DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2021.01.09

山东黄河北矿区土壤盐渍化特征分析

郝启勇

(山东省煤田地质规划勘察研究院,山东济南 250100)

摘要:为了研究黄河北矿区土壤盐渍化现状及特征,采用野外调查、钻探、现场采样和室内分析测试等手段获取了土壤 盐分含量和地下水特征数据,分析了区内土壤盐分含量、空间分布、垂向变化及与浅层地下水的相互关系。结果显示, 研究区土壤主要以潜在盐渍土和轻度盐渍土为主,土壤盐分中阴离子以重碳酸根和硫酸根离子为主,阳离子以钠和钙离 子为主。土壤垂向上显示表聚性(0~20 cm),表层盐渍化严重,深部盐渍化程度有所降低。研究区土壤盐渍土与浅层地 下水存在内在的自然的直接关系,土壤全盐量与地下水中溶解性总固体(TDS)含量呈明显正相关关系,而与浅层地下水 位埋深呈负相关关系。研究区煤炭的开发利用,将加剧和恶化土壤盐渍化程度,煤炭的开采需要合理确定地表塌陷的程 度,以此来倒逼煤炭的开采开发模式,从而减缓土壤盐渍化程度。

关键词:黄河北;煤田;土壤;盐渍化;水位埋深

中图分类号: X141 文献标志码: A 文章编号: 1003-8035(2021)01-0065-05

Soil salinization characteristics in Huanghebei mining area

HAO Qiyong

(Exploration Research Institute of Shandong Coal Field Geology Bureau, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract: In order to study the current soil salinization characteristics in the Huanghebei mining area, field survey in situ sampling and indoor testing were adopted to study the soil salinity content, spatial distribution, vertical variation and the correlation between shallow groundwater and soil salinization. The results show that the soil is mainly composed of potential saline soil and slightly saline soil, the anions in the soil are mainly bicarbonate and sulfate ions, and the cations are mainly sodium and calcium ions. Soil shows surface aggregation vertically, surface salinization is serious, salinization degree is reduced in the deep. There is an inherent natural direct relationship between the saline soil and the shallow groundwater. The total salt content in the soil is obviously positively correlated with the total dissolved solid content in the groundwater, while it is negatively correlated with the depth of the shallow groundwater level. The development and utilization of coal mining in the study area will aggravate the degree of soil salinization and the coal mining needs to be reasonably determined according to the degree of surface collapse, so as to reducing the degree of soil salinization.

Keywords: Huanghebei; coal fields; soil; salinization; depth of water level

0 引言

黄河北矿区包括阳谷-茌平煤田和黄河北煤田,面 积约4600km²,煤炭资源总量2.5386×10¹⁰t,为国家规 划的鲁西煤炭基地最后一块未大规模开发的后备资源 储备基地。矿区位于山东省济南都市圈内,区内煤炭资 源丰富,人口密度不大,农业经济发达。受原生地质条件的影响,加之城市化、工业化及农田灌概等多因素叠加影响,区内土壤已经受到盐渍化的威胁^[1-3]。作为山东省最后一块整装能源基地,煤田的开发建设在带动区域经济发展的同时,也会对区域水土环境产生不良影响,研究区内土壤盐渍化现状及特征,将对煤田规划开

收稿日期: 2020-03-01; 修订日期: 2020-03-18

基金项目:山东省地质勘查项目"山东省黄河北矿区地质环境承载力调查与评价"(鲁勘字(2016)143号)

作者简介: 郝启勇(1979-), 男, 山西汾阳人, 硕士, 高工, 主要从事环境地质工作。E-mail: haoqiyong@163.com

发、区域生态环境管理和土地资源可持续利用具有重要意义。

1 研究区概况

黄河北矿区为温带季风区的海洋-大陆性气候,多 年平均气温 14 ℃,多年平均降水量 579.5 mm,6—8 月 雨量占全年降水量的 70% 左右,年平均蒸发量 1 648.1 mm。 区内地貌属黄河泛滥冲积平原,地形开阔平坦,受黄河 频繁决口泛滥影响,微地形复杂,主要以缓平坡地为主。

黄河北矿区含煤地层为石炭二叠系山西组和太原 组。阳谷-茌平煤田煤系地层总厚 240 m,含煤 15 层,其 中可采 7~8 层,可采煤厚 12.15 m,第一层主采煤层为 山西组 3 煤,厚度平均 3.40 m,煤类以气肥煤为主。黄 河北煤田煤系地层总厚 245 m,含煤 14 层,其中可采 7 层,可采煤厚 5.5 m,第一层主采煤层为太原组 7 煤, 厚度平均 0.83 m,煤类以肥煤为主。

矿区内第四系广泛分布,最上部为全新统平原组地 层,底深 15~30 m,为近代黄河冲积物,上部黄色砂质 黏土、黏土质砂为主,夹富含腐殖质黑色淤泥层,下部 浅黄、橙黄色砂质黏土、黏土砂。区内土壤为黄河冲积 母质发育而成,土壤类型以潮土为主,盐土和风沙土小 面积分布。

2 数据采集及样品分析测试

根据研究区地质条件、地形地貌和土地利用状况 等因素,在水盐相对均衡期内,以10km×10km方格划 分网格,每个网格按照梅花布点法采集样品,采样深度 为0~20cm(耕作层土壤)。另外,在赋存可采煤层上 方地表,垂直于地下水流向,布设2条剖面,施工10个 水文地质钻孔,对0~20cm、40~60cm、80~100cm 土 层分别进行采样,同时采集地下水。共采集土壤样品 77件,地下水样品10件。对土壤样品进行可溶盐测试^[4], 对地下水样品进行全分析测试^[5]。

3 土壤盐渍化特征

根据研究区土壤全盐量含量及对农作物的危害,将 土壤盐渍化分为非盐渍土(小于1g/kg)、潜在盐渍土 (1~2g/kg)、轻度盐渍土(2~4g/kg)、中度盐渍土 (4~6g/kg)和重度盐渍土(大于6g/kg)五类^[6-8]。

3.1 土壤盐分空间分布特征

根据分析测试结果(同时结合了中巴地球资源卫 星 CBERS02B 遥感影像数据解译成果,见图 1),研究区 土壤主要以潜在盐渍土和轻度盐渍土为主,其次为非盐 渍土,中度和重度盐渍土零星分布。潜在盐渍土区域呈 连续面状分布,主要分布在阳谷县西南部、茌平县北 部、齐河县部分地区及禹城市南部,占研究区总面积的 54.9%,这类土盐渍化程度较低,对作物生长影响不大, 但如果得不到有效防控,在适当的条件下土壤中全盐量 含量将会增加,转化为轻度盐渍化土。轻度盐渍土分布 在中度盐渍土的外围或独立分布,主要分布在阳谷县东 部、聊城市东昌府区东部、茌平县西南部、齐河城区以 北及齐河潘店镇等地,占研究区总面积的 19.6%。中度 和重度盐渍土主要分布在阳谷县七级镇、茌平县西部 区域和聊城东府昌区等洼地地带,呈零星岛状分布,占 研究区面积的 3%,该区域大部为洼地,现状主要为抛荒 地,无种植农作物,土壤表层可见白色盐霜。值得注意 的是,分布于聊城-东阿-阳谷一线的大片轻度盐渍土区 域,赋存的煤层厚度相对较厚,埋藏较浅。



3.2 土壤盐分离子含量及相关性特征

土壤盐分离子含量测试结果如表1所示,土壤 pH中位值为7.22,略呈碱性。土壤全盐量含量 0.99~4.47 g/kg,中位值为1.47 g/kg。研究区土壤盐分 中阳离子主要为钠离子和钙离子,钠离子含量 29.9~629 mg/kg,中位值为216 mg/kg,钙离子含量 31.7~545 mg/kg,中位值为171 mg/kg。阴离子主要为 重碳酸根离子和硫酸根离子,重碳酸根离子含量 0.17~1.89 g/kg,中位值为0.50 g/kg,硫酸根离子含量 0.09~1.57 g/kg,中位值为0.31 g/kg。阴离子中硫酸根 离子的变异系数最大,为0.87。阳离子中硫酸根 离子可能受施肥影响),钙离子的变异性较强,变异 系数为0.76。从变异系数看,土壤中硫酸根离子、钙离 子含量变化较大,可能更易在某处形成高含量的特征。

 $(g \cdot kg^{-1})$

れて 工業皿が何子口重売付款											
Table 1 Statistical table of salt ion content in soil											
	pН	$SO_4^{2-/}(g \cdot kg^{-1})$	$Cl^{-}/(g \cdot kg^{-1})$	$HCO_3^-/(g\cdot kg^{-1})$	$K^+/(mg \cdot kg^{-1})$	$Na^+/(mg \cdot kg^{-1})$	$Ca^{2+}/(mg\cdot kg^{-1})$	$Mg^{2+}/(mg\!\cdot\!kg^{-1})$	全盐量(g·kg ⁻¹)		
最大值	8.12	1.57	0.56	1.89	281	629	545	209	4.47		
最小值	6.36	0.09	0.03	0.17	8.85	29.9	31.7	38.6	0.99		
中位值	7.22	0.31	0.15	0.50	31.9	216	171	57.6	1.47		
标准差	0.49	0.35	0.15	0.47	60.1	165	122.6	36.5	0.81		
变异系数	0.07	0.87	0.72	0.76	1.18	0.63	0.76	0.56	0.47		

对土壤盐分中各离子进行相关性分析,结果见 表2。土壤全盐量与硫酸根离子、钙、镁离子呈现正相 关性,相反的与重碳酸根离子、钾离子呈现负相关,说 明土壤中重碳酸根离子、钾离子含量与当地土壤盐渍 化危害程度关系不大,而与硫酸根离子、钙镁离子关系

明显。表2也显示,土壤全盐量与钠离子含量关系不明 显。从阴阳离子相关性来看,硫酸根离子与钙、镁、钠 离子呈正相关,氯根离子与镁离子呈正相关,说明土壤 中盐分会以硫酸钙、硫酸镁、硫酸钠、氯化镁等形态 存在^[8]。

		Table 2	The correlatio	n coefficient m	atrix of soil sal	t 10n		
	全盐量	SO_{4}^{2-}	HCO ₃	Cl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	\mathbf{K}^{+}	Na ⁺
全盐量	1							
SO_{4}^{2-}	0.66	1						
HCO_3^-	-0.32	-0.57	1					
Cl	0.46	0.89	-0.54	1				
Ca ²⁺	0.87	0.58	-0.19	0.39	1			
Mg^{2+}	0.75	0.64	-0.15	0.54	0.78	1		
\mathbf{K}^{+}	-0.22	-0.44	0.68	-0.39	-0.05	-0.18	1	
Na ⁺	0.17	0.51	-0.01	0.49	0.19	0.47	-0.31	1

表 2 土壤盐分各离子相关系数矩阵

3.3 土壤盐分垂向分布特征

土壤垂向全盐量测试结果见表 3, T5、T21 采样点 垂向变化幅度较大,表层土壤(0~20 cm)含盐量高,而 40~60 cm、80~100 cm 深层土壤含盐量较低且趋于稳 定,土壤存在表层盐分富集现象。局部(T13号)采样点

表层及深层土壤含盐量均较高,可能属原生盐渍化,应 与地质条件有关。整体来说,研究区土壤垂向上盐渍化 变化较为复杂,表层盐渍化较为严重,深部盐渍化严重 程度有所降低。

表3 研究区土壤垂向全盐量测试结果表	表 3	
--------------------	-----	--

on			
----	--	--	--

采样点位/cm	T1	T5	Т9	T13	T17	T21	T25	T29	T33	T57	平均值
0 ~ 20	1.25	4.47	0.99	2.83	1.57	3.61	1.32	1.51	1.04	1.11	1.97
$40 \sim 60$	1.43	1.11	1.32	2.69	1.69	1.01	1.57	1.58	1.93	1.59	1.59
80 ~ 100	1.57	1.29	1.09	2.57	1.35	1.42	2.36	1.24	2.01	1.14	1.60

3.4 土壤盐渍化与地下水关系特征

研究区浅层地下水化学特征以 HCO₃-Na·Ca、 HCO₃-Ca·Na 为主, 局部为 SO₄·HCO₃-Na 和 HCO₃·Cl-Ca·Na 型。地下水 TDS 含量为 716~2 830 mg/L。土壤 全盐量与地下水中 TDS 含量相关系数为 0.80, 可见土 壤全盐量与地下水中 TDS 的含量密切相关。从水质类 型来看,土壤全盐量小于 2.5 g/kg 时,地下水水质类型 多为重碳酸型,当土壤全盐量较高时,地下水水质类型 由重碳酸型逐渐向硫酸根型转化。研究区浅层地下水 位埋深 2.7~5.7 m, 土壤全盐量与地下水位埋深相关系 数为-0.60,可见,土壤盐渍化程度与研究区地下水位埋 深有关,水位埋深越浅,土壤全盐量含量越高^[9](表 4)。

表 4 研究区土壤盐渍化与地下水关系表										
Table 4 Relationship between soil salinization and groundwater in the study area										
采样点位	T1	T5	Т9	T13	T17	T21	T25	T29	T33	T57
0~100 cm土壤全盐量/(g·kg ⁻¹)	1.42	2.29	1.13	2.70	1.54	2.01	1.75	1.44	1.66	1.28
溶解性总固体TDS/(mg·L ⁻¹)	952	1 324	716	2 830	924	1 742	1 454	904	1 284	818
潜水水质类型	HCO ₃ -Ca·N	a HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Na	SO₄·HCO₃-Na	HCO ₃ -Ca·Na	HCO ₃ -Na·Ca	HCO3-Na·Ca	HCO ₃ -Na∙C	a HCO ₃ -Na H	CO ₃ ·Cl-Ca∙Na
潜水位埋深/m	5.5	2.7	5.7	3.1	3.8	2.9	3.5	2.8	5.7	4.1

4 结论

(1)黄河北矿区土壤主要以潜在盐渍土和轻度盐渍 土为主,中度和重度盐渍土零星分布。土壤盐分中阴离 子主要为重碳酸根离子和硫酸根离子,阳离子主要为钠 离子和钙离子。土壤盐分会以硫酸钙、硫酸镁、硫酸 钠、氯化镁等形态存在。区内表层盐渍化较为严重,深 部盐渍化程度有所降低。

(2)黄河北矿区盐渍土主要分布在农业开发水平较高,引黄灌溉系统较为发达的洼地和缓平坡地内。由于 灌溉等人为影响,区域地下水动态波动较大,水位埋深 较浅时,在长期持续的蒸发作用下,包气带毛细水上升, 把地下水中的可溶性盐类带到土壤表层,使得土壤耕作 层盐分积聚。矿区气候、水文、地质条件等基本一致, 土壤盐分含量空间分布主要与微地形、土质及结构和 地下水性质等自然因素和农田灌溉等人为因素有关。

(3)黄河北矿区盐渍土与浅层地下水存在内在的自然的直接关系。土壤全盐量与地下水中溶解性总固体 TDS含量呈明显正相关关系,而与浅层地下水位埋深呈 负相关关系。土壤盐渍化程度与浅层地下水水质类型 关系复杂,土壤含盐量低于 2.5 g/kg 时,地下水中阴离 子以重碳酸根为主,阳离子以钠为主,钙次之;土壤含盐 量较高时,地下水中硫酸根和钠离子含量逐渐增大。这 是因为土壤盐分积累的硫酸盐溶解度较低,迁移能力较 弱,在浅层地下水中硫酸根离子赋存相对较少,但盐渍 土中积累的可能相对较多的缘故^[9]。

(4)黄河北矿区中阳谷茌平煤田主采3煤,厚度 3.40 m,煤层埋藏深度一般在800~1000 m,黄河北煤 田主采7煤,厚度0.83 m,煤层埋藏深度一般500~900 m。 煤炭的开采,必然引起上覆地层塌陷,随着开采规模不 断扩大,原有地面标高出现下沉,地面将形成一定范围 的地表沉陷洼地。地表下沉严重到潜水面附近,将会引 起地表常年积水或者季节性积水。阳谷茌平煤田因煤 层较厚,沉陷程度较大,地下水水位埋深3m左右,煤炭 开采将使得地表形成常年积水和季节性积水区。黄河 北煤田煤层较薄,沉陷程度较小,煤炭开采将使得地表 形成一定范围的沉陷洼地。在沉陷洼地和受季节性积 水影响区域,受地下水水位埋深降低和蒸发作用的双重 影响,土壤盐渍化现象将加剧恶化^[10-11]。研究区主体 功能区位于鲁北平原农业生态功能区内,农业经济发 达,土壤肥力较高,土地质量较好,大部分为基本农田。 为有效降低该区土壤盐渍化恶化程度,在合理确定地下 水水位的同时,需要合理确定地表塌陷的程度,以此来 倒逼煤炭的开采开发模式,才能减缓土壤盐渍化程度, 保护好基本农田。

参考文献(References):

- [1] 周在明.环渤海低平原土壤盐分空间变异性及影响机制研究[D].北京:中国地质科学院,2012. [ZHOU Zaiming. Spatial varialility and its effect mechanism of soil salinity in the low plain around The Bohai Sea[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2012. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 吕真真,杨劲松,刘广明,等.黄河三角洲土壤盐渍化与地下水特征关系研究[J].土壤学报,2017,54(6):1377-1385.
 [LYU Zhenzhen, YANG Jinsong, LIU Guangming, et al. Relationship between soil salinization and groundwater characteristics in the Yellow River Delta [J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54(6): 1377-1385. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 季顺乐,唐孟武,赵云香,等.山东省黄河下游地区盐渍 土地球化学特征[J].山东国土资源,2005,21(8):32-36. [JI Shunle, TANG Mengwu, ZHAO Yunxiang, et al. Geochemical characteristics of salted soil in lower course area of Yellow River in Shandong Province [J]. Land and Resources in Shandong Province, 2005, 21(8): 32-36. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000. [LU Rukun. Chemical Analysis Method for Soil Agriculture[M]. Beijing: China Agriculture Scientech Press, 2000. (in Chinese)]
- [5] 中华人民共和国地质矿产部.地下水质检验方法 DZ/T0064.1-80-1993[S], 1993. [Ministry of Geology and Mineral Resources of the People's Republic of China. Groundwater quality inspection method DZ/T0064.1-80-1993[S],

Beijing: 1993. (in Chinese)]

- [6] 赵凯,罗东海,郭超,等.新疆阿拉尔地区土壤盐渍化特征[J].中国煤炭地质,2018,30(10):46-49.[ZHAO Kai, LUO Donghai, GUO Chao, et al. Soil salinization features in Aral area, Xinjiang [J]. Coal Geology of China, 2018, 30(10):46-49.(in Chinese with English abstract)]
- [7] 刘宏伟,许静波,胡云壮,等. 潍北平原土壤盐渍化特征及其影响因素[J].中国农村水利水电,2018(12):20-24.
 [LIU Hongwei, XU Jingbo, HU Yunzhuang, et al. Distribution characteristics and affecting factors of soil salinization in Weibei Plain [J]. China Rural Water and Hydropower, 2018(12):20-24. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 黄璟焱,依米提·依米提,陈剑杰,等.新疆博斯腾湖东岸 盐 渍 土 分 布 特 征 [J].中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(1): 126-130. [HUANG Jingyan, HAMID Y, CHEN Jianjie, et al. Distribution characteristics of salted soils near the eastern bank of the Bosteng Lake, Xinjiang [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009, 20(1): 126-130. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 窦旭,史海滨,苗庆丰,等.盐渍化灌区土壤水盐时空变

异特征分析及地下水埋深对盐分的影响[J]. 水土保 持学报, 2019, 33(3): 246-253. [DOU Xu, SHI Haibin, MIAO Qingfeng, et al. Temporal and spatial variability analysis of soil water and salt and the influence of groundwater depth on salt in saline irrigation area [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(3): 246-253. (in Chinese with English abstract)]

- [10] 陈建平,朱哲,吴丽.基于塌陷裂缝非连续均质的土壤水分扩散物理模拟[J].中国地质灾害与防治学报,2018,29(2):66-72. [CHEN Jianping, ZHU Zhe, WU Li. Physical model test on moisture diffusion in discontinuous homogeneous soil with collapse-fissure [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(2):66-72. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 冯海波,董少刚,张涛,等.典型草原露天煤矿区地下水环境演化机理研究[J].水文地质工程地质,2019,46(1):163-172. [FENG Haibo, DONG Shaogang, ZHANG Tao, et al. Evolution mechanism of a groundwater system in the opencast coalmine area in the typical prairie [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2019, 46(1):163-172. (in Chinese with English abstract)]