

不同利用方式河套平原盐碱土盐分特征

景宇鹏^{1,2}, 李跃进¹, 高 娃^{1,3}, 蔺亚莉⁴, 李秀萍², 王文曦², 张欣昕², 狄彩霞²

(1.内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 呼和浩特 010011;

2.内蒙古自治区农牧业科学院资源环境与检测技术研究所, 呼和浩特 010031;

3.内蒙古自治区土壤肥料与节水农业工作站, 呼和浩特 010011; 4.榆林市榆阳区巴拉素区域农业技术推广站, 陕西 榆林 719000)

摘 要:为探讨土地利用方式对盐渍化土壤盐分特征影响,以河套平原 5 种利用方式(盐碱荒、改良地、牧草地、农用地、林地)下土壤为研究对象,采用野外取样与室内分析测试相结合的方法对其土壤剖面全盐量、盐分剖面类型以及盐分离子组成的变化规律进行了研究,结果表明:研究区土壤盐分离子以 SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 为主;剖面盐分离子分布不均匀,具有中、强变异性;总体表现为: $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-}$;土壤盐分变化与 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 变化规律基本一致,即随土层深度增加而减小。土地利用方式对土壤全盐含量及其离子组成的影响显著,盐荒地和改良地剖面土壤全盐量随土层深度增加而减少,农用地随土层深度增加而增大,牧草地随土层深度增加表现为先增加后减少,林地土壤全盐量剖面垂直变化幅度不大,且土壤剖面(0—100 cm)平均全盐含量依次为盐荒地>改良地>牧草地>林地>农用地;人类活动使得土壤盐分含量下降了 41.92%~79.33%,盐分类型由苏打氯化物型转化为苏打硫酸盐型,降低了盐碱的危害,且不同利用方式土壤全盐量与 SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 均呈显著的正相关,而与 Cl^- 成反比。本研究的结论对于提高盐渍化土地的利用潜力即耕地后备资源极其利用具有重要的理论和实际意义。

关键词:盐碱土;土壤盐分特征;不同利用方式;河套平原

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)01-0372-08

Salt Characteristics of Saline-Alkali Soil in Hetao Plain with Different Utilization Methods

JING Yupeng^{1,2}, LI Yuejin¹, GAO Wa^{1,3}, LIN Yali⁴ LI Xiuping²,

WANG Wenxi², ZHANG Xinxin², DI Caixia²

(1.College of Grassland, Resources and Enviroment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2.Institute of Resources Environment and Detection Technology, Inner Mongolia Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China; 3.Inner Mongolia Soil and Fertilizer Work Station, Hohhot 010011, China; 4.Balasu Region Agricultural Technical Extension Station in Yuyang District, Yulin, Shaanxi 719000, China)

Abstract: In order to explore the effect of land use patterns on salt characteristics of saline-alkali soil, the soils under five utilization modes (saline-alkali wasteland, improved land, pastoral grassland, agricultural land and forest land) in Hetao Plain were taken as the research samples. The variation of total salt content, salt profile type and salt ion composition in soil profile was studied by means of field sampling and indoor analysis. The results showed that SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ were the main salt ions in the soils in the study area, the distribution of salt ions in the soil profile was uneven with moderate and strong variability, and the contents of the ions decreased in the order: $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-}$; Changes of soil salt contents were basically consistent with those of Ca^{2+} , Mg^{2+} and SO_4^{2-} , the ion contents decreased with the increase of soil depth. The effects of land use patterns on soil total salt content and its ion

收稿日期:2019-01-03

修回日期:2019-04-03

资助项目:国家自然科学基金(41501578);内蒙古自然基金(2017MS0313);内蒙古农牧业科学院青年创新基金(2018QNJJN10)

第一作者:景宇鹏(1983—),男,内蒙古乌兰察布市察右前旗人,副研究员,博士,主要从事盐渍化土壤资源利用与土壤培肥研究。E-mail: jyp236@163.com

通信作者:李跃进(1960—),男,内蒙古呼和浩特市人,教授,硕士,主要从事盐渍化土壤资源利用。E-mail:liyuejin2005@126.com

composition were significant. Total contents of salts of wasteland and improved land decreased with the increase of soil depth, and Total contents of salts of agricultural land increased with the increase of soil depth. The soil total salt content of forest land increased at first and then decreased with the increase of soil depth, and the average total salt content of soil profile (0—100 cm) decreased in the order: saline-alkali wasteland> improved land> pastoral grassland> agricultural land> forest land, the salt content of soil were reduced by 41.92% to 79.33% due to human activities, and the salt type changed from soda chloride type to soda sulfate type, which reduced the harm of salt and alkali. The total salt contents of different utilization methods were positively correlated with SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, but inversely proportional to Cl^- . The conclusions of this study can provide scientific basis for improving the utilization potential of salinized land and are of great theoretical and practical significance to provide scientific basis for the extreme utilization of cultivated land reserve resources.

Keywords: saline-alkali soil; soil salt characteristics; different utilization patterns; Hetao Plain

土壤盐渍化是一个世界性的问题,也是中国生态环境和农业生产稳定持续发展尚须解决的重大问题,严重影响区域农业的可持续发展^[1-2]。我国盐渍土面积大、分布广,从湿润地区到极端干旱荒漠范围内均普遍存在^[3],尤其在干旱和半干旱区,土壤盐渍化严重制约了该地区土地生产力的发展与可持续利用。河套平原是我国西北地区最主要的盐碱土分布区,由于特定的水文地质条件和长期不合理的大水漫灌制度,土地盐碱化和次生盐渍化现象呈逐年增加的趋势,盐碱胁迫已成为制约河套地区土地资源利用的主要障碍因子,严重限制了当地农业生产和土地生产力^[4-5]。因此,为提高盐碱化土地资源的利用潜力,深入研究土壤盐碱化特征及其空间分布规律,是合理利用盐碱化资源,促进农业可持续发展的重要保障^[6]。

土地利用变化是全球变化研究的核心和热点^[7],严重影响土壤元素结构与功能的稳定性,与土壤质量紧密相关^[8]。众多研究表明,不合理的土地利用方式必将导致土地质量的严重下降,甚至引起土壤盐渍化^[9-10],而土壤盐渍化反过来又会限制土地利用的方式,导致土地退化和土壤质量下降。目前,关于土地利用变化对土壤理化性状、土地生产力、生态环境^[6-12]以及因土地利用变化而引起的土壤盐碱化问题已做了大量研究^[13-17],且大多集中在典型岩溶区^[18]、自然保护区^[19]、低山丘陵区^[20]、集约化农业区^[21]和半干旱绿洲地区^[6,10,22]等,而有关河套平原地区不同利用方式下土壤盐碱化特征的研究较少。为此,本研究以河套平原盐渍化土壤的5种典型利用方式为研究对象,采用主成分分析和相关分析方法,探讨不同利用方式土壤可溶盐总量、各盐分离子在剖面上的变化类型与分布特征,以期为该地区盐渍化土地的管理、可持续开发与利用以及耕地后备资源极其利用提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于河套平原土默特左旗北什轴乡境内(111°18'—111°48'E, 40°26'—40°54'N)。该区域属干旱半干旱中温带大陆性气候,海拔高度在990~1 140 m,年均气温5.8℃,极端最高气温39.3℃,极端最低气温-37.4℃,≥10℃年积温1 700~3 200℃,无霜期90~132 d^[23];年降水量390~400 mm左右,降水年季分布不均,主要集中在7—9月,占年降雨量的70%~80%。年蒸发量为2 000~2 500 mm,蒸降比为5.12~6.25,湿润度K值为0.45^[24]。自然植被多属于中旱生和湿生性植物为主,常见优势种有黄蒿、冰草、狗尾草等,非地带性盐生植被有盐爪爪、碱蓬、盐角草、芨芨草、马蔺、山苦荬、芦苇等;土壤主要以盐化草甸土、草甸盐土、苏打盐土为主。

1.2 土壤样品采集

试验于2016年5月中旬在研究区内蒙古农业大学海流图科技园区选择具有典型性和代表性的5种利用方式(盐荒地、改良地、牧草地、农用地、林地)进行取样,每种利用方式下挖取4个土壤剖面,每个剖面距离约200~300 m。每个样点按0—10 cm, 10—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm, 80—100 cm土层进行分层取样,将采集的土壤样品装入自封袋带回实验室自然风干后,挑去石块、根径及各种新生体和侵入体,过筛处理后备用,共采集120个土壤样品,样地基本情况见表1。

1.3 分析方法

土壤pH采用电位法测定(土水比=1:5);土壤可溶性盐分离子测定采用1:5的土水比浸提, CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 离子采用双指示剂中和滴定法, Cl^- 离子采用硝酸银滴定法, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 采用EDTA滴定法, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 离子采用差量法^[25]。

表 1 取样点基本情况

利用方式	北纬	东经	海拔/m	利用情况
盐荒地	111°22′12.8″	40°40′37.1″	992	一直处于撂荒状态
改良地	111°21′52.1″	40°41′26.1″	997	2008 年施用脱硫石膏和有机肥后自然恢复
牧草地	111°22′28.4″	40°41′21.7″	990	2008 年施用脱硫石膏和有机肥后种植紫花苜蓿
农田地	111°22′14.3″	40°40′40.9″	992	2008 年施用脱硫石膏和有机肥后连年种植玉米
林地	111°22′46.5″	40°40′49.3″	1000	2008 年施用脱硫石膏和有机肥后杨树育苗

1.4 数据处理

试验数据用 Excel 2007 整理并制图,采用 SPSS 16.0 统计分析软件进行相关性分析和主成分分析。用 Pearson 相关系数表征全盐量、pH 及离子间的相关性。土壤全盐量=8 种盐分离子质量分数之和。

2 结果与分析

2.1 土壤盐分离子垂直分布特征

土壤盐分离子剖面统计性描述分析结果来看(表 2),剖面土壤不同层次盐分离子含量差异较大。剖面土壤 CO_3^{2-} 含量介于 0.022~0.058 g/kg, HCO_3^- 含量介于 0.396~0.512 g/kg, Cl^- 含量介于 0.123~0.157 g/kg, SO_4^{2-} 含量介于 0.428~1.891 g/kg, Ca^{2+} 含量介于 0.090~0.486 g/kg, Mg^{2+} 含量介于 0.088~0.229 g/kg, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量介于 0.133~0.297 g/kg;同时从土壤剖面盐分离子的垂直变化情况来看, HCO_3^- , Cl^- , CO_3^{2-} 和 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量在土壤剖面垂直方向上整体波动不大,其中 CO_3^{2-} 和 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量随土层深度增加逐渐增加, HCO_3^- 和 Cl^- 含量随土层深度增加无明显的变化规律;而 Ca^{2+} , Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 含量在土壤剖面垂直方向上整体波动较大,且随土层深度增加逐渐降低,变幅逐渐增大。整体来看,研究区由于春季土壤强烈的地表蒸发,土壤中的许多可溶性盐类随土壤水上升而积聚于地表,造成土壤盐分表聚现象明显,盐碱化程度较重。整个剖面土壤盐分离子表现为: $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-}$ 。对不同土壤剖面层各盐分离子比较, Ca^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{2-} 含量各土层差异显著($p < 0.05$),其他离子在各土层的差异不显著。

变异系数是反映变量离散程度的重要指标,在一定程度上揭示变量的空间分布特性^[26]。研究区剖面土壤盐分离子垂直分布的变异系数均介于 11.59%~139.20%,其中剖面土壤 CO_3^{2-} 变异系数介于 89.85%~109.00%、 HCO_3^- 变异系数介于 11.59%~77.75%; Cl^- 变异系数介于 38.37%~91.20%、 SO_4^{2-} 变异系数介于 59.53%~119.23%、 Ca^{2+} 变异系数介于 31.63%~93.20%、 Mg^{2+} 变异系数介于 49.84%~139.20%、 $\text{Na}^+ +$

K^+ 变异系数介于 31.53%~102.01%。依据变异系数划分标准^[27]: $\text{CV} < 10\%$, 弱变异性; $\text{CV} = 10\% \sim 100\%$, 中等变异性; $\text{CV} > 100\%$, 强变异性。研究区土壤盐分离子属于中、强度的变异程度。 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 在 0—40 cm, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 在 0—10, CO_3^{2-} 在 60—100 cm 土层均呈强烈的空间变异性; Cl^- , HCO_3^- 和 Ca^{2+} 在整个土壤剖面(0—100 cm), CO_3^{2-} 在 0—60 cm, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 在 0~10 土层均呈中等变异性。

2.2 土壤盐分离子间相关性

为进一步了解土地利用变化过程中,土壤盐分与其组成离子之间的变化关系,分别对其进行了相关分析,能在一定程度上反映出盐分在土壤剖面中的存在形态、运移规律及运移趋势^[28-31]。研究区土壤 pH 与 HCO_3^- , CO_3^{2-} 间存在极显著的正相关,这是因为研究区除农用地 0—40 cm 土壤 pH 小于 8.50 外,其他土壤不同土层 pH 在 8.72~10.60,呈碱性,而碳酸盐和重碳酸盐是其主要的碱性盐,导致研究区土壤碱化较强。同时研究区由于春季土壤盐分运移强烈,表聚现象较为明显。0—10 cm 土层全盐量除与 Cl^- , CO_3^{2-} 差异不显著外,与其他离子均呈显著或极显著相关,其中与 SO_4^{2-} , Ca^{2+} 相关性较大;土壤 pH 与 CO_3^{2-} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} 呈极显著正相关,其中与 CO_3^{2-} , HCO_3^- 相关性较大; SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} , Mg^{2+} 呈极显著相关。10—20 cm 土层全盐量除与 Cl^- , HCO_3^- 差异不显著外,与其他离子均呈显著或极显著相关,其中与 SO_4^{2-} , Mg^{2+} 相关性较大;土壤 pH 与 CO_3^{2-} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} 呈显著相关。

从整个土壤剖面盐分离子间相关性来看(表 3),土壤全盐量除与 Cl^- 差异不显著外,与其他离子均表现出极显著的正相关,其中与阴离子相关性最大的是 SO_4^{2-} ,与阳离子相关性较强的是 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ;土壤 pH 与阴离子相关性最大的是 CO_3^{2-} ,与阳离子相关性最大的是 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$;此外 Ca^{2+} 与 CO_3^{2-} , Mg^{2+} 与 CO_3^{2-} , HCO_3^- 间也存在极显著正相关,这是因为土壤溶液中 Ca^{2+} 含量的增加,容易形成碳酸盐的沉淀,降低其浓度。说明 Ca^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- 在控制区域盐分组成具有重要作用。

表 2 典型剖面土壤盐离子含量统计特征参数 g/kg

深度/cm	统计值	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺ + Na ⁺
0—10	max	0.057	1.020	1.247	0.721	0.109	5.552	0.382
	min	0.000	0.149	0.045	0.016	0.063	0.093	0.010
	mean	0.022	0.396	0.486	0.229	0.123	1.819	0.133
	SD	0.020	0.308	0.453	0.264	0.091	2.147	0.135
	CV/%	89.850	77.750	93.210	115.360	73.520	118.010	102.010
10—20	max	0.070	0.904	1.040	0.790	0.315	5.397	0.434
	min	0.000	0.162	0.095	0.026	0.087	0.196	0.042
	mean	0.030	0.468	0.441	0.209	0.167	1.664	0.225
	SD	0.028	0.258	0.374	0.287	0.098	1.984	0.146
	CV/%	92.820	55.060	84.660	137.000	58.610	119.230	64.610
20—40	max	0.098	0.665	0.705	0.640	0.248	3.942	0.398
	min	0.000	0.331	0.052	0.041	0.078	0.114	0.156
	mean	0.038	0.500	0.335	0.171	0.147	1.265	0.241
	SD	0.037	0.158	0.275	0.238	0.056	1.466	0.076
	CV/%	97.410	31.640	82.100	139.200	38.370	115.910	31.530
40—60	max	0.107	0.630	0.473	0.404	0.126	2.466	0.403
	min	0.000	0.448	0.034	0.026	0.068	0.237	0.095
	mean	0.042	0.512	0.240	0.137	0.157	0.929	0.269
	SD	0.041	0.059	0.185	0.133	0.080	0.829	0.108
	CV/%	97.430	11.590	77.200	96.570	50.930	89.240	40.280
60—80	max	0.115	0.630	0.310	0.165	0.393	1.053	0.446
	min	0.000	0.199	0.017	0.018	0.049	0.134	0.062
	mean	0.047	0.482	0.144	0.100	0.154	0.560	0.267
	SD	0.050	0.150	0.096	0.050	0.123	0.333	0.119
	CV/%	107.690	31.160	66.750	49.840	79.910	59.530	44.710
80—100	max	0.148	0.784	0.129	0.197	0.393	0.908	0.555
	min	0.000	0.033	0.043	0.031	0.039	0.041	0.032
	mean	0.058	0.476	0.090	0.088	0.142	0.428	0.297
	SD	0.063	0.261	0.028	0.056	0.129	0.325	0.168
	CV/%	109.000	54.860	31.630	63.640	91.200	75.990	56.610

表 3 土壤剖面盐分离子间的相关性

离子	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺ + Na ⁺	全盐量	pH
CO ₃ ²⁻	1.000								
HCO ₃ ⁻	0.026	1.000							
Ca ²⁺	0.432**	0.371*	1.000						
Mg ²⁺	0.439**	0.567**	0.810**	1.000					
Cl ⁻	0.213	-0.090	-0.168	-0.171	1.000				
SO ₄ ²⁻	0.474**	0.466**	0.940**	0.951**	-0.203	1.000			
K ⁺ + Na ⁺	0.711**	0.406**	0.341*	0.481**	0.383*	0.476**	1.000		
全盐量	0.508**	0.547**	0.928**	0.953**	-0.115	0.991**	0.557**	1.000	
pH	0.739**	0.484**	0.415**	0.588**	-0.119	0.552**	0.727**	0.598**	1.000

2.3 不同利用方式土壤全盐垂直分布

土地利用变化对土壤剖面全盐含量及其离子组成的影响显著(图 1)。未受人类活动影响的盐荒地土壤含盐量随土层深度增加而逐渐减少,由表层(0—10 cm)的 8.97 g/kg 逐渐减少至底层(80—100 cm)的 1.78 g/kg,变化幅度较大,变异系数为 58.69%,具有明显的表聚特征,表层 0—20 cm 盐分占整个剖面

54.41%。这是在研究区无植被覆盖下土壤盐分的典型分布特征。对比受人类活动干扰下不同植被类型土壤剖面平均盐分特征来看,改良地土壤剖面表层(0—10 cm)盐分质量分数最大,为 4.05 g/kg,土壤含盐量垂直方向上随土层深度增加而逐渐减少,也具有明显的表聚现象,这与采样时改良地地表植被稀疏,同时地表有少量结盐现象一致,表层 0—20 cm 盐分

占整个剖面 39.70%, 20 cm 土层以下趋于稳定, 基本稳定在 2.8 g/kg 左右; 农用地土壤含盐量随土层深度增加逐渐增加, 具有明显的底聚特性, 80—100 cm 土层盐分含量为 1.34 g/kg, 且在垂直方向上变幅较小, 变异系数 17.84%; 牧草地土壤含盐量变化介于 0.89~1.47 g/kg, 土壤含盐量垂直方向上呈现先增大后减少的变化趋势, 10—20 cm 土层土壤全盐含量最大, 为 1.87 g/kg; 林地土壤全盐含量变化介于 1.14~1.55 g/kg, 且在垂直方向上的变幅较小, 为弱变异性, 变异系数为 8.53%, 平均含盐量明显低于其他利用方式。不同利用方式 0—20 cm 土层土壤盐分分布特征表现为: 盐荒地(8.76 g/kg) > 改良地(3.71 g/kg) > 牧草地(1.38 g/kg) > 林地(1.30 g/kg) > 农用地(0.90 g/kg); 盐荒地和改良地的表层含盐量远远高于其他利用方式。对不同利用方式土壤剖面全盐量比较, 未受人类活动影响的盐荒地各土层土壤全盐量与其他 4 种受人类活动干扰下的利用方式各层土壤全盐量差异显著 ($p < 0.05$), 表明人类活动对土壤盐分的空间分布有着重要影响。

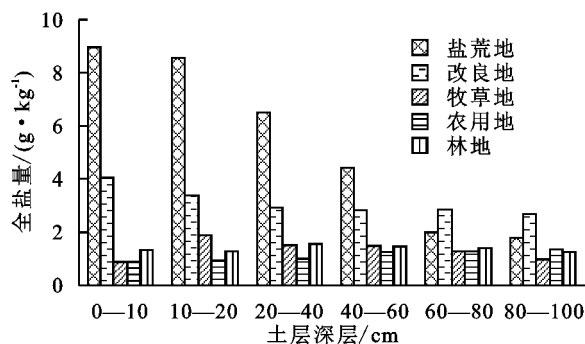


图1 不同利用方式土壤剖面中全盐量的分布特征

2.4 不同利用方式土壤盐分离子垂直分布

土壤盐分是由多种可溶性盐分离子组成, 直接影响到土地的利用、改良及其分类。因此, 为明确不同利用方式土壤盐分的变化特征与类型, 对不同深度的土壤盐分离子进行了分析(图2)。其结果表明: 盐荒地土壤中 Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} 含量随土层深度增加而减小, CO_3^{2-} 含量随土层深度增加而增大, Cl^- 含量在 20—40 cm 土层中达到最大, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含量呈“S”曲线变化, 在 10—20 cm 土层达最大; 改良地土壤中 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} 含量随土层深度增加而增大, Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 含量随土层深度增加而减小, Mg^{2+} 含量在 0—10 cm 土层中最大; 牧草地土壤中 HCO_3^- 含量随土层深度增加而增大, Ca^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, Cl^- 含量随土层深度增加表现为先增大后减小, 均在 10—20 cm 土层达最大, Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 含量呈“S”曲线变化; 农田土壤中 HCO_3^- 含量随土层深度增加而增大, Cl^- 和 Ca^{2+} 随土层深度增加而减少,

Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 含量呈“S”曲线变化, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 随土层深度增加表现为先增大后减小, 在 60—80 cm 土层达最大; 林地土壤中 HCO_3^- 含量随土层深度增加而增大; Ca^{2+} 和 Cl^- 含量随土层深度增加而减小, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 和 HCO_3^- 含量随土层深度增加先增大后减小, SO_4^{2-} 含量呈“S”曲线变化, Mg^{2+} 含量呈均匀性分布。整体来看, 不同利用方式土壤盐分离子剖面分布差异较大, 其中牧草地土壤剖面盐分离子组成中间层分布多, 上下层分布相对较少, 10—60 cm $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} 含量较高, 有抑制盐分表聚的作用; 林地土壤剖面盐分离子均匀分布; 盐荒地和改良地剖面盐分组成呈“表聚”型, 以 Ca^{2+} , SO_4^{2-} 表聚现象尤为显著, 即随土层深度增加离子含量减少; 农用地剖面盐分组成随土层深度增加离子含量增大, 呈底聚型, 而 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, HCO_3^- 含量随土层深度增加而增大。

3 讨论

近年来, 随人类活动对土地资源的不断干扰, 土地资源与环境间的矛盾日益突出, 土地利用变化/方式对土壤特性产生的影响也越来越重大, 这将导致土壤性质向着不同方向演变^[32]。河套平原由于其特定的水文地质条件和长期对水土资源不合理利用, 耕地盐碱化面积和盐碱化程度逐年增加, 原生盐碱化和次生盐碱化现象在该区域十分普遍^[33], 盐碱胁迫已成为影响区域农业生产和土地生产力的最主要因子^[4-5, 34]。土壤的盐碱化现象必然导致土壤性状和土地的生产力能力发生明显的改变, 严重影响着区域农业的可持续发展。反之, 不同土地利用方式对土壤盐碱化也会产生重要的影响。研究区土壤剖面 HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- 和 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量在垂直方向上整体波动不大, Ca^{2+} , Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 波动较大, 同时土壤全盐在剖面的变化规律又与 Ca^{2+} , Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 相一致, 且相关性也较大, 故土壤盐分表聚现象明显, 这与王丹丹等^[35]对渭干河绿洲不同土地利用类型剖面土壤盐分离子变化规律既有相似之处又有所差异。同时从土壤盐分离子组成来看, 阳离子中 Ca^{2+} 占据绝对优势, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 次之, 阴离子中 SO_4^{2-} 占据绝对优势, Cl^- 次之, 这与人研究^[26, 33-37]结果不一致, 这可能是由研究区域本身的差异所造成的, 后者采样主要研究以自然因素为主导的盐碱化特征, 而本研究主要侧重于受人为因素影响较大的盐碱化土壤。

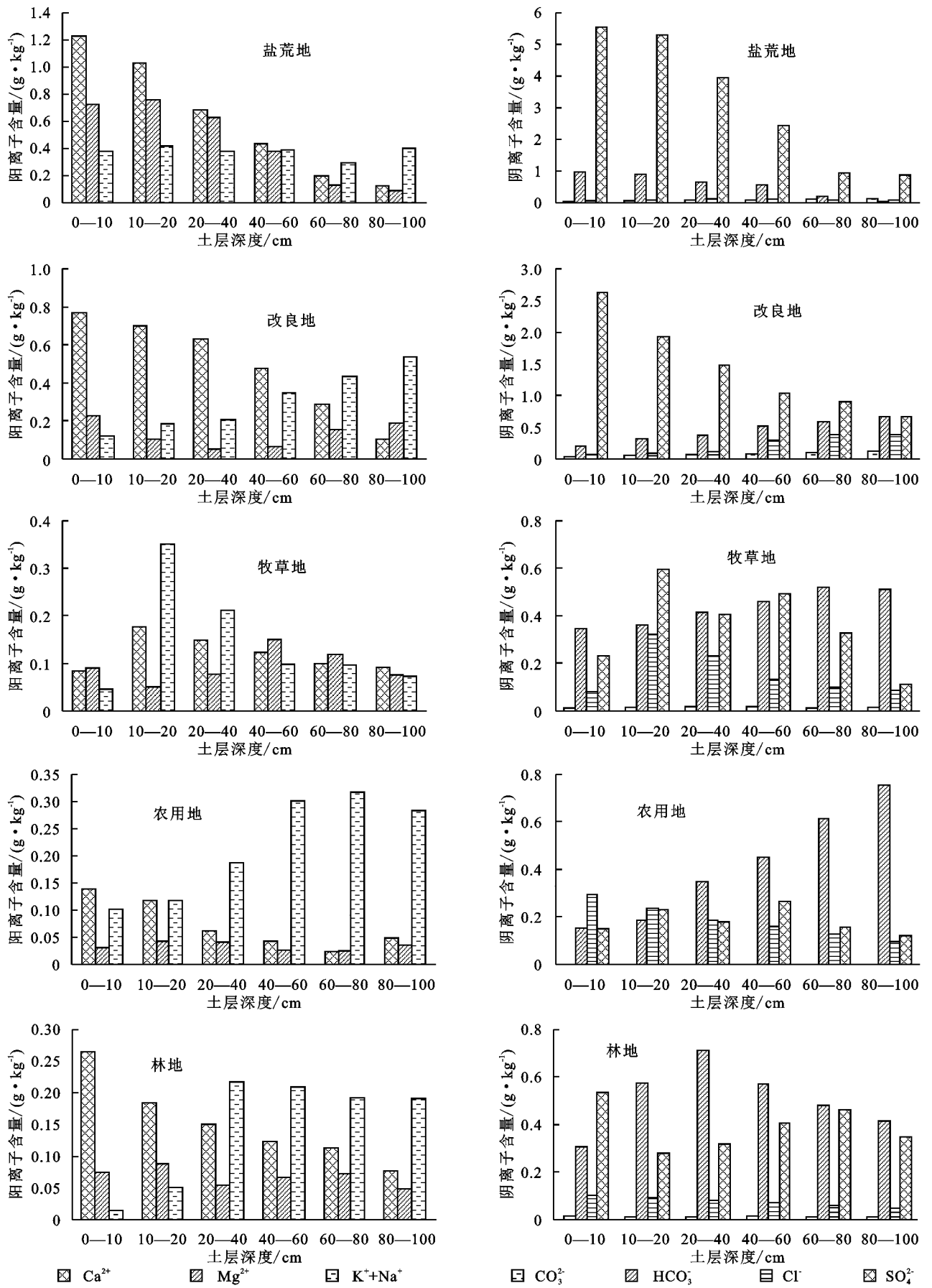


图 2 不同利用方式下土壤剖面盐分分布特征

不同利用方式对土壤剖面盐分影响差异较大,一方面是由于本身所处地区的地形和水文地质特征差

异所引起^[15],另一方面由于人为因素的强烈干扰,如耕作措施、施肥、灌溉、地下水利用等都会影响到土壤中盐分的重新分布^[37]。研究区大面积的盐碱荒地开发利用,使得土壤盐分含量下降了41.92%~79.33%,尤其对表层(0—20 cm)盐分含量影响最为显著,且盐渍化程度由重度盐碱土转变为中轻度盐碱土,这将有利于盐碱化土壤的良性发展。未受人类活动影响的盐荒地盐分聚集于表层,而受人类活动干扰较大的农用地盐分聚集于底层,且盐荒地表层含盐量远远高于其他几种利用方式,这与王雪梅^[36]、李宝富^[38]、王丹丹^[35]、贡璐等^[39]、姚荣江^[40]等对渭库、渭干河绿洲、塔里木河上游绿洲、黄河三角洲不同土地利用方式土壤盐渍化特征研究结果基本一致,认为盐荒地对盐分富集作用明显强于农用地,这可能是由于农用地在长期耕作、施肥和大水灌溉等因素的综合作用的作用下,改变了土壤盐分状况,使得土壤中各盐分离子含量急剧减少,且向下运移后聚集于底层。林地和牧草地由于地表植被覆盖度较高,还有大量未分解的凋落物覆盖,能够减少地表水分蒸发,抑制盐分表聚^[41-43],使得盐分在剖面分布比较均匀,呈均匀型和橄榄型,这两种剖面类型是由自然因素影响的表聚型剖面(盐荒地)向受人类干扰强较大的底聚型(农用地)转化的两个过渡阶段。同时在有人类活动干扰的土地利用系统中,受人类活动干扰强度大的农用地,由于每年的耕作、灌溉等因素的影响,土壤剖面(0—100 cm)平均全盐含量较小,为1.11 g/kg;而相对人类活动干扰强度较小的改良地,从2008年进行土地整理后一次性施用有机肥和脱硫石膏后,再未有过深翻犁地等农业活动,基本和盐荒地管理水平一致,脱盐效果不理想,土壤全盐含量仍比较高,剖面平均含盐量为3.12 g/kg;林地和牧草地由于受人类活动干扰强度中等,牧草地每隔3 a翻耕后重新种植紫花苜蓿,林地基本上2~3 a进行一次锄草松土,使得二者土壤剖面平均含盐量相差不大,分别为1.37 g/kg,1.33 g/kg。研究区大面积的盐碱地通过科学合理的开发与利用,使得土壤盐碱化程度降低,而盐荒地由于地上植被稀疏,又缺乏科学合理的利用与保护,土壤盐碱化现象任然比较十分严重。因此,在盐碱化土地的开发利用过程中,要时刻关注土壤中盐分的运移特征,防治次生盐碱化的发生,为河套平原盐碱化土地的管理、可持续开发与利用以及耕地后备资源极其利用提供科学的依据。

4 结论

(1) 河套灌区盐渍化土壤中的主要阳离子是 Ca^{2+} , $\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$, 主要阴离子为 SO_4^{2-} , HCO_3^{-} ; 整个

剖面盐分离子含量具有中、强度的变异性, 其中 CO_3^{2-} 变异系数随深度增加而增大、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 变异系数随深度增加而减小、 $\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$, Cl^{-} , HCO_3^{-} 变异系数随深度增加先减小后增大; 研究区土壤盐分变化与阴离子 SO_4^{2-} 和阳离子 Ca^{2+} , Mg^{2+} 的变化规律基本一致。

(2) 不同利用方式对土壤剖面盐分离子分布特征及全盐含量的影响显著。牧草地和林地土壤剖面 HCO_3^{-} 含量随土层深度增加而增大, Ca^{2+} 和 Cl^{-} 含量随土层深度增加而减小, SO_4^{2-} 含量呈“S”曲线变化; 盐荒地和改良地 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 含量随土层深度增加而减小, 农田土壤中 HCO_3^{-} 含量随土层深度增加而增大, Cl^{-} 和 Ca^{2+} 含量随土层深度增加而减少, Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 含量呈“S”曲线变化, $\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$ 含量随土层深度增加表现为先增大后减小。盐荒地和改良地土壤全盐量随土层深度增加而减小, 呈表聚型; 农用地随土层深度增加而增大, 呈底聚型; 林地和牧草地变化幅度不大, 其中林地在整个剖面全盐呈均匀性分布, 牧草地随土层深度增加先增加后减少, 呈上下部低、中部高的橄榄型。

(3) 不同利用方式土壤全盐量除与 Cl^{-} 差异不显著外, 与其他离子均表现出极显著的正相关, 除 Cl^{-} 与 SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^{-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} 相关性较差外, 其他各离子之间相关性达显著或极显著水平; 同时受人类活动的影响, 土壤盐分类型由苏打氯化物型转化为苏打硫酸盐型, 盐碱危害降低。

参考文献:

- [1] 徐恒刚. 中国盐生植被及盐渍化生态治理[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.
- [2] 张杰. 大庆地区土壤理化性质及盐碱化特征评价[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [3] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [4] 安永清, 屈永华, 高鸿永, 等. 内蒙古河套灌区土壤盐碱化遥感监测方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(3): 316-322.
- [5] 杨劲松, 姚荣江, 王相平, 等. 河套平原盐碱地生态治理和生态产业发展模式[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7059-7063.
- [6] 王雪梅, 康璇, 赵枫, 等. 不同土地利用方式下渭—库绿洲土壤盐渍化特征分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 160-164.
- [7] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [8] 楚杨, 刘韬韬. 玛纳斯河流域中下游地区不同土地利用类型的水盐特征[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(8): 245-249.

- [9] 吴文斌,杨鹏,唐华俊.土地利用对土壤性质影响的区域差异研究[J].中国农业科学,2007,40(8):1697-1702.
- [10] 阿斯耶姆·图尔迪,李新国,靳万贵,等.开都河流域下游绿洲土壤盐渍化影响因子分析[J].水土保持研究,2014,21(2):82-86.
- [11] 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流为例[J].地理学报,1999,54(3):51-56.
- [12] 冯广京,林坚,胡振琪,等.2013年土地科学研究重点进展评述及2014年展望[J].中国土地科学,2014,28(1):3-19.
- [13] 李志,李新国,毛东雷,等.博斯腾湖西岸湖滨带不同植被类型土壤剖面盐分特征分析[J].西北农业学报,2018,27(2):260-268.
- [14] 张杰,陈立新,寇士伟,等.大庆地区不同利用方式土壤盐碱化特征分析及评价[J].水土保持学报,2011,25(1):171-175.
- [15] 王玉刚,李彦,肖笃宁.土地利用对天山北麓土壤盐渍化的影响[J].水土保持学报,2009,23(5):179-183.
- [16] 姚荣江,杨劲松,姜龙,等.基于聚类分析的土壤盐渍剖面特征及其空间分布研究[J].土壤学报,2008,45(1):56-65.
- [17] 李晓军,李取生,刘长江.松嫩平原西部不同土地利用方式盐渍化效应研究[J].土壤通报,2005,36(5):654-658.D
- [18] 蒋勇军,袁道先,章程,等.典型岩溶农业区土地利用变化对土壤性质的影响:以云南小江流域为例[J].地理学报,2005,60(5):751-760.
- [19] 刘世梁,傅伯杰,陈利顶,等.卧龙自然保护区土地利用变化对土壤性质的影响[J].地理研究,2002,21(6):682-688.
- [20] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等.低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响:以河北省遵化市为例[J].地理学报,2001,56(4):447-455.
- [21] 孔祥斌,张风荣,齐伟,等.集约农业区土地利用变化对土壤养分的影响[J].地理学报,2003,58(3):332-342.
- [22] 李宝富,熊黑钢,张建兵,等.古尔班通古特沙漠与绿洲交错带土地利用变化对土壤特性的影响[J].冰川冻土,2012,34(3):573-582.
- [23] 景宇鹏.土默川平原盐渍化土壤改良前后土壤特性及玉米品种耐盐性研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014:4-17.
- [24] 景宇鹏,李跃进,年佳乐,等.土默川平原不同盐渍化土壤酶活性特征的研究[J].生态环境学报,2013,22(9):1538-1543.
- [25] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:152-200.
- [26] 韩桂红,塔西甫拉提.特依拜,买买提沙吾提,等.基于典范对应分析的干旱区春季盐渍化特征研究[J].土壤学报,2012,49(4):681-687.
- [27] 王玉刚,肖笃宁,李彦.流域尺度绿洲土壤盐分的空间异质性[J].生态学报,2007,27(12):5262-5270.
- [28] 艾合买提·那由甫,李卫红,徐海量.塔里木河中游土壤分布规律及其特征研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(1):149-153.
- [29] 郭全恩,王益权,郭天文,等.半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究[J].土壤,2009,41(4):664-669.
- [30] 梁东,李新国,阿斯耶姆.图尔迪,等.博斯腾湖西岸湖滨带土壤剖面盐分特征分析[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):151-158.
- [31] 张飞,丁建丽,塔西甫拉提.特依拜.干旱区典型绿洲土壤盐渍化特征分析:以渭干河—库车河三角洲为例[J].草业学报,2007,16(4):34-40.
- [32] 桂东伟,穆桂金,雷加强,等.干旱区农田不同利用强度下土壤质量评价[J].应用生态学报,2009,20(4):894-900.
- [33] 景宇鹏,段玉,妥德宝,等.河套平原弃耕地土壤盐碱化特征[J].土壤学报,2016,53(6):1410-1420.
- [34] 刘志勇,赖格英,潘少明.赣江源头流域植被变化的水文响应模拟研究[J].长江流域资源与环境,2009,18(5):446-452.
- [35] 王丹丹,于志同,程猛,等.渭干河绿洲不同土地利用类型土壤盐分的变化特征分析[J].干旱区地理,2018,41(2):349-357.
- [36] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提.特依拜.渭干河—库车河三角洲绿洲表层土壤盐分空间异质性分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(5):88-93.
- [37] 蔺娟,艾尼瓦尔·买买提,地里拜尔·苏力坦.新疆盐渍化区土壤盐分离子的空间变异特征[J].水土保持研究,2007,14(6):184-187.
- [38] 李宝富,熊黑钢,张建兵,等.不同耕种时间下土壤剖面盐分动态变化规律及其影响因素研究[J].土壤学报,2010,47(3):429-438.
- [39] 贡璐,冉启洋,张雪妮,等.塔里木河上游绿洲土壤表层盐分特征及其影响因子分析[J].环境科学研究,2013,26(6):631-636.
- [40] 姚荣江,杨劲松.黄河三角洲地区土壤盐渍化特征及其剖面类型分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(11):106-112.
- [41] Clarke C J, George R J, Bell R W, et al. Dryland salinity in south-western Australia: Its Origins, remedies, and future re-search directions [J]. Australia Journal Soil Research, 2002,40(1):93-113.
- [42] Richard G. B, Nico E M, Swaminathan T, et al. Species differences in transpiration on saline discharge site[J]. Agriculture Watermanagement, 2001,50(1):65-81.
- [43] 张为政.草地土壤次生盐渍化—松嫩平原次生盐碱斑成因的研究[J].土壤学报,1993,30(2):78-91.