

松嫩平原土地盐碱化时空动态变化及影响因素分析

王露露^{1,2}, 王天亮³, 高斌², 贺怀震³, 丁晓雯¹, 侯保灯^{2*}

(1.华北电力大学 环境科学与工程学院, 北京 102206; 2.中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 3.黑龙江省水利水电勘测设计研究院, 哈尔滨 150080)

摘要:【目的】探究黑龙江省松嫩平原土地盐碱化时空动态变化及其影响因素。【方法】利用遥感数据解译、土壤反射率反演、相关分析和相对贡献率分析研究松嫩平原土地盐碱化面积的时空演化特征并识别土地盐碱化面积变化的主要影响因素。【结果】松嫩平原 2000—2020 年土地盐碱化面积总体呈下降趋势, 下降速率为 $-13.67 \text{ km}^2/5 \text{ a}$ 。随着农作物播种面积与 GDP 的增加, 齐齐哈尔市土地盐碱化程度加剧; GDP、农作物播种面积和人口数量增多加剧了绥化市盐碱化程度; 哈尔滨市土地盐碱化正逐步改善, 主要影响因素为 GDP、农作物播种面积和牲畜数量。【结论】松嫩平原土地盐碱化面积变化主要促进因素为社会经济发展、农牧业发展, 直接影响因素为气候变化, 在盐碱地改良与治理过程中, 应针对以上因素提出有针对性的治理措施, 减少盐碱化土地面积, 提高土地利用效率; 同时地下水埋深呈缓慢上升趋势, 因此应建立完备的灌溉和排水设施, 以避免土壤次生盐碱化。

关键词: 土地盐碱化; 时空变化; 遥感解译; 松嫩平原; 影响因素

中图分类号: P237

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2022339

OSID:



王露露, 王天亮, 高斌, 等. 松嫩平原土地盐碱化时空动态变化及影响因素分析[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(4): 108-115.

WANG Lulu, WANG Tianliang, GAO Bin, et al. Spatiotemporal Dynamics of Soil Salinity and Its Determinants in Songnen Plain[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(4): 108-115.

0 引言

【研究意义】土地盐碱化是世界公认的土地退化特征之一, 限制了多数国家的农业可持续发展^[1]。据统计, 全球受盐碱化影响的土地面积约为 955 万 km^2 , 次生盐碱化土地面积约为 77 万 km^2 , 超过的盐碱地为灌溉区^[2]。我国是盐碱地面积较大的国家之一, 盐碱地总面积约为 36 万 km^2 , 广泛分布于我国东北和西北地区, 其中盐碱化耕地面积约占全国耕地总面积的 7%, 严重限制了土地资源利用与农业发展^[3]。因此, 探究盐碱化成因与主要影响因素对区域盐碱地的改良与治理具有重要意义。

【研究进展】以往针对土地盐碱化成因与治理已取得一定进展。陈淑敏等^[3]通过测定陕北黄土丘陵沟壑区 3 个典型沟道土壤的电导率、pH 值、粒度以及含水率, 分析了土地盐碱化现状及其主要影响因素, 得出地下水位上升是造成沟道土地发生盐碱化的主要原因。刘子金等^[4]以甘肃省景电灌区为例, 构建了适用于干旱荒漠区人工绿洲土壤盐碱化空间风险的

多级模糊评价模型, 并根据空间信息提取分析了盐碱化趋势。徐子棋等^[5]针对松嫩平原盐碱地成因和特点进行了论述, 得出影响土地盐碱化的自然因素主要包括气候、水文等, 人为因素包括盲目开荒、过度放牧等。邵玺文等^[6]针对松嫩平原盐碱地的特点开展水稻种植研究, 为改良和利用盐碱地提供科学理论依据。Wang 等^[7]通过分析松嫩平原土地覆盖的时空变化和水文过程, 得出人类活动引起的土地利用类型变化、径流减少、灌溉和调水量增加是盐碱地增加的主要原因。冯保清等^[8]通过分析内蒙古、宁夏、新疆、甘肃等地的土地盐碱化现状和成因, 提出盐碱地治理与改良的对策与建议。

【切入点】前人在各地区土地盐碱化成因、现状及主要影响因素等方面取得了大量研究成果, 但利用遥感解译分析不同程度盐碱化土地的时空动态变化并识别其主要影响因素的研究相对较少。松嫩平原作为我国土地盐碱化最严重的地区之一^[9], 现有耕地面积为 8 万 km^2 , 其中盐碱地面积约为 0.56 万 km^2 , 占耕地总面积的 7%^[10], 集中分布在松嫩平原低平原区。土地盐碱化破坏了当地生态平衡, 导致土地生产力衰退甚至形成大面积荒漠, 直接影响当地畜牧业和农业发展, 制约区域农业和社会经济发展^[11-12]。【拟解决的关键问题】鉴于此, 本研究利用土地遥感解译、相关分析和相对贡献率分析, 分析松嫩平原 2000—2020

收稿日期: 2022-06-18

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项项目 (XDA28020501); 黑龙江省松嫩平原水利综合规划专题研究项目 (SJY-TRDC-2021)

作者简介: 王露露 (1996-), 女。硕士研究生, 主要从事气候变化对水资源的影响研究。E-mail: 2012087826@qq.com

通信作者: 侯保灯 (1988-), 男。高级工程师, 主要从事水文水资源研究。E-mail: houbadeng@163.com

年土地盐碱化的时空动态变化,进而识别土地盐碱化的成因与主要影响因素,以期提高松嫩平原的土地利用效率。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

松嫩平原位于黑龙江省西部^[13-14],主要分布在大庆市、齐齐哈尔市、绥化市和哈尔滨市,另外还涉及黑河市和伊春市的少部分地区^[10]。该区域地处温带大陆性季风气候区,四季分明且干湿分布不均,多年平均气温为 $1\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均降水量在 $400\sim 500\text{ mm}$ 之间,降水时空分布不均匀,年蒸发量约为 $1\,200\sim 1\,600\text{ mm}$,蒸发量年际、年内变化波动较大^[15]。区域内水资源总量为 228 亿 m^3 ,地下水资源量为 115 亿 m^3 ,地表水资源量为 157 亿 m^3 。

1.2 遥感影像来源与处理

遥感影像数据采用美国地质调查局的 Landsat5 TM 和 Landsat8 OLI 遥感影像。2000、2005、2010 年的数据采用 Landsat5 TM 产品,2015、2020 年采用 Landsat8 OLI 产品。Landsat8 OLI 遥感影像中的波段包括了 Landsat5 TM 波段中的 1~5 和 7 波段信息,故遥感反演中选取与 Landsat5 TM 相对应的波段数据,即 Landsat8 OLI 遥感影像的 2~7 波段数据,如表 1 所示。为了降低遥感影像在获取过程中的误差,在实际遥感分析之前,需要对原始遥感影像进行预处理,提高影像质量,以真实还原地表信息^[16]。本次遥感影像数据预处理主要包括辐射定标、大气校正、拼接裁剪^[17]。

表 1 Landsat8 OLI 与 Landsat5 TM 波段参数

Landsat8 OLI			Landsat5 TM		
序号	波段/ μm	空间分辨率/ m	序号	波段/ μm	空间分辨率/ m
1	0.433~0.453	30	1	0.45~0.52	30
2	0.450~0.515	30	2	0.52~0.60	30
3	0.525~0.600	30	3	0.63~0.69	30
4	0.630~0.680	30	4	0.76~0.90	30
5	0.845~0.885	30	5	1.55~1.75	30
6	1.560~1.660	30	7	2.09~2.35	30
7	2.100~2.300	30	6	10.40~12.50	120
8	0.500~0.680	15			
9	1.360~1.390	30			

1.3 土壤采样与盐碱化遥感反演

土壤样本来自野外实地采样,采样时间为 2021 年 7 月 26—30 日,根据研究区的遥感影像数据和交通道路数据,确定采样点 105 个,其中盐碱化土地区域采样点为 80 个,剩余为农田区对照采样点,具体采样点位置如图 1 所示。为保证取样精度,以五点法采集土壤样品,并将混合后的样品委托具有 CMA 认证资质的检测公司进行土壤电导率和水溶性盐总量的检测。

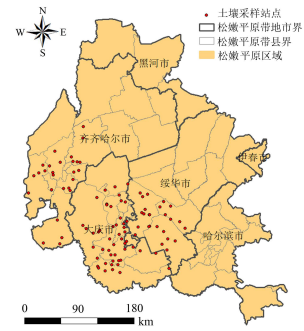


图 1 研究区土壤采样点分布

Fig.1 Distribution of soil sampling points in the study area

土地盐碱化遥感反演通过实测土壤含盐量和光谱信息的相关分析以及光谱诊断指数的计算,选取有利于表征土壤含盐量的敏感诊断光谱,利用线性及非线性回归模型反演土壤含盐量,以提高遥感影像反演土壤含盐量精度。

1.4 土地利用遥感解译

基于 ENVI5.6 软件,对预处理后的遥感影像数据进行解译分析,根据分类目的、影像数据自身特征和分区收集的信息确定分类系统,并利用目视法分辨出盐碱地、居工地、耕地、草地、林地、水域、未利用土地等多类地物;利用支持向量积方法对不同行政区进行监督分类学习,得到各区划土地利用分类数据;将监督分类结果与遥感实测影像进行对比分析,并通过非监督分类方法校核解译结果。

1.5 影响因素数据来源与处理

自然因素和人为因素是影响松嫩平原土地盐碱化面积变化的 2 个主要因素。本文通过总结分析以往研究成果,并结合松嫩平原土地盐碱化现状,选取 GDP、人口数量、农作物播种面积、牲畜数量、地下水资源量、地表水资源量、降水量、蒸发量和年平均气温 9 个影响因素开展研究。GDP、人口数量、农作物播种面积、牲畜数量、地下水资源量、地表水资源量数据来自《黑龙江省统计年鉴》(县级区数据),降水量、蒸发量、年平均气温来自中国气象局气象数据中心。对于各项数据中存在的缺失和异常值,本文采用线性插值法进行填充处理。

1.6 研究方法

1) 最大信息系数 (MIC)

MIC 是由 Reshef 等^[18]提出的一种新型相关性分析方法,适用于线性和非线性数据,具有计算复杂度低、鲁棒性高的优点。该系数按 $0\sim 0.09$ 、 $0.1\sim 0.3$ 、 $0.3\sim 0.5$ 、 $0.5\sim 1.0$ 依次划分为 4 个级别,分别对应不相关、弱相关、中等相关和强相关。

2) 多元线性回归法

由于各影响因素之间的单位、范围等各不相同,因此需要对原始数据进行无量纲化处理^[19],使各变量

值标准化。本文采用多元线性回归法定量计算各影响因素对土地盐碱化面积变化的相对贡献率^[20-21], 计算式为:

$$ZY = \sum_{i=1}^n a_i X_i, \quad (1)$$

$$P_i = \frac{|a_i|}{\sum_{i=1}^n |a_i|}, \quad (2)$$

式中: ZY 为因变量进行无量纲化处理的标准值; X_1 、 X_2 、 X_3 、 $\dots$ 、 X_n 为自变量进行无量纲化处理的标准值; i 为驱动因子个数; a_i 为第 i 个驱动因子无量纲化后对

应的回归系数; p_i 为第 i 个驱动因子的相对贡献率。

2 结果与分析

2.1 土地盐碱化时间特征分析

综合土壤反射率反演模型, 利用监督分类与非监督分类方法, 对预处理后的遥感影像数据进行土地利用遥感解译, 得到 2000、2005、2010、2015 年和 2020 年松嫩平原土地利用遥感解译数据, 如图 2 所示。

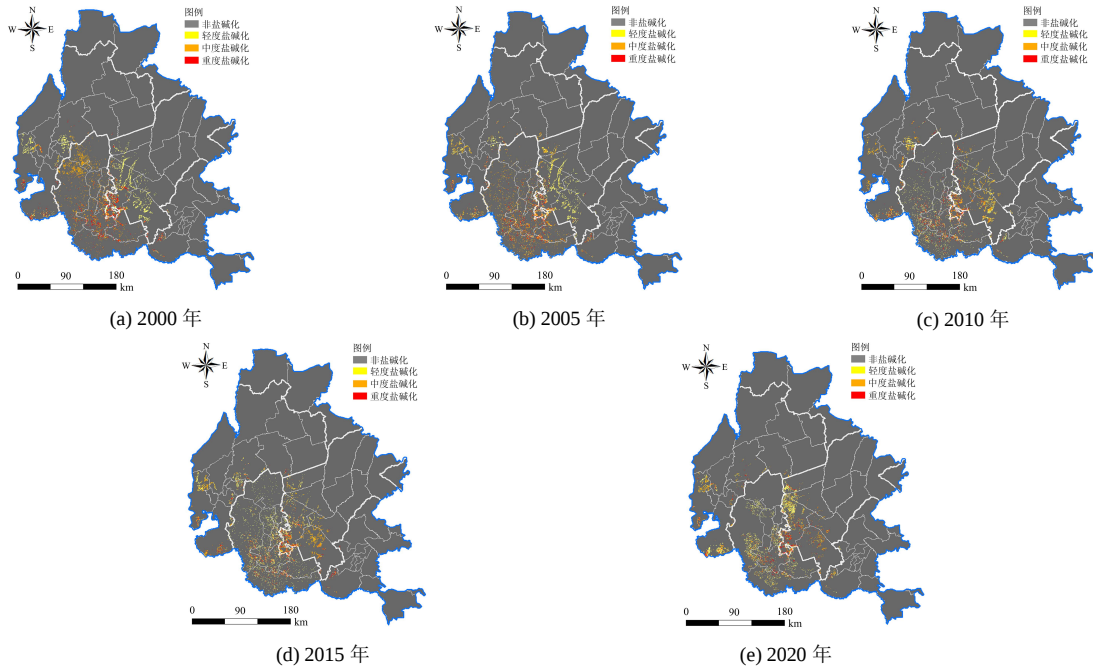


图 2 松嫩平原不同时期各类盐碱化土地空间分布

Fig.2 Spatial distribution of saline-alkali land in different periods in Songnen Plain

利用 ArcGIS 10.2 软件提取不同时期松嫩平原各类盐碱化土地面积, 得到 2000、2005、2010、2015 年和 2020 年不同时期各类盐碱地面积, 如表 2 所示; 对不同类型盐碱化土地面积进行分类统计, 如图 3 所示。

由表 2 与图 3 可知, 2000—2010 年, 盐碱化土地面积减少了 404.22 km², 2010—2020 年盐碱化土地面积呈先增加后减少的趋势; 2000—2020 年盐碱化土地面积呈减少趋势, 减小速率为 -13.67 km²/5 a。

表 2 松嫩平原不同时期各类盐碱化土地面积

类型	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	平均值
轻度盐碱地面积	1 114.89	1 046.33	1 261.35	1 391.16	1 368.05	1 236.35
中度盐碱地面积	1 240.09	1 183.96	800.92	907.58	867.52	1 000.02
重度盐碱地面积	574.60	510.48	463.84	417.29	364.64	466.03
盐碱地总面积	2 929.58	2 740.77	2 525.36	2 716.03	2 600.24	2 702.39

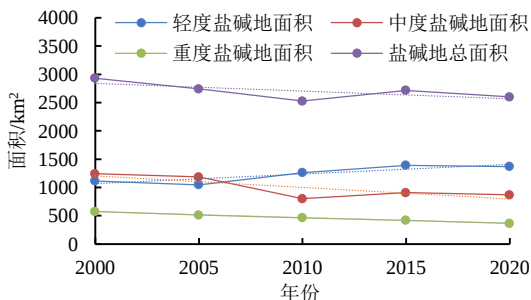


图 3 松嫩平原不同时期各类盐碱化土地面积变化

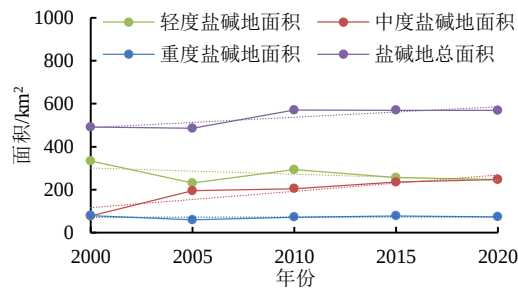
Fig.3 Changes of various saline-alkali land areas in different periods in Songnen Plain

2.2 土地盐碱化空间特征分析

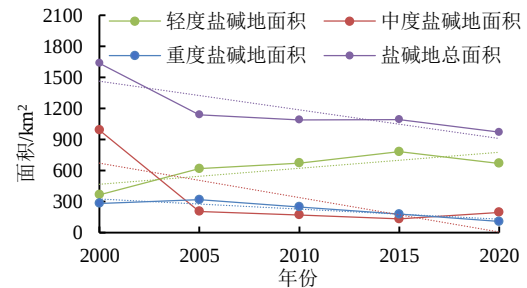
由图 2 可知, 松嫩平原盐碱地基本分布在大庆市全域、齐齐哈尔市和绥化市的西南部以及哈尔滨市的西部。为进一步了解土地盐碱化的分布情况, 对各类盐碱化土地按地市进行分类统计, 得到松嫩平原各行政区内不同时期盐碱化土地面积 (表 3), 土地盐碱化变化趋势如图 4 所示。

表 3 松嫩平原各行政区不同时期盐碱化土地面积

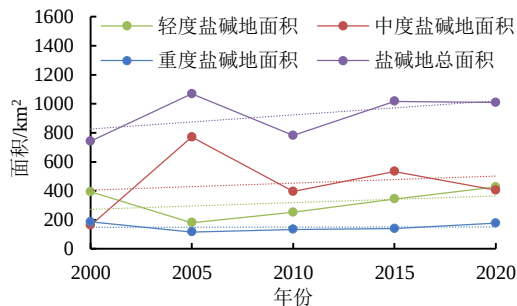
行政区	类型	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	平均值
齐齐哈尔市	轻度盐碱地面积	333.99	230.98	293.77	256.37	248.05	272.63
	中度盐碱地面积	77.43	194.78	204.60	235.68	247.25	191.95
	重度盐碱地面积	79.80	59.57	72.07	77.87	73.93	72.65
	盐碱地总面积	491.22	485.33	570.44	569.92	569.23	537.23
大庆市	轻度盐碱地面积	364.64	616.96	671.14	781.21	668.39	620.47
	中度盐碱地面积	990.26	204.98	170.36	132.16	194.21	338.39
	重度盐碱地面积	281.71	316.68	247.19	178.50	107.20	226.26
	盐碱地总面积	1 636.61	1 138.62	1 088.69	1 091.87	969.80	1 185.12
绥化市	轻度盐碱地面积	393.66	180.51	252.29	343.70	426.85	319.40
	中度盐碱地面积	162.27	771.08	395.50	533.30	404.74	453.38
	重度盐碱地面积	185.89	116.66	133.97	139.90	177.43	150.77
	盐碱地总面积	741.82	1 068.25	781.76	1 016.90	1 009.02	923.55
哈尔滨市	轻度盐碱地面积	17.88	44.15	9.88	24.76	23.85	22.60
	中度盐碱地面积	13.12	30.46	6.44	21.32	16.29	10.13
	重度盐碱地面积	17.57	9.86	21.02	6.11	16.35	27.20
	盐碱地总面积	48.57	84.47	37.34	52.19	56.50	59.93



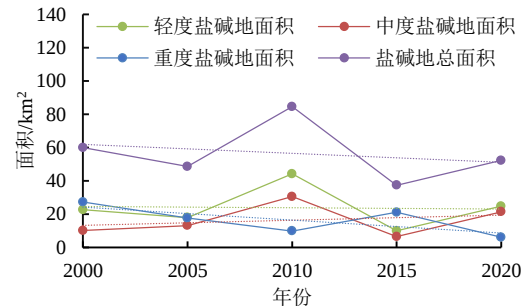
(a) 齐齐哈尔市



(b) 大庆市



(c) 绥化市



(d) 哈尔滨市

图 4 松嫩平原各行政区不同时期各类盐碱化土地面积变化

Fig.4 Changes of salinized land area in different periods in administrative regions of Songnen Plain

齐齐哈尔市不同时期盐碱化土地总面积的平均值为 537.23 km^2 ，其中重度、中度和轻度盐碱化土地面积平均值分别为 72.65 、 191.95 km^2 和 272.63 km^2 。从历史趋势来看，齐齐哈尔市重度和中度盐碱地面积呈增加趋势，而轻度盐碱地面积呈减少趋势。

大庆市不同时期盐碱化土地总面积平均值为 $1 185.12 \text{ km}^2$ ，其中重度、中度和轻度盐碱化土地面积平均值分别为 226.26 、 338.39 km^2 和 620.47 km^2 。从历史趋势来看，大庆市的盐碱化土地总面积呈减小趋势，主要体现在中度和重度盐碱地面积总体减少，在 2000 年处于高值状态，在 2020 年处于低值状态。虽然大庆市轻度盐碱化土地面积呈缓慢增加趋势，且在 2015 年面积达到极大值 781.21 km^2 ，但中度盐碱化和重度

盐碱化面积均呈减小趋势，说明大庆市盐碱化程度没有明显改良。

绥化市不同时期盐碱化土地面积平均值为 923.55 km^2 ，其中重度、中度和轻度盐碱化土地面积平均值分别为 150.77 、 453.38 km^2 和 319.40 km^2 。从历史趋势来看，绥化市重度、中度和轻度盐碱地面积均呈增加趋势，盐碱地总面积呈增加趋势。

哈尔滨市不同时期盐碱化土地面积平均值为 59.93 km^2 ，其中重度、中度和轻度盐碱化土地面积平均值分别为 27.20 、 10.13 km^2 和 22.60 km^2 。从历史趋势来看，哈尔滨市重度和轻度盐碱地面积均呈减少趋势，中度盐碱地面积呈增加趋势，盐碱地总面积呈减少趋势，说明哈尔滨市的土地盐碱化情况正在逐步改

善,但在2020年哈尔滨市重度、中度和轻度盐碱地面积出现了一定的回弹,说明哈尔滨市盐碱化土地在改善过程中依然存在进一步恶化风险。

2.3 土地盐碱化影响因素分析

1) 自然因素与人为因素

自然因素主要包括构造运动、地质地貌、水文、气候。构造运动、地质地貌以及早期的岩浆运动对松嫩平原土壤含盐量起决定性作用,东高西低的地势决定了土壤盐分的运移方向、水文条件决定了土壤盐分运移的动力。该地区存在较多有利于积盐的洼地,如一些古河道洼地等特定的区域,在没有水分供给和持续蒸发作用下,形成了盐碱化沼泽^[5]。气候因素是松嫩平原盐碱地形成的关键因素之一。该区域地处半湿润-半干旱中的温带大陆性季风气候区,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,形成了土壤雨季脱盐和旱季积盐的交替变化特征,加快了盐分在土壤表层的积聚过程。同时,该地区冬季气温处于0℃以下,冻融作用加

剧了盐分在地表的积聚过程^[5]。

人为因素是松嫩平原土地盐碱化面积变化的主要影响因素之一。由于人类对自然环境的过度干预,如过量施加化肥、采用粗放的耕作方式、大水漫灌、修建水库、引水渠、过度放牧和破坏地面植被等行为,使得土地盐碱化程度进一步加剧。过度的引水灌溉农业、水库蓄水、渠道输水等,人为增加地表水对地下水的补给,导致局部地区地下水位上升,极易引发土地次生盐碱化。

2) 关键影响因素分析

基于最大信息系数法,定性分析松嫩平原4个主要行政区的土地盐碱化面积变化与GDP、人口数量、农作物播种面积、牲畜数量、地下水资源量、地表水资源量、降水量、蒸发量、年平均气温9个影响因素的相关关系。应用Python软件得到变量间的最大信息系数,如表4所示。

表4 盐碱化面积与影响因素的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between salinization area and influencing factors

行政区	GDP	人口	播种面积	牲畜	地下水	地表水	降水量	蒸发量	气温
齐齐哈尔市	1.000	0.847	1.000	0.747	0.347	0.576	0.347	0.739	0.393
大庆市	1.000	0.582	1.000	1.000	0.330	0.667	0.361	0.799	0.444
绥化市	0.799	0.799	0.558	0.610	0.694	0.496	0.639	0.319	0.625
哈尔滨市	0.664	0.747	0.618	0.582	0.347	0.461	0.582	0.393	0.758

由表4可知,齐齐哈尔市、大庆市土地盐碱化面积变化与GDP、人口、农作物播种面积、牲畜数量、地表水资源量、蒸发量呈强相关,与地下水量、降水量、气温呈中等相关;绥化市土地盐碱化面积变化与GDP、人口、农作物播种面积、牲畜数量、地下水资源量、降水量、气温呈强相关,与地表水资源量、蒸发量呈中等相关;哈尔滨市土地盐碱化面积变化与GDP、人口、农作物播种面积、牲畜数量、降水量、气温呈强相关,与地下水资源量、地表水资源量、蒸发量呈中等相关。

对研究数据进行无量纲化处理,并利用多元线性回归法定量计算松嫩平原的GDP、人口数量、农作

物播种面积、牲畜数量、地下水资源量、地表水资源量、降水量、蒸发量、年平均气温9个影响因素对土地盐碱化面积变化的相对贡献率,如表5所示。农作物播种面积、GDP和人口数量对齐齐哈尔市土地盐碱化面积变化的贡献率分别达到19.96%、18.49%和15.75%;地下水资源量、降水量、蒸发量对大庆市土地盐碱化面积变化的贡献率分别为13.94%、15.63%和15.00%;GDP、人口数量、农作物播种面积对绥化市土地盐碱化面积变化的贡献率分别为14.33%、15.77%和16.35%;GDP、农作物播种面积、牲畜数量对哈尔滨市土地盐碱化面积变化的贡献率较大,贡献率分别为18.03%、19.63%和18.77%。

表5 土地盐碱化面积变化影响因素贡献率

Table 5 Contribution rate of influencing factors of land salinization area change

行政区	GDP	人口数量	播种面积	牲畜数量	地下水量	地表水量	降水量	蒸发量	气温
齐齐哈尔市	18.49	15.75	19.96	15.05	2.75	2.17	7.03	11.58	7.23
大庆市	6.77	9.72	8.05	10.25	13.94	13.23	15.63	15.00	7.41
绥化市	14.33	15.77	16.35	13.73	7.81	8.38	5.26	9.85	8.53
哈尔滨市	18.03	0.20	19.63	18.77	16.54	6.22	3.36	8.96	8.29

结合相关分析和相对贡献率分析可知,农作物播种面积与GDP对齐齐哈尔市土地盐碱化面积变化影响显著且贡献率较大,是齐齐哈尔市土地盐碱化面积变化的主要影响因素;降水量和蒸发量对大庆市土地盐碱化面积变化影响显著且贡献率大,是大庆市土地

盐碱化面积变化的主要影响因素;GDP、人口数量、农作物播种面积对绥化市土地盐碱化面积变化影响显著且贡献率较大,是绥化市土地盐碱化面积变化的主要影响因素;GDP、农作物播种面积、牲畜数量对哈尔滨市土地盐碱化面积变化影响显著且贡献率大,

是哈尔滨市土地盐碱化面积变化的主要影响因素。

3 讨论

本研究通过遥感解译方法得到的轻度、中度和重度盐碱化土地分布，大庆市土地盐碱化面积在 2015 年出现拐点，总体呈先升后降的变化趋势，该结论与刘福全等^[22]的结论相似。在 2015 年前，由于社会经济、农牧业发展等原因，加速了土地盐碱化的生成，2015 年后盐碱化土地改良与治理力度加强，盐碱地面积显著减小。但土壤采样时间在 7 月末，处于雨季，没有考虑降水对土壤含盐量的影响，对土壤反射率反演模型结果存在一定影响，在后续研究工作中应进一步考虑该因素的影响，提升反演模型精度。

本研究采用的最大信息系数法相比于 Pearson 法、Spearman 法等具有适用范围广、复杂度低、鲁棒性高的优点。通过计算各影响因素对松嫩平原土地盐碱化面积变化的贡献率，发现齐齐哈尔市土地盐碱化面

积变化的主要影响因素是农作物播种面积与 GDP；大庆市土地盐碱化面积变化的主要影响因素为降水量和蒸发量；GDP、人口数量、农作物播种面积对绥化市土地盐碱化面积变化影响显著且贡献率较大，是绥化市土地盐碱化面积变化的主要影响因子；GDP、农作物播种面积、牲畜数量是哈尔滨市土地盐碱化面积变化的主要影响因素。为进一步解析自然和人为影响因素对盐碱化程度的影响机理，选择降水、蒸发和地下水埋深 3 个因子进行深入分析。

2000—2020 年，松嫩平原春夏季降水量和强降水量的变化情况如图 5 和图 6 所示。春季降水量总体呈增加趋势，但降水量少，夏季降水量总体呈增加趋势且降水量大，形成了明显的春季“返盐”和夏季“脱盐”现象；同时，强降水量总体呈增加趋势，强降水导致的入渗或径流使土壤中的盐分被带入深层土壤或流向地势低的地区，减缓了土地盐碱化程度。

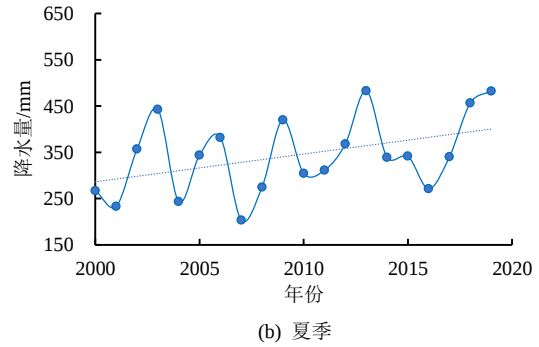
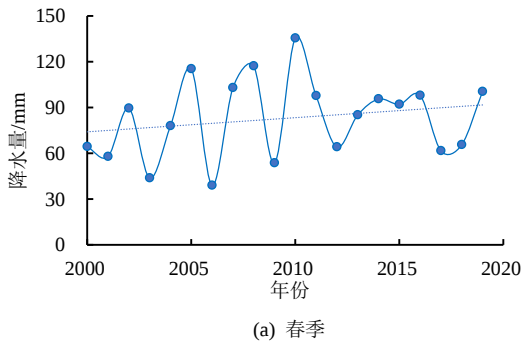


图 5 松嫩平原春季、夏季降水量变化

Fig.5 Variation of precipitation in spring and summer in Songnen Plain

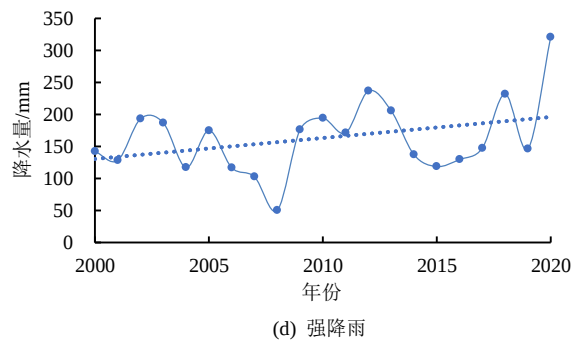
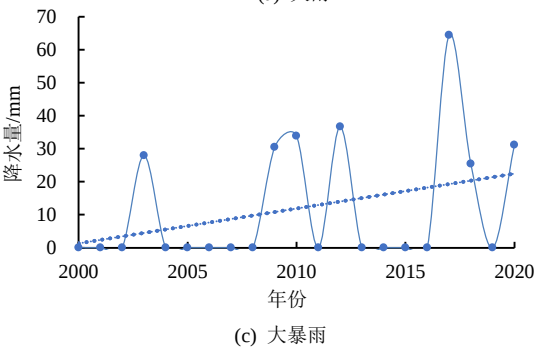
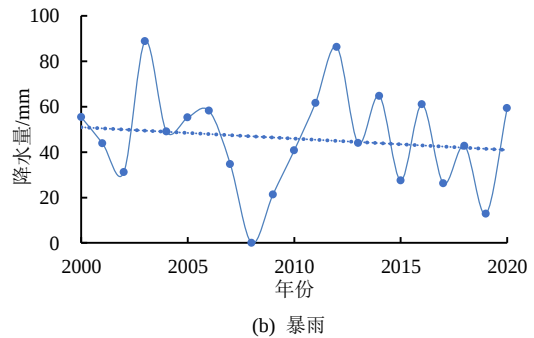
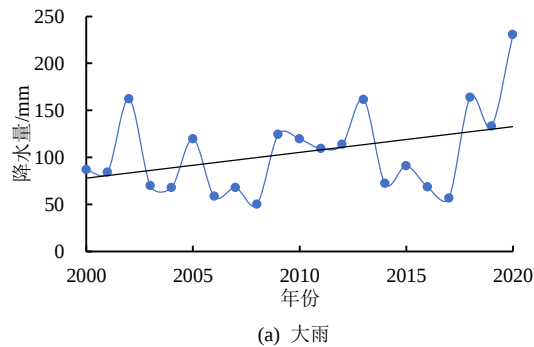


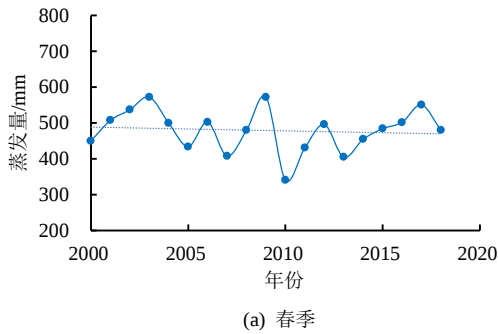
图 6 松嫩平原强降水量变化情况

Fig.6 Variation of heavy rainfall in Songnen Plain

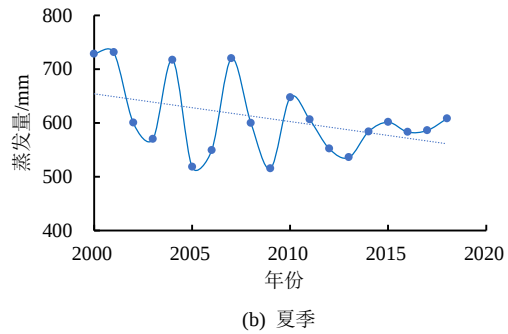
松嫩平原 2000—2020 年春夏季蒸发量总体均呈下降趋势（图 7）。春季地表水蒸发强烈，且降水量

少,促进春季“返盐”,因此在蒸发量减少且降水增

多的情况下,“返盐”现象会减缓。



(a) 春季



(b) 夏季

图7 松嫩平原春季、夏季蒸发量变化

Fig.7 Variation of evaporation in spring and summer in Songnen Plain

松嫩平原 2010—2020 年地下水埋深年际变化如图 8 所示。松嫩平原地下水埋深总体呈逐渐变浅趋势,但是变化幅度较小,使得地下水位升高缓慢。地下水位及地下水的矿化度是影响土地盐碱化的关键因素,地下水位高,矿化度大,则容易积盐,诸如农业生产中常见的大水漫灌或低洼地区只灌不排,会导致地下水位快速上升,易形成土地次生盐碱化。因此,松嫩平原作为主要的粮食生产基地,应当建立完备的灌溉和排水设施。

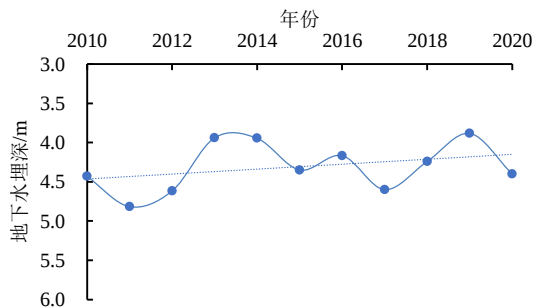


图8 松嫩平原地下水埋深年际变化

Fig.8 Interannual variation curve of groundwater depth in Songnen Plain

4 结论

1) 2000—2020 年,松嫩平原土地盐碱化面积呈减少趋势,减小速率为 $-13.67 \text{ km}^2/5 \text{ a}$ 。

2) 齐齐哈尔市、绥化市盐碱地总面积呈增加趋势,盐碱化程度加剧;大庆市土地盐碱化面积和重度盐碱化面积均大于其他 3 个行政区,土地盐碱化面积基数大。

3) 松嫩平原土地盐碱化面积变化的主要促进因素是社会经济和农牧业发展,同时气候变化也对土地盐碱化存在一定影响。

4) 松嫩平原春、夏季降水量、强降水量呈增加趋势,春夏季蒸发量总体呈减小趋势,使得春季“返盐”减缓,夏季“脱盐”增强;地下水埋深总体上呈缓慢变小趋势,因此需建立完备的灌溉和排水设施,避免次生盐碱化。

参考文献:

- [1] FARIFTEH J, FARSHAD A, GEORGE R J. Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics[J]. Geoderma, 2006, 130(3/4): 191-206.
- [2] METTERNICHT G I, ZINCK J A. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85(1): 1-20.
- [3] 陈淑敏, 金钊, 张晶, 等. 陕北不同沟道土地盐碱化现状及影响因素[J]. 地球环境学报, 2020, 11(1): 81-89.
CHEN Shumin, JIN Zhao, ZHANG Jing, et al. Situation and impact factors of soil salinization in different dammed farmlands in the valley area of the Northern Shaanxi Province[J]. Journal of Earth Environment, 2020, 11(1): 81-89.
- [4] 刘子金, 徐存东, 朱兴林, 等. 干旱荒漠区人工绿洲土壤盐碱化风险综合评估与演变分析[J]. 中国环境科学, 2022, 42(1): 367-379.
LIU Zijin, XU Cundong, ZHU Xinglin, et al. Comprehensive assessment and evolution analysis of soil salinization in artificial oasis in arid desert area[J]. China Environmental Science, 2022, 42(1): 367-379.
- [5] 徐子棋, 许晓鸿. 松嫩平原苏打盐碱地成因、特点及治理措施研究进展[J]. 中国水土保持, 2018(2): 54-59, 69.
XU Ziqi, XU Xiaohong. The cause of formation and characteristics of soda saline-alkaline land of the Songnen Plain and the study progress of control measures[J]. Soil and Water Conservation in China, 2018(2): 54-59, 69.
- [6] 邵玺文, 冉成, 金峰, 等. 松嫩平原苏打盐碱地水稻栽培技术研究进展与展望[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(4): 379-382.
SHAO Xiwen, RAN Cheng, JIN Feng, et al. Advances and prospects in research of rice cultivation technology in saline-sodic soil of Songnen Plain[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2018, 40(4): 379-382.
- [7] WANG Z Y, LI L J. Determination of land salinization causes via land cover and hydrological process change detection in a typical part of Songnen Plain[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(8): 1 099-1 112.
- [8] 冯保清, 崔静, 吴迪, 等. 浅谈西北灌区耕地盐碱化成因及对策[J]. 中国水利, 2019(9): 43-46.
FENG Baoqing, CUI Jing, WU Di, et al. Preliminary studies on causes of salinization and alkalization in irrigation districts of Northwest China and countermeasures[J]. China Water Resources, 2019(9): 43-46.
- [9] 马驰. 松辽平原土地盐碱化动态监测与遥感分析[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 495-498.
MA Chi. Dynamic monitoring and remote sensing analysis of land salinization in Songliao Plain[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(7): 495-498.
- [10] 王浩民, 吴明官. 黑龙江省松嫩平原盐碱地治理方略[J]. 黑龙江水利科技, 2015, 43(10): 1-6.

- WANG Haomin, WU Mingguan. Saline alkali land control strategy of Songnen Plain in Heilongjiang Province[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2015, 43(10): 1-6.
- [11] 隋敏, 任建华, 陈强, 等. 测量高度对盐碱土光谱响应的对比分析研究[J]. 土壤与作物, 2020, 9(4): 428-439.
- SUI Min, REN Jianhua, CHEN Qiang, et al. Contrastive analysis of measured height on spectral response of saline-alkali soil[J]. Soils and Crops, 2020, 9(4): 428-439.
- [12] KERR J G. Multiple land use activities drive riverine salinization in a large, semi - arid river basin in Western Canada[J]. Limnology and Oceanography, 2017, 62(4): 1 331-1 345.
- [13] 周光涛, 郭龙胜, 肖景辉. 松嫩平原水资源开发利用规划与工程配置布局[J]. 黑龙江水利科技, 2009, 37(6): 113-114.
- ZHOU Guangtao, GUO Longsheng, XIAO Jinghui. Water resources development and utilization planning and engineering configuration layout in Songnen Plain[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2009, 37(6): 113-114.
- [14] 李婷. 黑龙江省西部地区旱情评价及抗旱减灾模型研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.
- LI Ting. Evaluation of drought and drought mitigation model in the Western region of Heilongjiang Province[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009.
- [15] 刘晓辉, 侯光雷, 邹元春, 等. 松嫩平原自然保护区土壤储碳与气候调节功能[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(10): 122-126.
- LIU Xiaohui, HOU Guanglei, ZOU Yuanchun, et al. Soil carbon storage and climate regulation by natural reserves in the Songnen Plain[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 49(10): 122-126.
- [16] 吝静. 土地利用变化下塔里木河干流地表水与地下水转化及其生态效应研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2021.
- LIN Jing. Study on the transformation of surface water and groundwater and its ecological effect in the main stream of Tarim River under land use change[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2021.
- [17] 郭奇奇. 西藏狮泉河地区遥感图像数字处理及地质解译[D]. 成都: 成都理工大学, 2019.
- GUO Qiqi. Remote sensing image digital processing and geological interpretation in Shiquanhe area, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2019.
- [18] RESHEF D N, RESHEF Y A, FINUCANE H K, et al. Detecting novel associations in large data sets[J]. Science, 2011, 334(6 062): 1 518-1 524.
- [19] 邝远华, 汪丽娜, 陈晓宏, 等. 水资源可持续性的参数敏感性分析[J]. 地理科学, 2016, 36(6): 910-916.
- KUANG Yuanhua, WANG Lina, CHEN Xiaohong, et al. Analysis on parameters sensitivity for the sustainability of water resources[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(6): 910-916.
- [20] 张嘉琪, 任志远. 1977—2010年柴达木盆地地表潜在蒸散时空演变趋势[J]. 资源科学, 2014, 36(10): 2 103-2 112.
- ZHANG Jiaqi, REN Zhiyuan. Analysis on surface spatiotemporal variation tendency of potential evapotranspiration in Qaidam Basin[J]. Resources Science, 2014, 36(10): 2 103-2 112.
- [21] 白宜斐, 王弋, 陈亚宁, 等. 叶尔羌河流域灌区地下水埋深变化及影响因素分析[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(6): 242-249.
- BAI Yifei, WANG Yi, CHEN Yaning, et al. Variation of groundwater depth and its influencing factors in the irrigated area of the Yarkant River Basin[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2019, 30(6): 242-249.
- [22] 刘福全, 杜崇, 韩旭, 等. 基于3S技术的大庆地区土壤盐渍化时空变化分析[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(5): 132-138.
- LIU Fuquan, DU Chong, HAN Xu, et al. Spatiotemporal variation in soil salinization in Daqing calculated using the 3S technology[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(5): 132-138.

Spatiotemporal Dynamics of Soil Salinity and Its Determinants in Songnen Plain

WANG Lulu^{1,2}, WANG Tianliang³, GAO Bin², HE Huaizhen³, DING Xiaowen¹, HOU Baodeng^{2*}

(1. School of Environmental Science and Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. Heilongjiang Water Conservancy Design Institute, Harbin 150080, China)

Abstract: 【Objective】 Soil salinization is a dynamic process, affected by numerous factors. Understanding its spatiotemporal variation in a region and catchment is important for management. In this paper, we present the soil salinity dynamics and its determinants in Songnen Plain of Heilongjiang province. 【Method】 The calculation was based on remote sensing imagery of the region acquired from 2000—2020. We used correlation analysis and relative contribution rate analysis to map the spatiotemporal distribution of soil salinity in this region. 【Result】 On average, areas affected by salt in the region had decreased from 2000 to 2020, at a rate of 2.73 km²/a. But this is mainly due to the reduced soil salinization in some regions, as other regions actually had seen an increase in soil salinization. In particular, soil salinization in Qiqihar had increased because of the increase in cropped lands and GDP. Suihua also saw soil salinity rising due to increased plant areas and population. In contrast, soil salinity in Daqing and Harbin had decreased, due to the increase in surface water resources and decrease in evaporation for Daqing, and the change in cropped land and livestock industry for Harbin. 【Conclusion】 Change in soil salinization from 2000 to 2020 in Songnen Plain varied, with some areas seeing an increase and others witnessing a decline. In addition to climate change, other reasons underlying such variations in soil salinization include economic development, change in cropping systems and livestock industry. To ameliorate soil salinization and improve land quality, this region should consider improving irrigation and drainage facilities and controlling the groundwater depth not exceeding a critical level.

Key words: land salinization; space-time change; remote sensing interpretation; Songnen Plain; influence factors

责任编辑: 韩 洋