博斯腾湖西岸湖滨带土壤剖面盐分特征分析

梁 东^{1,2},李新国^{1,2},阿斯耶姆·图尔迪^{1,2},赖 宁^{1,2}

(1.新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2.新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 以博斯腾湖西岸湖滨带为研究区,采集三个时期不同土壤剖面样品,结合样品实验分析,探究土壤盐 分特征。研究结果表明:(1) 0~10 cm 土层中平均盐分含量为 3.919 g·kg^{-1} ,土壤盐分表聚现象强烈;(2) 垂直方 向上盐分离子中 Mg^{2+} 变异系数为 1.034,变化程度较大, HCO_3^- 变异系数为 0.080,变化程度较小;(3) 通过相关分 析,硫酸盐与氯化物在表土中积聚强烈,其中 SO_4^{2-} 与 $Na^+ + K^+$ 之间相关系数为 0.96, Cl^- 与 Mg^{2+} 相关系数为 0.79; Cl^- 和 $Na^+ + K^+$ 相关系数为 0.72;(4) 通过对比柽柳剖面下土壤盐分含量,夏秋两个季节土壤剖面土壤盐分呈现 明显的表聚现象, 0 ~ 10 cm 土层中盐分含量占总体的 27.37%和 21.88%,春季盐分在剖面上呈现强烈的底聚现象, 90~100 cm 土层盐分含量占总体的 21.53%;(5) 对比不同植被下土壤盐分特征,裸地、草地、林地、耕地四种地表 类型土壤中($Na^+ + K^+$): Mg^{2+} : Ca^{2+} 含量之比依次为 $85:2.5:1, 16:2.5:1, 9:0.9:1, 10:1.3:1,裸地中 <math>Ca^{2+}$ 含量为 0.104 g·kg^{-1} ,明显高于其它植被类型中 Ca^{2+} 含量; $Na^+ + K^+$ 含量差异不大,平均含量为 1.181 g·kg^{-1} ;草地中 Mg^{2+} 平均含量为 0.081 g·kg^{-1} ,是裸地中 Mg^{2+} 含量的 4.4倍。

关键词:土壤盐分;土壤剖面;湖滨带;博斯腾湖

中图分类号: S156.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)04-0151-08

Salinity characteristics of soil profiles in the western lakeside of Bosten Lake, Xinjiang

LIANG Dong^{1,2}, LI Xin-guo^{1,2}, Asiyemu Tuerdi^{1,2}, LAI Ning^{1,2}

(1. College of Geographic Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;

2. Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

Abstract: Taking western lakeside of Bosten Lake as study area, soil samples from different soil profiles in three seasons was collected, combined with the samples experiment and analysis to search the soil salinity characteristics. The research results showed that: (1) At the soil depth of 0 to 10cm, the average soil salinity content was 3.919 $g \cdot kg^{-1}$, the phenomenon of salt accumulated in the soil surface was strong; (2) In the vertical direction among the salt ions, the variation coefficient of Mg²⁺ was 1.034 with a bigger change, HCO₃⁻ a little change and its variation coefficient was 0.080; (3) Through the correlation analysis, it showed that sulfate and chloride were accumulated strongly in the topsoil, the correlation coefficient between SO_4^{2-} and $Na^+ + K^+$ was 0.96, while the coefficient between Cl^- and Mg^{2+} was 0.79, Cl⁻ and Na⁺ + K⁺ was 0.72; (4) By contrast soil salt content in tamarisk profiles, the soil salinity showed obvious aggregation in the surface layer during two seasons in summer and autumn, the salt content in 0 to 10 cm soil depth accounted 27.37% and 21.88% of the total. But in spring, the soil salinity showed strong aggregation at the bottom of profile, the salt content in 90 to 100 cm layer was 21.53% of the total; (5) Comparing soil salinity characteristics under different land cover, in the four land surface types as bare land, grassland, forestry land and cultivated land, the $(Na^{+} + K^{+}): Mg^{2+}: Ca^{2+}$ content weight radio were in turn as 85:2.5:1, 16:2.5:1, 9:0.9:1 and 10:1.3:1. In bare land, the content of Ca^{2+} was 0.104 g·kg⁻¹, obviously higher than other land types. The content of Na⁺ + K⁺ was no any difference, the average content was 1.181 g \cdot kg⁻¹. In the grassland, the average content of Mg²⁺ was 0.081 $g \cdot kg^{-1}$, it was 4.4 times of the content of Mg^{2+} in bare land.

Keywords: soil salinity; soil profiles; lakeside; Bosten Lake

作者简介:梁 东(1989—),男,新疆乌鲁木齐人,硕士研究生,主要从事干旱区水土资源变化及其遥感应用研究。

通信作者:李新国,E-mail:onlinelxg@sina.com。

收稿日期:2013-07-05

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2012211A053)

土壤盐分含量是衡量土壤盐碱程度的重要指标 之一,在目前土地质量不断恶化,尤其是我国西北地 区土壤盐碱化现象日益加剧的情况下,土壤盐分的 研究尤为重要[1-3]。土壤垂向剖面中土壤水分、养 分、盐分以及热量的运移随土壤层次变化而变 化[4-5]。以土壤剖面为研究对象,有助于了解土壤 盐分在垂直方向上的变化规律,是实现土壤科学管 理及合理利用的必要前提^[6]。近年来,利用数值分 析方法,对土壤剖面盐分变化规律和剖面类型进行 判断,已经有了很多较为详细的报道。李韵珠^[7]应 用多元统计方法对曲周北部盐渍土区的土壤盐渍化 类型和土壤盐分剖面类型进行了分析,据此得出近 年来该区盐渍土处于脱盐化过程的结论。李新国 等[8]运用相关分析和回归分析方法,分析了开都河 下游灌区土壤盐渍化特征之间的耦合关系,阐明了 干旱区绿洲土壤盐渍化各特征值的空间分布规律。 方华军等^[9]利用灰色关联分析方法探讨了人为因素 引起的松嫩平原水土环境的空间结构变化与土壤盐 渍化的耦合关系,确定了盐渍化形成和演化的直接 原因,同时还对影响土壤盐渍化面积各因子的贡献 率大小进行了比较。刘延峰等[10]利用主成分分析 法研究了焉耆盆地内荒地和耕地的土壤盐分特征, 结果表明,荒地内土壤盐分以表聚型为主而耕地土 壤以均匀型为主。本文以博斯腾湖西岸湖滨带为 例,在野外采样和室内实验的基础上,结合相关性分 析,对研究区总体土壤含盐量以及各盐分离子之间 的关系进行了研究和探讨;通过对比该区不同时期, 不同土地利用/覆盖类型土壤的含盐量,探究土壤剖 面盐分变化规律,为干旱区绿洲区域盐渍化土地的 管理、合理利用以及因地制宜地精准改良以及保障 干旱区绿洲社会经济的可持续发展,提供一定的理 论参考和实践依据。

1 研究区概况

研究区位于博斯腾湖西岸湖滨带,位于焉耆盆 地东南部,行政区域隶属于新疆巴音郭楞蒙古自治 州博湖县,地理位置 41°45′N~42°15′N,86°00′E~87° 26′E。该区域气候特征表现为热量充足,日照长,降 水稀少,蒸发强烈;年均气温 8.00℃~8.60℃,夏季 月平均气温 22.80℃,冬季月平均气温 9.00℃,最高 气温 39.00℃,最低气温 - 30.40℃,无霜期 176~200 d;年平均降水量 50.70~79.90 mm,蒸发量2 000.50 ~2 449.70 mm,蒸降比高达 40:1,属于南北疆过渡 的大陆荒漠性气候;研究区土地利用/覆盖类型主要 为耕地与未利用地,土壤类型主要有草甸土,沼泽 土、灌耕潮土、盐土、棕漠土、风沙土等;自然植被多 为芨芨草、芦苇、胡杨等,人工植被以农作物、果林 和田间防护林为主^[8]。

2 数据来源与处理方法

2.1 样品采集与预处理

本研究采用 GPS 定位技术,使采样点尽可能遍 及研究区范围内的主要土地利用/覆盖类型。采样 时间分别为 2012 年 7 月,2012 年 9 月以及 2013 年 4 月。分别对土壤剖面(0~10、10~20、20~30、30~ 40、40~50、50~60、60~70、70~80、80~90、90~100 cm)进行重复采集,共采集 29 个样点,共计样品 293 份。每个样点用 GPS 精确定位,获取样点的经纬度 坐标;土壤样品自然风干后,除去土壤中杂质,经过 物理研磨,分别过 20 目的筛子,之后将过筛的土壤 装入新的采样袋,贴好标签待用。

2.2 样品分析测试

2.2.1 土壤粒度测定 由于在沉积过程中,土壤保存了大量的有机质、碳酸盐等物质,造成沉积物的胶结,不利于粒度的测量,因此在测量前需对样品进行预处理。(1)取 0.5g土壤样品放入烧杯中,加入 10 ml浓度为 10%的 H₂O₂,在电热板上加热使其充分反应,除去土壤中的有机质;(2)加入 10 ml浓度为 10%的 HCl,并煮沸除去土壤中的碳酸盐;(3)将放有土壤样品的烧杯中注满蒸馏水,用保鲜膜密封以防杂质进入,放置阴凉处静置 24 h。抽取上层清液,加入 10 ml浓度为 0.05 mol·L⁻¹的(Na₂PO₃)₆进行分散。采用 Master Sizer – 2000 激光粒度分析仪对样品进行测量。测量范围 0.02~2000 μm,重复测量误差小于 2 μm。

2.2.2 土壤盐分离子测定 过筛后的样品 40 g 与 200 ml 蒸馏水混合,经过浸泡和振荡使土壤盐分充 分溶解后,进行土壤盐分及其组分、pH 值等测定。 采用双指示剂中和法测定 CO₃²⁻和 HCO₃⁻;采用 Ag-NO₃ 滴定法测定 Cl⁻;采用 EDTA 间接滴定法测定 SO₄²⁻;Ca²⁺、Mg²⁺采用 EDTA 络合滴定法测定;Na⁺ +K⁺采用差减法;采用残渣烘干法测定土壤可溶性 总盐含量。

2.3 数据处理

针对研究区土壤样本化学成分分析结果,利用 Excel与 SPSS17.0 对实验数据进行统计和分析。通 过采用最大值、最小值、平均值、标准差与变异系数 五个统计指标,分析研究区土壤盐分状况;通过相关 性分析,探讨各盐分组成之间关系的密切程度。对 比同一时期裸地、草地、耕地和林地不同土地覆盖类 型土壤盐分数据,分析地表植被对土壤剖面盐分含 量的影响;对比该区不同时期柽柳下土壤剖面盐分 数据,分析土壤盐分季节变化规律。

3 结果与分析

3.1 研究区土壤概况

3.1.1 土壤粒度特征分析 研究区土壤粒度总体 特征为:土壤中值粒径 *M_d* 介于 2.890~5.710之 间;平均粒径 *M_Z* 介于 3.320~5.860;偏度 *SK* 变化 范围为 -0.52~0.15,呈现极度负偏;峰度 *K_G* 范围 为 0.81~1.81,呈现正态分布。根据土壤粒级划分 标准,将博斯腾湖小湖区土壤分为粘土(< 0.004 mm)、极细粉砂(0.004~0.008 mm)、细粉砂(0.008 ~0.016 mm)、中粉砂(0.016~0.032 mm)、粗粉砂 (0.032~0.063 mm)、极细砂(0.063~0.125 mm)、细 砂(0.125~0.250 mm)、中砂(0.250~0.500 mm)和 粗砂(0.500~1.000 mm)9个粒级。从图1可知,博 斯腾湖小湖区土壤主要为极细砂、极粗粉砂、粗粉 砂、中粉砂、细粉砂。0~10、10~20、20~30 cm 三层 土壤中各粒级百分含量相差不大。各粒级范围的百 分含量均值在0~30 cm 层分别为粘土(5.10%),极 细粉砂(7.10%),细粉砂(15.20%),中粉砂 (18.16%),粗粉砂(16.65%),极粗粉砂(16.36%), 极细砂(12.32%),细砂(5.26%),中砂(3.26%),粗 砂(0.59%)。







3.1.2 土壤盐分特征分析 对研究区三个时期 29 个采样剖面不同层次的土壤含盐量进行经典统计分 析。从表1可知,研究区各层土壤含盐量的特征参 数值存在明显的差异。从变化幅度来看:90~100 cm 土壤含盐量变化幅度为 5.536 g·kg⁻¹,最大值与 最小值之比为 6.607, 最大; 其次为 0~10 cm 土壤, 含 盐量变化幅度为 5.446 g·kg⁻¹,最大值与最小值之比 为 4.676;其余各土层含盐量变幅范围在 1.194~ 3.612 g·kg⁻¹之间。从平均值来看,各层土壤含盐量 均值的变化范围在 1.656~3.919 g·kg⁻¹之间,总体上 含盐量偏高,说明过高的土壤盐分含量制约着该区农 业生产,成为了影响研究区经济发展的重要因素之 一。0~10 cm 土壤盐分远远大于其它土层,说明各层 土壤平均盐分含量在垂直方向上的变化强烈,总体上 存在着明显的表聚现象[11],这主要是由研究区特定 的地形条件、气候、水文水资源条件所导致的[12-13]。

从表1可知,0~90 cm 土层盐分变异系数在0.2

~0.5之间,表现为中等程度的变异性,90~100 cm 土壤含盐量变异系数为0.681,表现为强烈的变异, 地形条件是造成这种现象的主要原因。研究区位于 博斯腾湖西岸湖滨带,地下水矿化度季节变化明显, 从而导致底层土壤盐分含量变化强烈。此外,受到 土地利用方式差异、灌溉制度以及耕作方式的不同 等因素的影响,各层土壤含盐量也存在着中等程度 的变异性^[14]。

3.2 土壤盐分离子垂直分布特征

土壤盐分是由多种可溶性盐分离子组成,不同 类型盐碱土其土壤盐分离子组成差异显著,通常每 种类型盐碱土有1~2种主要盐分组成。土壤盐分 离子组成影响土壤理化性质,进而决定盐碱土壤脱 盐的难易程度^[15]。此外,由于化学元素的离子半 径、化合价、存在形态等的相似性,它们在植物、土 壤、沉积物等生命和非生命体中的存在往往具有一 定的相关性^[16]。 表 1 不同层次土壤盐分的统计特征参数/(g·kg⁻¹)

Table 1 Statistical feature parameters	s of	soil	salinity	in	different	layers
--	------	------	----------	----	-----------	--------

深度/cm Depth	最大值 Max values	最小值 Min_values	平均值 Average values	标准差 Standard deviation \	变异系数 Variation coefficient	峰度 Kurt	偏度 Skew
Depin	Max. Values	Mill. Values	Average values		anation coefficient	Kuit	SKew
$0 \sim 10$	6.927	1.481	3.919	1.576	0.402	-0.507	0.389
10 ~ 20	3.282	1.136	1.971	0.662	0.336	-0.661	0.522
20 ~ 30	2.925	0.949	1.943	0.492	0.253	1.075	-0.087
30 ~ 40	4.332	1.217	2.027	0.867	0.428	3.799	1.750
40 ~ 50	2.641	1.003	1.656	0.517	0.312	-0.742	0.467
50 ~ 60	4.461	1.181	2.114	0.855	0.404	4.807	1.947
60 ~ 70	2.728	1.157	1.861	0.458	0.246	- 0.220	0.015
70 ~ 80	4.626	1.014	2.135	1.064	0.498	1.128	1.100
80 ~ 90	2.389	1.195	1.836	0.443	0.241	- 1.594	-0.248
90 ~ 100	6.628	1.092	2.281	1.554	0.681	6.655	2.442

由表 2 可知, 各层土壤阴离子以 SO42-为主, 平 均值为 0.859 g·kg⁻¹,占相应深度土壤盐分含量的 30.39%~48.59%;阳离子以 K+和 Na+为主,平均 值为 0.969 g·kg⁻¹,占相应土壤盐分含量的 34.89% ~54.43%;各土层中的 CO32-含量均较低,大部分 土壤样品中未能检测出。各深度土壤的盐分离子组 成大致相同,但是各盐分离子含量在垂直方向存在 着变化,从变异系数可以看出:在垂直方向上,从表 层到底层 Mg²⁺含量由 0.153 g·kg⁻¹减小到 0.014 g·kg⁻¹,变异系数为1.034,变化明显;HCO⁻变化程

度弱,由0.073 g·kg⁻¹减小到0.064 g·kg⁻¹,变异系 数为0.080。

土壤盐分离子含量的活跃程度不仅可以反映出 自然因素的影响,还可以显示出人类活动的干扰强 度^[17]。由表2可知,在0~10 cm 土层中各离子含量 都远大于其余土层,表聚现象明显,这主要是由研究 区的自然因素所造成的;而在10~60 cm 土层中,盐 分离子含量仍然有较为明显的变化,这主要是受人 类活动的影响。

深度 Depth/cm	HCO ₃ -	Cl-	SO4 ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	$Na^+ + K^+$
0 ~ 10	0.070	0.478	1.412	0.129	0.153	1.677
10 ~ 20	0.073	0.168	0.744	0.092	0.043	0.851
20 ~ 30	0.063	0.119	0.790	0.084	0.022	0.865
30 ~ 40	0.065	0.126	0.823	0.064	0.028	0.922
40 ~ 50	0.059	0.103	0.665	0.074	0.017	0.737
50 ~ 60	0.058	0.113	0.886	0.087	0.028	0.941
60 ~ 70	0.057	0.101	0.772	0.089	0.020	0.822
70 ~ 80	0.069	0.165	0.833	0.059	0.036	0.973
80 ~ 90	0.062	0.115	0.742	0.052	0.014	0.852
90 ~ 100	0.066	0.155	0.919	0.066	0.019	1.055
最大值 Maximum values	0.073	0.478	1.412	0.129	0.153	1.677
最小值 Minimum values	0.057	0.101	0.665	0.052	0.014	0.737
平均值 Average values	0.064	0.164	0.859	0.080	0.038	0.969
标准差 Standard deviation	0.005	0.107	0.197	0.021	0.039	0.250
变异系数 Variation coefficient	0.080	0.652	0.230	0.264	1.034	0.258

Table 2 Statistical feature parameters of various salt ions in different layers

3.3 土壤盐分离子的相关性分析

通过对各离子之间的相关性分析,可以揭示土 壤盐分在土体中的存在形态以及盐分间相关性,可 以在一定程度上反映出盐分的运动趋势和形成原 因。从表 3 可知,0~10cm 土壤中 SO42-与 Na++ K⁺之间相关性最好,相关系数 0.96;其次 Cl⁻与

155

Mg²⁺有比较显著的正相关性; Cl⁻和 Na⁺ + K⁺相关 性次之;其余各盐分离子之间相关性不明显。说明 硫酸盐与氯化物在表土中积聚强烈,其中硫酸盐以 钾盐、钠盐为主,氯化物主要以镁盐、钾盐、钠盐为 主。

对比不同土壤深度各盐分离子之间相关性(表 4、表 5)可知,随着土壤深度的增加,各离子间相关 系数变化明显: $10 \sim 60 \text{ cm} \pm \text{层中}, \text{Mg}^{2+} 与 \text{Cl}^{-}$ 相关 系数由 0.79 减小到 0.17, Mg^{2+} 和 SO₄²⁻由正相关变 为负相关, Mg^{2+} 与 HCO₃⁻由负相关变为正相关; Na⁺ + K⁺与 HCO₃⁻由正相关变为负相关, Na⁺ + K⁺ 与 SO_4^{2-} 相关系数由 0.96 增加到 0.99。该层是人 类农业活动的主要发生层,土壤盐分组成易受人为 因素的影响,相对于自然因素,人类活动起着主导作 用。60~100 cm 土层中, Mg^{2+} 与 Cl⁻由正相关变为 负相关, Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 由负相关变为正相关, Mg^{2+} 与 HCO₃⁻相关系数由 0.03 增加到 0.79; Na⁺ + K⁺与 HCO₃⁻由负相关变为正相关, Na⁺ + K⁺与 SO_4^{2-} 相 关性未变。随着土壤深度的增加,人类活动对土壤 盐分离子的影响逐步减弱,在 60~100 cm 层土壤 中,自然因素成为影响土壤盐分离子变化的主要因 素,其中地下水矿化度是关键因素^[17]。

表 3 0~10 cm 深度土壤各盐分离子相关性分析

Table 3	The	correlation	coefficients	of	salt	ions	in	the	0	~	10	\mathbf{cm}	soil	la	yei
---------	-----	-------------	--------------	----	------	------	----	-----	---	---	----	---------------	-----------------------	----	-----

盐分离子 Salt ions	HCO ₃ -	Cl-	SO_4^2	Ca ²⁺	Mg ²⁺	$Na^+ + K^+$
HCO ₃ -	1.00					
Cl-	0.20	1.00				
SO4 ²⁻	0.52*	0.54*	1.00			
Ca ²⁺	0.20	0.39	0.26	1.00		
Mg^{2+}	-0.06	0.79*	0.55*	0.47	1.00	
$Na^+ + K^+$	0.53*	0.72*	0.96**	0.22	0.58*	1.00

注:*表示在 0.05 水平上显著相关; * *表示在 0.01 水平上显著相关。下同。

Note: * correlation is significant at 0.05 level; * * correlation is significant at 0.01 level. The same below.

	rusie i ine	conclusion coeffic	tonis or suit tonis in t	në 10 - 00 chi 50	in hayor	
盐分离子 Salt ions	HCO ₃ -	Cl-	SO4 ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	$Na^+ + K^+$
HCO ₃ -	1.00					
Cl -	-0.50*	1.00				
SO_4^{2}	-0.04	0.54*	1.00			
Ca ²⁺	0.09	0.29	0.36	1.00		
Mg ^{2 +}	0.03	0.17	-0.35	0.13	1.00	
$Na^+ + K^+$	-0.05	0.59*	0.99**	0.30	- 0.36	1.00

表 4 10~60 cm 深度土壤各盐分离子相关性分析

Table 4 The correlation coefficients of salt ions in the $10 \sim 60$ cm soil layer

表 5 60~100 cm 深度土壤各盐分离子相关性分析

	Table 5 The	he correlation coefficients of salt ions in the $60 \sim 100$ cm soil layer							
盐分离子 Salt ions	HCO3 -	Cl-	SO4 ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	$Na^+ + K^+$			
HCO ₃ -	1.00								
Cl -	-0.52*	1.00							
SO_4^{2}	0.58*	0.16	1.00						
Ca ²⁺	0.19	0.33	0.70*	1.00					
Mg ^{2 +}	0.79*	-0.08	0.62*	0.34	1.00				
Na ⁺ + K ⁺	0.50*	0.29	0.99**	0.69*	0.58*	1.00			

3.4 不同时期柽柳下土壤剖面盐分特征分析

柽柳属于耐寒、耐旱、耐贫瘠、耐风蚀的干旱区 自然植被。研究区属于典型的干旱区人工绿洲,区 内盐渍地分布广泛,且存在大范围的浅层地下水,是 柽柳成长的良好区域。以柽柳这一典型干旱区自然 植被下土壤剖面为研究对象,可以减小由人为因素 造成的土壤盐分变化的干扰,以便反应在自然条件 单一因素作用下的研究区土壤盐分特征。

通过图 2 可知,随着时间的推移,各层土壤盐分 含量变化明显,尤其是 0~10 cm 和 90~100 cm 土 层。0~10 cm 土壤盐分含量大幅度降低;10~50 cm 深度土壤盐分含量总体上增大,但变化不明显;50~60 cm、70~80 cm 土层以及 90~100 cm 土层土壤盐 分含量大幅升高。对比 2012 年 7 月、2012 年 9 月、2013 年 4 月三个时期柽柳下土壤剖面含盐量变化 特征,从图 3 可知:2012 年 7 月、9 月两个时期土壤 剖面土壤盐分呈现明显的表聚现象,0~10 cm 土层 含盐量远大于其余各层;2013 年 4 月土壤含盐量与 前两期相比具有明显的变化,90~100 cm 土层盐分 含量最大,呈现强烈的底聚现象。



图 2 不同时期柽柳下土壤剖面盐分含量

Fig. 2 Soil salinity of soil profile under Tamarisk in three seasons







2012年7月和9月,柽柳处于生长期,土壤盐分 的运移处于上升状态或平衡状态,在没有人为因素 的强烈干扰的情况下,土壤不会发生明显的脱盐过 程^[18];同时这两个时期博斯腾湖水位变化幅度不 大,地下水位相对较高,地表蒸发作用强烈,导致表 土盐分积聚性明显高于其它部位。2013年4月,土 壤剖面呈现低聚型主要是因为:经过冬季,博斯腾湖 湖面积大幅减小,该时期虽然在缓慢增大,但仍小于 2012年7月和9月湖面积,地下水位也相对较低,地 表蒸发作用较弱;该时期虽然盐分的运移处于上升 阶段,但由于土壤在经过脱盐后,表层土壤盐分急剧 降低,底层土壤盐分显著升高,这个时期盐分运移速 度缓慢,从而导致土壤盐分在 90~100 cm 呈现明显 的底聚现象。

3.5 不同植被类型土壤剖面盐分特征分析

明确不同植被类型对土壤剖面盐分离子迁移的 影响,对于指导盐渍化土壤生物改良及揭示干旱地 区土壤 - 植被 - 大气体系物质迁移与传输机理有重 要作用^[19]。以研究区 2013 年 4 月林地、裸地、草 地、耕地 4 种不同植被土壤剖面为研究对象,对比各 土层含盐量和盐分离子的变化特征,揭示研究区人 类活动对土壤盐分的影响。

从图 4 可知,耕地、林地、草地和裸地土壤剖面 含盐量都呈现出不同程度的表聚现象,其中耕地在 0~80 cm、林地在 0~60 cm 范围内,随着土层深度减 小土壤含盐量上升趋势明显,耕地在 80~100 cm、林 地在 60~80 cm 土层中,随着土层深度增加含盐量 均有所上升;草地和裸地剖面除 0~10 cm 土层外, 其余各层含盐量变化幅度不大。由于植物对土壤水 分的强烈吸收作用,使土壤中的水分向上运动,土壤 中的盐分会随着水分一起向上运移,从而导致了盐 分随着土壤深度的减小而增高。与草地和裸地相 比,林地、耕地中植被的密集程度要高,吸水能力强, 对土壤中盐分运移的影响明显。研究区属于典型的 人工绿洲,大量林地都属于人工林,而所采集的裸地 和草地基本分布在人迹鲜至的湖滨地区,表明人类 活动是造成土壤剖面含盐量变化的重要因素。

在盐渍环境中,土壤中的 Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺和 K⁺的相对比例被认为是作物生长的基本因 素^[20-23],土壤中各离子的积聚现象主要发生在 0~ 10 cm 土层。从表 6 可知,耕地的表层土壤总盐含量 最小,为 2.383 g·kg⁻¹,其余三类植被类型表层土壤 剖面的土壤总盐含量基本相同,但四种植被类型表 层土壤剖面的阳离子含量有所不同。其中裸地中 Ca^{2+} 含量为 0.104 g·kg⁻¹,明显高于其它地表类型 中 Ca^{2+} 含量;各类型土壤中 Na⁺ + K⁺含量差异不 大,平均含量为 1.181 g·kg⁻¹;草地中 Mg²⁺ 平均含 量为 0.081 g·kg⁻¹,是裸地中 Mg²⁺含量的 4.4 倍。 同一植被类型土壤中,各阳离子所占比例也不同,耕 地土壤剖面中 Na⁺ + K⁺含量、 Ca^{2+} 含量与土壤总盐 含量最小;裸地、草地、林地、耕地中 Na⁺ + K⁺, Mg²⁺,Ca²⁺含量之比依次为85:2.5:1,16:2.5:1,9: 0.9:1,10:1.3:1。除Mg²⁺以外,林地、耕地、草地的 阳离子含量均小于裸地,导致这一现象的主要原因 是由于植被对盐分离子的吸收造成的。植被越密 集,对土壤中盐分离子的吸收越强烈,因此草地、林 地和耕地土壤剖面中Na⁺、K⁺与Ca²⁺等阳离子含量 小于裸地土壤中相应阳离子含量。



图 4 耕地、林地、草地、裸地土壤剖面盐分含量变化特征

Fig.4 Soil salinity variation of soil profile under farmland, woodland, grassland and bare land

	Table 6	distribution	of soil	cations	under	Different	Vegetation	in	0~	10	cm
--	---------	--------------	---------	---------	-------	-----------	------------	----	----	----	----

土壤阳离子 Soil cation	统计参数 Statistical parameters	裸地 Bare land	草地 Grassland	林地 Woodland	耕地 Farmland
	平均值 Mean/(g·kg ⁻¹)	0.104	0.084	0.073	0.066
Ca ²⁺	标准差 Standard deviation/(g·kg ⁻¹)	0.047	0.051	0.071	0.035
	变异系数 Variation coefficient	0.452	0.608	0.973	0.532
	平均值 Average values/(g·kg ⁻¹)	1.230	1.207	1.195	1.091
Na ⁺ + K ⁺	标准差 Standard deviation/(g·kg ⁻¹)	0.519	0.571	0.470	0.208
	变异系数 Variation coefficient	0.422	0.473	0.393	0.190
	平均值 Average values/(g·kg ⁻¹)	0.018	0.081	0.048	0.034
Mg ² +	标准差 Standard deviation/(g·kg ⁻¹)	0.019	0.117	0.073	0.044
	变异系数 Variation coefficient	1.045	1.445	1.518	1.301
	平均值 Average values/(g·kg ⁻¹)	2.703	2.744	2.633	2.383
总盐 Total salt	标准差 Standard deviation/(g·kg ⁻¹)	1.029	1.417	1.223	0.473
rotar salt	变异系数 Variation coefficient	0.381	0.517	0.464	0.198

4 结 论

 四种不同植被类型土壤剖面的土壤含盐量 较高,在垂直方向上由下层向上层,土壤含盐量呈现 上升趋势,0~10 cm 土壤层的平均土壤含盐量为
 3.919 g·kg⁻¹,达到最大值,土壤盐分表聚强烈。

2)四种不同植被类型土壤剖面的盐分离子组 成基本相同,但土壤盐分离子含量在垂直方向存在 差异,由下层向上层,土壤盐分离子含量呈现上升趋 势,其中 Mg^{2+} 的变异系数最大,为1.034,HCO₃⁻的 变异系数最小,为0.080;土壤盐分离子 SO_4^{2-} 与 Na⁺ + K⁺之间相关系数最大,其值为0.96;其次是 Cl⁻与 Mg^{2+} 的相关系数,其值为0.79。

3) 柽柳下土壤剖面的盐分含量夏秋季节变化较明显,夏秋两个不同季节土壤剖面的0~10 cm土壤层中土壤盐分含量分别占总量的27.37%和21.88%,呈现较明显的土壤盐分表聚现象;春季90~100 cm土壤层盐分含量最大,占总量的21.53%,呈现较明显的土壤盐分底聚现象。

4) 裸地、草地、林地、耕地等四种不同植被类型 土壤剖面中,Na⁺ + K⁺:Mg²⁺:Ca²⁺含量之比依次为 85.0:2.5:1.0;16.0:2.5:1.0;9.0:0.9:1.0;10.0: 1.3:1.0。其中裸地土壤剖面的 Ca²⁺与 Na⁺ + K⁺含 量最大,其值分别为 0.104 g·kg⁻¹与 1.230 g·kg⁻¹; 草地土壤剖面的 Mg²⁺与总盐含量最大,其值分别为 0.081 g·kg⁻¹与 2.744 g·kg⁻¹。

参考文献:

- Chen Mo, Yang Shaobin. Formation and improvement of salt-affected soil in Yanqi basin, Xinjiang, China[J]. Territory & Natural Resources Study, 1992, (3):46-49.
- [2] Jacobsen O H, Leij F J, Van Genuchten M T, Lysimeter study of anion transport through layered coarsetextured soil profiles[J]. Soil Sci, 1992, 154(3): 196-205.
- [3] 中华人民共和国水利部.GB/T50123-1999.水工试验方法标准 [S].北京:中国标准出版社,1999:315-323.
- [4] Porro I, Wierenga P J, Hills R G. Solute transport through large unform and layered soil columns[J]. Water Resour Res, 1993, 29(4): 1321-1330.
- [5] Li Haitao, Li Xiaomei, Philip B, et al. Application of electromagnetic

method to soil salinization assessment [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006, 33(1): 95-98.

- [6] 姚荣江,杨劲松.黄河三角洲地区土壤盐渍化特征及剖面类型 分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(11):106-112.
- [7] 李韵珠.区域土壤盐渍化状态分析[J].土壤肥料,1992,(5):8-11.
- [8] 李新国,樊自立,李会志,等.开都河下游灌区土壤盐渍化特征 分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):147-158.
- [9] 方华军,杨学明,张晓平.人类胁迫对松嫩平原土壤盐渍化的灰 色关联分析[J].干旱区资源与环境,2003,17(2):65-70.
- [10] 刘延峰,靳孟贵,金英春.焉耆盆地土壤盐渍化状况的主成分 分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):165-171.
- [11] 穆兴民,贾恒义,程普海,等.黄土高原主要草本植物化学元素
 含量及其聚类分析研究[J].水土保持研究,1994,1(3):111-119.
- [12] 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.
- [13] 程先富,史学正,于东升,等.江西省兴国县土壤全氮和有机质 的空间变异及其分布格局[J].应用与环境生物学报,2004,10 (1):64-67.
- [14] 吕真真,刘广明,杨劲松.新疆玛纳斯河流域土壤盐分特征研究[J].土壤学报,2013,50(2):289-295.
- [15] 刘景双,朱颜明,黄锡畴.长白山岳桦林化学元素生物地球化 学分析[J].地理科学,1998,18(5):457-462.
- [16] 姜 凌,李佩成,胡安焱,等.干旱区绿洲土壤盐渍化分析评价
 [J].干旱区地理,2009,32(2):234-239.
- [17] 郭全恩,马忠明,王益权,等.地下水埋深对土壤剖面盐分离子 分异的影响[J].灌溉排水学报,2010,29(6):64-67.
- [18] 韩桂红,塔西甫拉提·特依拜,买买提·沙吾提,等.渭-库绿洲 地下水对土壤盐渍化和其逆向演替过程的影响[J].地理科 学,2012,32(3):362-367.
- [19] 郭全恩,王益权,马忠明,等.植被类型对土壤盐分离子迁移与 累积的影像[J].中国农业科学,2011,44(13):2711-2720.
- [20] Grattan S R, Grieve C M. Mineral acquisition and growth response of plants grown in saline environments[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1992, 38:275-300.
- [21] Reimann C, Breckle S W. Sodium relations in Chenopodiaceae: a comparative approach [J]. Plant, Cell and Environment, 1993, 16: 323-328.
- [22] Reimann C, Breckle S W. Salt tolerance and ion relations of Salsola kali L. [J]. New Phytologist, 1995,130:37-45.
- [23] Wang X Y, Redmann R E. Adaptation to salinity in *Hordeum juba*tum L. populations studied using reciprocal transplants[J]. Vegetation, 1996,123:65-71.