

吉林省西部不同环境因子对苏打盐碱地分布的影响

许晓鸿¹, 刘肃¹, 赵英杰¹, 徐子棋¹, 杨献坤¹, 滕美瑶^{1,2}, 王大中¹, 赵书军¹

(1. 吉林省水土保持科学研究院, 吉林 长春 130033; 2. 吉林农业大学, 吉林 长春 130000)

摘要: [目的] 揭示吉林省西部苏打盐碱地的分布规律, 为盐碱地的防治提供理论支持。[方法] 通过 ArcGIS 软件对遥感影像进行提取, 对不同环境因子与吉林省西部苏打盐碱地面积分布进行相关分析和回归分析。[结果] ① 水系 30 000 m 缓冲区外, 吉林省西部苏打盐碱地面积随着离水系距离的增加而减少; ② 与苏打盐碱地面积呈显著相关的气象因子分别为累年年平均风速 ($R=0.716$, $\text{sig.}<0.05$)、累年平均年降水量 ($R=-0.597$, $\text{sig.}<0.05$)、累年年最多降水量 ($R=-0.652$, $\text{sig.}<0.05$); ③ 海拔高度和坡度是影响吉林省西部苏打盐碱地分布的重要因子, 且苏打盐碱地面积随着海拔高度的升高而减少, 随着坡度的增加而减少。[结论] 影响吉林省西部苏打盐碱地分布的主要环境因子包括离水系距离、气象因子和地形因子。

关键词: 苏打盐碱地; 水系; 气象因子; 地形因子; 吉林省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)01-0089-07

中图分类号: S154.4⁺1

文献参数: 许晓鸿, 刘肃, 赵英杰, 等. 吉林省西部不同环境因子对苏打盐碱地分布的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 89-95. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.015. Xu Xiaohong, Liu Su, Zhao Yingjie, et al. Effects of different environmental factors on distribution of soda saline-alkaline land in Western Jilin Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 89-95.

Effects of Different Environmental Factors on Distribution of Soda Saline-alkaline Land in Western Jilin Province

XU Xiaohong¹, LIU Su¹, ZHAO Yingjie¹, XU Ziqi¹,

YANG Xiankun¹, TENG Meiyao^{1,2}, WANG Dazhong¹, ZHAO Shujun¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation of Jilin Province, Changchun,

Jilin 130033, China; 2. Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130000, China)

Abstract: [Objective] To explore the spatial distribution of the soda saline-alkaline land in Western Jilin Province and provide a theoretical basis for the prevention and treatment of saline soil in this region. [Methods] We extracted information on environmental factors from remote sensing images by ArcGIS and analyzed the relationship between the distribution of the soda saline-alkaline land and environmental factors through regression analysis and correlational analysis methods. [Results] ① Beyond the buffering distance of 30 000 m of the hydrographic net, the area of soda saline-alkaline land decreased with the increasing distance from hydrographic net. ② The area of soda saline-alkaline land was significantly affected by multi-year average annual wind speed ($R=0.716$, $p<0.05$), multi-year average annual precipitation ($R=-0.597$, $p<0.05$) and maximum value of the multi-year annual precipitation ($R=-0.652$, $p<0.05$) respectively. ③ The altitude and slope gradient were key factors influencing the distribution of soda saline-alkaline land of the western Jilin Province. The area of the soda saline-alkaline land decreased with the increasing altitude and slope gradient. [Conclusion] The main environmental factors affecting the distribution of soda saline-alkaline land in Western Jilin Province were the distance from the hydrographic net, climatic factors and terrain factors.

Keywords: soda saline-alkaline land; distribution; hydrographic net; climatic factor; terrain factor; Jilin Province

收稿日期: 2017-07-04

修回日期: 2017-07-13

资助项目: 吉林省水利厅资助项目“生态治水中优良水土保持草种引种试验研究”(吉水科[2016]-7); 吉林省水利厅资助项目“吉林省旱作农业水资源调控水土保持经济作物引种试验”(吉水科[2016]-6)

第一作者: 许晓鸿(1971—), 男(汉族), 陕西省汉中市人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水土保持监测工作研究。E-mail: 394019786@qq.com。

通讯作者: 徐子棋(1990—), 女(汉族), 吉林省白山市人, 硕士, 助理工程师, 从事水土保持生态修复研究。E-mail: 235175758@qq.com。

松嫩平原是世界 3 大苏打盐碱地分布区之一,该区域盐碱地总面积约为 $3.42 \times 10^6 \text{ hm}^2$,70% 以上为苏打盐碱土(主要成分为 NaHCO_3 和 Na_2CO_3)。吉林省西部位于松嫩平原中南部,是松嫩平原苏打盐碱地的重要分布区。近年来由于气候变化和高强度的人类活动,吉林省西部的土地盐碱化程度不断加剧,面积不断扩大。据统计结果显示,吉林省 20 世纪 50 年代盐碱地面积约为 $1.13 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占该地区总面积 24.26%;2000 年该地区盐碱地面积增加到 $1.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占总面积的 35.49%。其中,重度盐碱化土地占盐碱化土地总面积的比例由 1958 年的 26.9% 增加到 43.7%^[1-2]。土壤盐碱化是吉林省西部主要的生态环境问题之一,其导致了该地区自然环境的改变和生态平衡的破坏,使得土地大面积荒漠化,土地资源质量和农业生产条件严重劣化,阻碍了当地农业生产和经济的可持续发展。而盐碱化土地是重要的后备土地资源,若加以良好利用可在保障国家粮食安全中发挥重要作用^[2-4]。因此,研究吉林省环境因子对苏打盐碱地形成、分布的影响对于苏打盐碱地区生态环境改善及苏打盐碱地水土资源高效利用具有重要意义。

国内许多学者在相关领域做了研究。姚荣江等^[5]的研究描述了东北盐碱地在各县市内的分布状况。众多学者对松嫩平原苏打盐碱地形成、发展的主要影响因素进行研究,结果表明:影响因素包括自然因素和人为因素两方面,自然因素包括气候因素、地形因素、水文因素、构造运动因素、地质因素、地貌因素、植被因素、土壤及母质因素等,人为因素包括盲目开垦、不合理的灌溉等^[3,5-12]。张学飞等^[13]和徐安凯等^[14]以典型地区为代表,研究了松嫩平原苏打盐碱地土壤水盐运移的季节性特征。许多学者以 Landsat/TM 影像、地形图等为数据源,利用 RS, GIS 等技术手段,对松嫩平原苏打盐碱地 1950—2001 年面积变化(包括潜在盐碱化土地、轻度苏打盐碱地、中度苏打盐碱地和重度苏打盐碱地面积)和土地苏打盐碱化程度变化做了空间分析,并预测该区域具有代表性地区(通榆县)2050 年苏打盐碱地面积和轻、中、重度苏打盐碱地所占苏打盐碱地总面积的百分比^[6,9-10,15-16]。

以往的研究多集中于吉林省西部苏打盐碱地面积变化动态,关于环境因子与苏打盐碱地形成、变化关系的文章多为描述性非定量研究,或以小范围(县市或典型小区)作代表进行相关分析,而以整个吉林省为范围研究环境因子与苏打盐碱地分布的量化

相关分析研究却鲜有报道。本研究拟通过分析吉林省西部不同高程、离水系不同距离、不同气象条件与苏打盐碱地面积的关系,研究各环境因子对苏打盐碱地分布的影响,以期对苏打盐碱地的防治、苏打盐碱地区农业资源合理利用提供理论依据。

1 资料来源和研究方法

1.1 资料来源

利用遥感图进行人工解译,并通过 GIS 10.2 软件进行吉林省苏打盐碱地分布图的绘制;使用 GIS 10.2 对 2013 年的 1:200 000 吉林省水系图进行矢量化,并做不同距离缓冲区,获得吉林离水系不同距离苏打盐碱地分布情况;在 GIS 10.2 中将吉林省县(市)行政边界图层与吉林省苏打盐碱地分布图叠加,得知吉林省分布有苏打盐碱地的地区为白城、大安、洮南市、通榆县、镇赉县、德惠市、九台区、农安县、榆树市、梨树县、双辽市、四平市、长岭县、扶余市、乾安县和前郭县,并获得这 16 个地区苏打盐碱地面积(但因德惠区、九台区、榆树市 3 个地区苏打盐碱地面积较小,且行政区不在吉林省西部地区,故不列入分析)。在中国气象数据网下载这 16 个城市(国家级气象站)的 1981—2010 年累年平均气象数据。利用 GIS 10.2 将吉林省 2010 年的 1:200 000 等高线地形图矢量化并生成 DEM,对高度、坡度信息进行分析。

1.2 研究方法

为了探讨不同环境因子对吉林省西部苏打盐碱地分布的影响,本研究利用 SPSS 18.0 软件对离水系不同距离、气象条件、地形条件与苏打盐碱地面积进行相关分析和回归分析。

2 结果与分析

2.1 离水系不同距离对吉林省西部苏打盐碱地分布的影响

以吉林省水系为轴线,绘制不同距离缓冲区,在 ArcGIS 软件中将吉林省水系不同距离缓冲区图层与吉林省苏打盐碱地分布图层叠加分析,所得各距离缓冲区内苏打盐碱地面积见表 1。由表 1 可知,吉林省西部苏打盐碱地总面积为 $2.20 \times 10^9 \text{ m}^2$,除 30 000 m 以内的缓冲区外,苏打盐碱地的面积及苏打盐碱地占相应缓冲区总面积百分比随着离水系距离的增加而减少。例如,距水系 40 000,50 000,60 000 m 的苏打盐碱地面积分别为 $1.55 \times 10^9 \text{ m}^2$, $1.18 \times 10^9 \text{ m}^2$, $8.21 \times 10^8 \text{ m}^2$,苏打盐碱地占缓冲区的面积百分比分别为 3.74%,3.17%,2.35%。这说明吉林省西部水

系具有一定的矿化度,水流携带的盐分在周围的土壤中积累,且距离越近,剧烈积累盐分的土壤面积越大。离水系距离在 30 000 m 的缓冲区内盐碱地面积并不遵循这个结果,原因有可能是洪水能够季节性淹没水系附近区域,促进土壤水盐下行,且水系周围的地形有利于径流的排泄,能够减少土壤盐分的积累。

通过对 18 组离水系距离和相应缓冲区苏打盐碱地面积数据进行回归分析得到表 2。由表 2 可知,在 11 种回归曲线中,除 S 曲线的拟合效果不显著(sig. > 0.05)外,其他曲线均具有显著意义(sig. < 0.05)。其中,三次曲线的拟合度最好($R^2 = 0.957$, sig. = 0.00, < 0.05)。因此,吉林省西部离水系距离与苏打盐碱地面积最适合用三次曲线进行数据建模。由此,回归方程为:

$$y = 1.12 \times 10^{-5} x^3 - 1.78 x^2 + 5.86 \times 10^4 x + 1.39 \times 10^9 \quad (1)$$

式中: x ——离水系距离(m); y ——相应缓冲区中盐碱地的面积(hm^2)。

表 1 吉林省西部离水系不同距离缓冲区内苏打盐碱地特征

离水系距离/km	苏打盐碱地面积/ hm^2	缓冲区面积/ hm^2	苏打盐碱地所占百分比/%
5	1.61×10^5	4.14×10^7	0.39
10	1.75×10^5	3.43×10^7	0.52
15	2.03×10^5	2.43×10^5	0.84
20	1.77×10^5	1.53×10^7	1.15
25	2.00×10^5	9.58×10^6	2.08
30	2.01×10^5	6.39×10^6	3.14
35	1.95×10^5	4.81×10^6	4.06
40	1.55×10^5	4.14×10^6	3.74
45	1.21×10^5	3.91×10^6	3.11
50	1.18×10^5	3.71×10^6	3.17
55	9.37×10^4	3.59×10^6	2.61
60	8.21×10^5	3.49×10^5	2.35
65	7.91×10^4	3.40×10^6	2.33
70	6.80×10^4	3.31×10^6	2.05
75	5.78×10^4	3.24×10^6	1.78
80	5.17×10^4	3.20×10^6	1.62
85	4.16×10^4	3.15×10^6	1.32
90	2.07×10^4	3.00×10^6	0.67
合计	2.20×10^6	1.74×10^8	1.26

表 2 吉林省西部苏打盐碱地面积与离水系不同距离的回归模型

方程类型	R^2	F	sig.	参数估计值			
				常数	b_1	b_2	b_3
线性	0.86	97.30	0.00	2.24×10^9	-2.15×10^4	—	—
对数	0.59	22.79	0.00	7.45×10^9	-5.93×10^9	—	—
倒数	0.22	4.61	0.05	9.76×10^9	6.33×10^{12}	—	—
二次	0.89	63.33	0.00	1.95×10^9	-3.57×10^3	-0.19	—
三次	0.96	102.78	0.00	1.39×10^9	5.86×10^4	-1.78	1.12×10^{-5}
复合	0.84	83.33	0.00	3.00×10^9	1.00	—	—
幂	0.54	18.78	0.00	5.66×10^{11}	-0.60	—	—
S	0.21	4.17	0.06	20.51	6.41×10^3	—	—
增长	0.84	83.33	0.00	21.82	-2.24×10^{-5}	—	—
指数	0.84	83.33	0.00	3.00×10^9	-2.24×10^{-5}	—	—
Logistic	0.84	83.33	0.00	3.34×10^{-10}	1.00	—	—

2.2 气象因子对吉林省西部苏打盐碱地分布的影响

通过 ArcGIS 软件将吉林省各(市)县城行政边界图层与吉林省盐碱地图层叠加后可知,吉林省共有 16 个(市)县城分布有苏打盐碱地,分别是白城、大安、洮南、通榆、镇赉、德惠、九台、农安、榆树、梨树、双辽、四平、长岭、扶余、乾安和前郭。其中,德惠、九台、榆树 3 个地区苏打盐碱地面积较小,且行政区不属于吉林省西部,故不列入分析。吉林省西部各(市)县城苏打盐碱地面积及气象条件(1981—2010 年累年平均)见表 3。由表 3 可知,吉林省西部苏打盐碱地分布面积最大的(市)县城是通榆县,面积为 $5.48 \times 10^9 \text{ m}^2$ 。

对吉林省西部各(市)县城苏打盐碱地面积及气象条件进行相关分析,结果见表 4。表 4 的结果显示,与苏打盐碱地面积呈显著相关的气象因子分别为累年

年平均风速($R = 0.716$, sig. < 0.05)、累年平均年降水量($R = -0.597$, sig. < 0.05)、累年年最多降水量($R = -0.652$, sig. < 0.05)。与苏打盐碱地面积相关度最高的气象因子为累年年平均风速。且累年年平均风速与苏打盐碱地面积呈正相关,累年平均年降水量和累年年最多降水量与苏打盐碱地面积呈负相关,即吉林省西部苏打盐碱地分布面积随着累年年平均风速的提高而增加,随着累年平均年降水量和累年年最多降水量的升高而减少。这说明累年年平均风速的提高能够促进大气和土壤水分蒸发,促进土壤盐分向地表运动、积累,且大风能将盐碱成分带入非盐碱化土壤或盐碱化较轻的土壤,从而增加苏打盐碱地面积;年降水量、年最多降水量的增加,使得空气湿度和土壤湿度升高,且降水有利于盐分淋洗,能够抑制苏打盐碱地的形成。

表 3 吉林省西部各城市苏打盐碱地面积及气象条件

站名	苏打盐碱地面积/hm ²	累年年平均气温/℃	累年年温年较差/℃	累年年平均最高气温/℃	累年年平均最低气温/℃	累年年相对湿度标准差/%	累年年日最高气温≥30.0℃平均日数/d	累年年平均相对湿度/%	累年年平均风速/(m·s ⁻¹)	累年年极大风速/(m·s ⁻¹)	累年年平均年降水量/mm	累年年最多降水量/mm
白城	1.67×10 ³	5.5	39.6	12.0	-0.8	3	29.7	55	3.2	29.6	372.4	726.3
大安	3.70×10 ⁵	5.3	40.5	11.0	-0.1	3	22.5	61	3.5	24.3	414.8	654.0
洮南	2.06×10 ⁵	6.0	38.9	12.3	0.4	3	33.1	54	3.2	29.2	374.5	646.9
通榆	5.48×10 ⁵	6.0	39.4	12.3	0.3	3	33.8	56	3.7	31.0	370.6	580.2
镇赉	2.11×10 ⁵	5.2	40.2	11.6	-0.8	3	28.9	57	3.0	30.1	386.9	612.7
农安	7.07×10 ⁴	5.4	39.4	11.3	-0.1	3	17.3	62	3.1	29.3	498.3	797.2
梨树	2.73×10 ⁴	6.8	37.5	12.4	1.5	3	19.9	61	2.9	35.9	552.3	794.4
双辽	2.90×10 ⁴	6.5	38.2	12.9	0.8	3	27.7	62	3.1	27.4	459.5	629.5
四平	1.03×10 ⁴	7.1	36.9	12.7	2.1	2	21.7	63	2.7	23.8	604.3	838.5
长岭	2.19×10 ⁵	6.0	38.8	11.9	0.7	3	23.6	59	3.1	25.9	421.7	716.2
扶余	7.38×10 ⁴	4.8	40.2	10.7	-0.6	3	17.1	64	3.1	26.3	505.7	860.5
乾安	2.39×10 ⁵	5.8	39.5	11.6	0.7	3	27.5	59	3.2	25.9	399.0	712.9
前郭	1.93×10 ⁵	5.8	39.6	11.4	0.7	2	23.7	61	2.7	25.4	415.7	621.8

表 4 吉林省西部苏打盐碱地面积和气象因子相关系数

相关分析参数	累年年平均气温/℃	累年年温年较差/℃	累年年平均最高气温/℃	累年年平均最低气温/℃	累年年相对湿度标准差/%	累年年日最高气温≥30.0℃平均日数/d
相关系数	-0.24	0.46	-0.19	-0.17	0.19	0.47
sig. (双侧)	0.44	0.11	0.53	0.58	0.54	0.11
相关分析参数	累年年平均相对湿度/%	累年年平均风速/(m·s ⁻¹)	累年年极大风速/(m·s ⁻¹)	累年年平均年降水量/mm	累年年最多降水量/mm	
相关系数	-0.39	0.72**	-0.06	-0.60*	-0.65*	
sig. (双侧)	0.18	0.01	0.84	0.03	0.02	

注: * 为在置信度(双侧)为 0.05 时,相关性是显著的; ** 为在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。

由于气象因子综合作用于土壤盐碱化,因此在相关分析的基础上,进行多因子回归分析,以讨论与各气象因子对盐碱地分布的整体作用。由于与吉林省西部苏打盐碱地分布呈显著相关(sig. < 0.05)的 3 个气象因子(累年年平均风速、累年年平均年降水量、累年年最多降水量)之间的相关性均未达到 0.9,故将均带入进行回归分析。利用软件对吉林省西部 13 个县(市)的苏打盐碱地面积和气象因子进行多元回归模型拟合。得出吉林省西部苏打盐碱地面积和各气象因子的多元拟合模型,拟合结果达显著水平(sig. = 0.015 < 0.05),其拟合决定系数 $R^2 = 0.671$,说明这 3 个气象因子能够解释 67.1% 的吉林省西部苏打盐碱地分布规律。拟合的模型为:

$$y = 3.37 \times 10^9 x_1 - 3.23 \times 10^6 x_2 - 9.15 \times 10^6 x_3 - 3.78 \times 10^9 \quad (2)$$

式中: y ——苏打盐碱地面积(hm²); x_1 ——累年年平均风速(m/s); x_2 ——累年年最多降水量(mm); x_3 ——累年年最多降水量(mm)。

2.3 地形对吉林省西部苏打盐碱地分布的影响

2.3.1 海拔高度对吉林省西部苏打盐碱地分布的影响 图 1 为吉林省苏打盐碱地在不同海拔高度的

分布特征。由图 1 可见,吉林省西部苏打盐碱地均分布于地势较低处,海拔范围为 100~290 m,且海拔 125~176 m 内苏打盐碱地分布得较为集中,面积为 1.94×10^{10} m²,占吉林省西部苏打盐碱地总面积的 88.33%。海拔 132 m 处分布的苏打盐碱地最多,面积为 6.8×10^8 m²,且海拔高于 132 m 时和低于 132 m 时,均符合海拔高度与 132 m 越接近,苏打盐碱地分布面积越大的规律,例如,海拔高度 110,115,120 m 处苏打盐碱地面积分别为 7.38×10^6 , 9.80×10^6 , 3.51×10^7 m²;海拔高度 135,140,145 m 处苏打盐碱地面积分别为 6.47×10^8 , 5.38×10^8 , 4.59×10^8 m²。对吉林省海拔高度与相应海拔高度上苏打盐碱地面积进行相关分析,相关系数为 -0.521,且达到显著水平(sig. < 0.05)。这说明吉林省西部苏打盐碱地分布与海拔高度有显著的负相关关系,在海拔不低于 132 m 处随着海拔高度的升高,苏打盐碱地的面积呈减少趋势,且吉林省西部海拔最低处(132 m 以下)不是最利于积盐处。

利用 189 组吉林省西部海拔高度与相应海拔高度苏打盐碱地面积数据进行回归分析,结果见表 5。由表 5 可知,在所得 11 组不同拟合曲线中,三次曲线

与观测值的拟合度最好 ($R^2 = 0.554$, $\text{sig.} = 0.00 < 0.05$)。因此,吉林省西部苏打盐碱地与海拔高度的关系最适合用三次曲线进行建模,且回归方程为:

$$y = 766.91 x^3 - 4.56 \times 10^5 x^2 + 8.47 \times 10^7 x - 4.70 \times 10^9 \quad (3)$$

式中: y ——吉林省西部不同海拔苏打盐碱地面积 (hm^2); x ——海拔高度 (m)。

2.3.2 坡度对吉林省西部苏打盐碱地分布的影响

图 2 为吉林省苏打盐碱地在不同坡度区域的分布状况。由图 2 可知,吉林省西部苏打盐碱地均分布于坡度较平缓的地形内,坡度范围为 $0^\circ \sim 14.5^\circ$ 。其中,98.62% 的苏打盐碱地分布在坡度为 $0^\circ \sim 7.25^\circ$ 。且除了坡度为 $0^\circ \sim 1.45^\circ$ 范围(苏打盐碱地面积为 $5.64 \times 10^9 \text{ m}^2$)内,苏打盐碱地的分布面积随着坡度的增加而减少,如,坡度为 $1.46^\circ \sim 2.9^\circ$, $4.35^\circ \sim 5.8^\circ$, $7.25^\circ \sim 8.7^\circ$ 范围内的苏打盐碱地面积分别为 8.97×10^9 , 1.80×10^9 , $2.56 \times 10^8 \text{ m}^2$ 。这说明吉林省西部在坡度不小于 1.45° 处,地形坡度越缓,越不易于降水、

径流将盐分带走,越有利于土壤盐分的积累,故苏打盐碱地的面积就越大,且地势最平缓处(坡度范围为 $0^\circ \sim 1.45^\circ$)并不最有利于盐碱化发生。

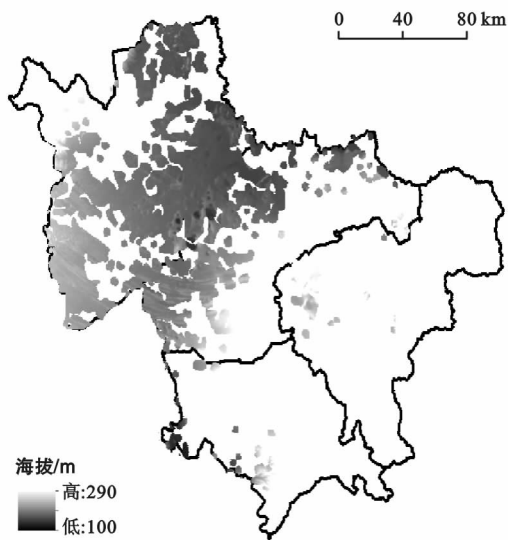


图 1 吉林省西部不同海拔高度苏打盐碱地分布

表 5 吉林省西部苏打盐碱地面积与海拔高度的回归模型

方程类型	R^2	F	sig.	参数估计值			
				常数	b_1	b_2	b_3
线性	0.27	69.21	0.00	4.67×10^9	-1.80×10^6	—	—
对数	0.24	58.00	0.00	1.73×10^9	-3.09×10^9	—	—
倒数	0.18	42.29	0.00	-1.44×10^9	4.65×10^{10}	—	—
二次	0.28	36.63	0.00	1.91×10^9	1.28×10^6	-7.89×10^3	—
三次	0.55	76.54	0.00	-4.69×10^9	8.47×10^7	-4.56×10^5	766.91
复合	0.34	95.35	0.00	5.63×10^9	0.97	—	—
幂	0.23	56.68	0.00	1.09×10^{18}	-4.83	—	—
S	0.13	28.94	0.00	12.77	625.18	—	—
增长	0.34	95.35	0.00	22.45	-0.03	—	—
指数	0.34	95.35	0.00	5.63×10^9	-0.03	—	—
Logistic	0.34	95.35	0.00	1.78×10^{-10}	1.03	—	—

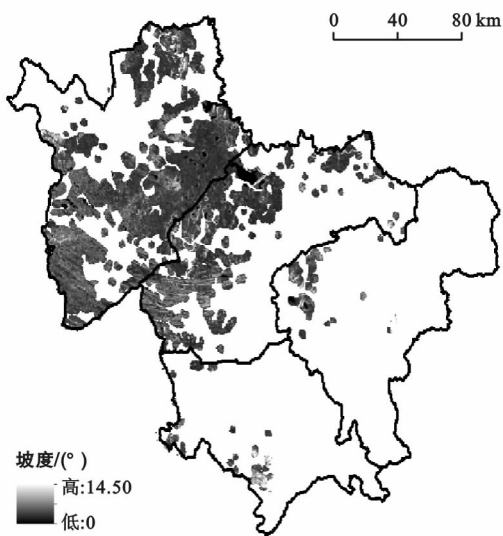


图 2 吉林省西部不同坡度苏打盐碱地分布

3 讨论

水文地质与水化学条件对土壤盐碱化发生起着重要的驱动作用,其主要影响因子为地下水矿化度、潜水埋深和地表、地下径流强度^[12]。松嫩平原地下水埋藏较浅(约为 1.5~3 m),矿化度较高(常为 2~5 g/L,最高可达 10 g/L)^[5],且该地区三面环山,中间地势低平,具有广阔的闭流区和数条无尾河,零散分布有众多湖泊,故水文地质与水化学条件有利于地表积盐^[5,13]。本研究结果显示,吉林省西部除距离水系 30 000 m 范围内,其他区域均符合苏打盐碱地面积随着离水系距离增加而减少的规律,且三次拟合曲线的拟合度较好 ($R^2 = 0.957$, $\text{sig.} = 0.00, < 0.05$)。这说明离水系距离对苏打盐碱地分布具有重要影响,地表

径流携带的盐分在距水系 30 000~35 000 m 范围内积累得最为集中,在此范围之外,随距离增加,盐分积累强度降低。30 000 m 范围之内不符合这个规律的原因有可能是离水系较远处地形有利于水盐排泄。江红南等^[17]对新疆库车县盐碱地的研究也有相似结论:水文条件对盐碱化发生具有稳定而重要的作用,距水系距离对盐碱化发生有显著的相关度。

气候在松嫩平原苏打盐碱化中起了关键性的控制作用。其中,影响土壤盐碱化最为明显的气象因子包括降水、地面蒸发强度、冻融时间、大风日数等^[12,18-20]。松嫩平原属于半干旱一半湿润季风寒温带气候区,干燥度约为 1.3,年平均降水 400 mm,70%~80%集中于7—9月,全年水面蒸发量 1 500~2 000 mm,风沙天气较多(平均风速 3 级以上),日照时间较长(约为 2 850~2 950 h)^[10,21]。东北地区每年的冻土期长达半年,冻土深度可达 1.2~1.5 m^[5]。因此,该区域的气候条件有利于土壤盐分的表聚。本研究结果表明,气象因子对吉林省西部苏打盐碱地的分布起着显著的影响作用,且影响因子按照相关度从大到小排序分别是:累年年平均风速>累年年最多降水量>累年平均年降水量。且累年年平均风速与苏打盐碱地面积呈正相关,后 2 个因子与苏打盐碱地面积呈负相关。这说明大风能够促进大气、土壤中水分的蒸发,促进了盐分表聚,且大风能将盐分带到非盐碱化区域或盐碱度较低区域,造成盐碱地面积扩大;降水对盐分有淋溶、冲洗作用,空气湿度的增加能够抑制土壤的蒸发作用,从而抑制表土积盐。另外,全球气候变化也影响了松嫩平原苏打盐碱化,如近 50 a 来气温上升 0.6 ℃,降水量减少 17.91%,这种气候干暖化加速了松嫩平原苏打盐碱化的发展^[9]。

地形、地貌能够决定降雨的重分配,影响地上、地下径流,促进母质的重分配,从而影响了土壤积盐的速度和强度^[19-20,22]。东北地区经过新构造运动后,地形较为平坦,不利排水,且该区堆积物土质较粘,渗透性差,造成地表积水,因此降水、径流带来的盐类随之积累下来^[5,21]。本研究结果表明吉林省西部苏打盐碱地的分布与海拔、坡度具有显著关系。且在海拔高度不低于 132 m,坡度不小于 1.45°处,吉林省西部苏打盐碱地分布面积随海拔升高而降低,随坡度增加而降低。这说明地势较低平处地下水埋藏较浅,出流状况较差,且苏打盐(Na₂CO₃, NaHCO₃)溶解度较高,在溶解后,随着径流移动到地势较低平处并积累。前人研究具有相似结论。许多研究结果表明,盐碱地多分布于地势低洼处,且盐碱地面积随着海拔高度的升高而减少,随着地势坡度的增加而减少^[20,23-25]。曹稳

根^[22]的研究结果认为,溶解度较低的盐分多积累于地势较高的区域,溶解度较高的盐分多积累于地势较低的区域。另外,吉林省西部海拔低于 132 m,坡度小于 1.45°的地形范围内,苏打盐碱地分布并不遵循上述规律,且海拔最低、坡度最小处苏打盐碱地分布面积并不是最多,而海拔 132 m,坡度 1.45°附近苏打盐碱地分布面积最大。有学者认为,这是因为雨季地势低洼处被淹没,中心低洼处的水盐随下行水流淋洗到地下水或向周围地势稍高处移动。因此,中心低洼处不是盐分积累最剧烈处,而其周围地势稍高地盐分积累才最为剧烈^[26]。

4 结论

(1) 离水系距离显著影响吉林省西部苏打盐碱地分布,水系 30 000 m 缓冲区外苏打盐碱地面积随离水系距离增加而减少,且离水系距离与苏打盐碱地面积的关系呈三次曲线($R^2 = 0.957$, sig. = 0.00, <0.05)。

(2) 与苏打盐碱地面积呈显著相关的气象因子分别为累年年平均风速、累年年最多降水量、累年平均年降水量。其中累年年平均风速与苏打盐碱地面积呈正相关,而其余 2 个因子与苏打盐碱地面积呈负相关。

(3) 海拔高度和坡度是影响吉林省西部苏打盐碱地分布的重要地形因素,且随着海拔高度的升高、坡度的增加,苏打盐碱地面积不断减少。

本研究是以遥感图像定性解译苏打盐碱地分布,因此,以后还应对土壤盐碱化程度进行定量测定并分析不同环境因子对轻、中、重度苏打盐碱地分布的影响。同时,还应对该区域内不同月份及年际气象因子与苏打盐碱地分布变化进行动态监测,以阐述气象因子对苏打盐碱地变化趋势的影响。

【参 考 文 献】

- [1] 阎鸿,赵光宇,马文超.吉林省西部盐碱化研究[J].中国环境管理丛书,2006(2):15-17.
- [2] 赵长巍.吉林省西部盐渍土空间变异性与均质化改良研究[D].长春:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所),2014.
- [3] 李彬,王志春.松嫩平原苏打盐渍土碱化特征与影响因素[J].干旱区资源与环境,2006,20(6):183-191.
- [4] 付浩阳.基于卫星遥感数据的吉林省西部盐碱地特性研究[D].长春:吉林大学,2016.
- [5] 姚荣江,杨劲松,刘广明.东北地区盐碱土特征及其农业生物治理[J].土壤,2006,38(3):256-262.
- [6] 张树文,杨久春,李颖,等.1950s 中期以来东北地区盐碱

- 地时空变化及成因分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(3): 435-442.
- [7] 杨帆, 章光新, 尹雄锐, 等. 松嫩平原西部土壤盐碱化空间变异与微地形关系研究[J]. 地理科学, 2009, 29(6): 869-873.
- [8] 李取生, 裘善文, 邓伟. 松嫩平原土地次生盐碱化研究[J]. 地理科学, 1998, 18(3): 268-272.
- [9] 林年丰, 汤洁. 松嫩平原环境演变与土地盐碱化、荒漠化的成因分析[J]. 第四纪研究, 2005, 25(4): 474-483.
- [10] 陈亚丽. 吉林省西部土地盐碱化的遥感监测[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [11] 李昌华, 何万云. 松嫩平原盐渍土主要类型、性质及其形成过程[J]. 土壤学报, 1963, 11(2): 88-101.
- [12] 洪彪, 宋洋, 潘杰. 松嫩平原盐碱化形成影响因素研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(30): 16895-16898.
- [13] 张学飞, 王清, 孔元元, 等. 吉林安农县盐渍土理化特性及水盐运移规律研究[J]. 人民长江, 2016, 47(12): 89-94.
- [14] 徐安凯, 姜健, 赵明清, 等. 吉林省西部草原的农业气候特点及土壤盐分动态规律[J]. 国外畜牧学: 草原与牧草, 1996(3): 27-31.
- [15] 邹滨, 董明辉, 杨令宾, 等. 松嫩平原西部土地盐碱化预测研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(6): 1022-1029.
- [16] 刘志明, 晏明, 何艳芬. 吉林省西部土地盐碱化研究[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 111-116.
- [17] 江红南, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽. 新疆库车县灌区土地盐渍化时空演变影响因子分析[J]. 干旱区研究, 2009, 26(4): 514-518.
- [18] 张文渊. 滨海地区盐碱土类型与形成条件分析[J]. 水土保持通报, 1999, 19(1): 22-26.
- [19] 郝金标, 张福锁, 毛达如, 等. 新疆盐渍土分布与盐生植物资源[J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 299-303.
- [20] 温利强. 我国盐渍土的成因及分布特征[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [21] 王晶, 肖延华, 朱平, 等. 松嫩平原盐渍土的发展演化与影响因素[J]. 吉林农业科学, 1995(2): 66-71.
- [22] 曹稳根. 安徽淮北地区盐碱土的成因及其改良措施[J]. 淮北煤师院学报: 自然科学版, 1997, 18(1): 73-76.
- [23] 张源沛, 胡克林, 李保国, 等. 银川平原土壤盐分及盐渍土的空间分布格局[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 19-24.
- [24] 张芳, 熊黑钢, 田源, 等. 区域尺度地形因素对奇台绿洲土壤盐渍化空间分布的影响[J]. 环境科学研究, 2011, 24(7): 731-739.
- [25] 褚冰倩, 乔文峰. 土壤盐碱化成因及改良措施[J]. 现代农业科技, 2011(14): 309-309, 311.
- [26] 卢长伟, 刘洪铤, 赵晓明, 等. 吉林省西部地区土壤盐渍化及防治简析[J]. 资源环境与工程, 2016, 30(3): 419-424, 463.

(上接第 88 页)

- [8] 陈盖, 许明祥, 张亚锋, 等. 黄土丘陵区不同有机碳背景下侵蚀坡面土壤呼吸特征[J]. 环境科学, 2015, 36(9): 3383-3392.
- [9] 马涛, 周波, 陈爱华, 等. 黄土丘陵沟壑区梯田、坡耕地土壤呼吸特征[J]. 人民黄河, 2015, 37(12): 84-87.
- [10] 郭慧敏, 张彦军, 刘庆芳, 等. 黄土高原半干旱区土壤呼吸对土地利用变化的响应[J]. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1686-1695.
- [11] 许浩, 张源润, 潘占兵, 等. 黄土丘陵区苜蓿地的土壤呼吸[J]. 草业科学, 2013, 30(4): 535-540.
- [12] 康颖, 侯扶江. 黄土高原紫花苜蓿草地土壤呼吸对刈割的响应[J]. 草业科学, 2011, 28(6): 892-897.
- [13] 陈吉, 王京, 高志娟, 等. 黄土丘陵区白羊草与达乌里胡枝子混播草地土壤呼吸日变化特征[J]. 草业科学, 2015, 32(1): 19-27.
- [14] 谢慧慧, 樊军, 齐丽彬, 等. 黄土高原水蚀风蚀交错区典型植被下土壤呼吸季节变化特征与影响因素[J]. 环境科学, 2010, 31(12): 2995-3003.
- [15] 齐丽彬, 樊军, 邵明安, 等. 黄土高原水蚀风蚀交错带不同土地利用类型土壤呼吸季节变化及其环境驱动[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5428-5436.
- [16] 王新源, 李玉霖, 赵学勇, 等. 干旱半干旱区不同环境因素对土壤呼吸影响研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(15): 4890-4901.
- [17] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. Tellus B, 1992, 44(2): 81-99.
- [18] 李学章, 邵明安, 魏孝荣, 等. 黄土高原水蚀风蚀交错带水分和密度对人工草地土壤呼吸影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 207-211, 216.