36(3):39-43.
- [12] 陈志刚,曲福田,韩立,等. 工业化、城镇化进程中的农村土地问题:特征、诱因与解决路径[J]. 经济体制改革,2010(5):93-98.
- [13] 邢容容,马安青,张小伟,等. 基于 Logistic-CA-Markov 模型的青岛市土地利用变化动态模拟[J]. 水土保持研究,2014,21(6):111-114.
- [14] 居玲华,石培基. 基于 Markov 和 GM(1,1)模型的土地利用结构预测[J]. 农业系统科学与综合研究,2009,25(2):138-141.
- [15] Cabral P, Zamyatin A. Markov processes in modeling land use and land cover changes in Sintra-Cascais, Portugal[J]. DYNA, 2009,76(158):191-198.