

# 胶州湾滨海湿地土壤的盐渍化特征

郝敏, 孔范龙, 李悦, 于雪

(青岛大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266071)

**摘要:** [目的] 了解胶州湾滨海湿地土壤盐渍化特征, 为胶州湾滨海湿地保护和区域土壤盐渍化防治提供科学依据。[方法] 在胶州湾选取芦苇、碱蓬、光滩及大米草 4 种典型滨海湿地分层采集土壤样品, 通过测定土壤 pH 值、电导率和主要盐离子浓度开展研究。[结果] 胶州湾滨海湿地土壤盐分含量表现由低到高依次为: 芦苇湿地 < 碱蓬湿地 < 光滩湿地 < 大米草湿地, 盐渍化类型呈现由滨海硫酸盐—氯化物型向氯化物盐渍化土类型过渡的特征; 垂直方向上, 大米草湿地和芦苇湿地具有表层积盐特征, 碱蓬和光滩湿地则呈现出下层稍高趋势。除  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  离子以外, 胶州湾滨海湿地土壤主要盐离子含量均呈现出与全盐量、电导率一致的规律, 主要盐离子浓度从高到低依次为:  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+}$ 。[结论] 胶州湾滨海湿地土壤属于极重度盐化土, 呈现自芦苇湿地向大米草湿地方向递增趋势; 土壤碱度上属非碱化土, 与土壤含盐量呈相反趋势, 但植被易受苏打碱化土的潜在毒害作用。

**关键词:** 胶州湾; 滨海湿地; 盐渍化; 碱化土

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)06-0288-05

**中图分类号:** S156.4, X53

**文献参数:** 郝敏, 孔范龙, 李悦, 等. 胶州湾滨海湿地土壤的盐渍化特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 288-292. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.048

## Analysis on Characteristics of Soil Salinization in Coastal Wetlands of Jiaozhou Bay

XI Min, KONG Fanlong, LI Yue, YU Xue

(College of Environmental Science and Engineering, Qingdao University, Qingdao, Shandong 266071, China)

**Abstract:** [Objective] The characteristics of soil salinization on the coastal wetland of Jiaozhou bay were studied to provide scientific basis for coastal wetland conservation of Jiaozhou bay and regional soil salinization prevention. [Methods] Based on the tests of soil pH value, conductivity and main salt concentration of layered soil samples, four typical coastal wetlands of Jiaozhou bay including *Phragmites australis* wetland, *Suaeda glauca* wetland, the barren wetland and *Spartina anglica* wetland were sampled in August 2014. [Results] The soil salt contents ranked as: *Phragmites australis* wetland < *Suaeda glauca* wetland < barren wetland < *Spartina anglica* wetland, the salinization type of the above transited from sulfate-chloride type to chloride salinization soil type. In terms of the vertical distribution, soil salinity were obviously accumulated at surface soil layer in *Spartina anglica* wetland and *Phragmites australis* wetland; while soil salinity was accumulated at deep soil layer in *Suaeda glauca* wetland and barren wetland. Except for  $\text{CO}_3^{2-}$  and  $\text{HCO}_3^-$ , other main salt ions contents in coastal wetland of Jiaozhou bay were consistent with total salt content and conductivity. Main salt ions contents in soil ranked as:  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+}$ . [Conclusion] The coastal wetland soils of Jiaozhou bay had severe soil salination, and the soil salt content increased from *Phragmites australis* wetland to *Spartina anglica* wetland. The wetland soils in Jiaozhou bay was non-alkalized and the sample salt contents in it varied oppositely, whereby, the wetland plants were affected by the potential poisons of soda alkalized soil.

**Keywords:** Jiaozhou bay; coastal wetland; salinization; alkaline soil

收稿日期: 2016-04-13

修回日期: 2016-05-23

资助项目: 国家自然科学基金项目“胶州湾滨海湿地土壤 DOC 变化及其对  $\text{CO}_2$  排放的影响机理”(41101080); 山东省自然科学基金项目(ZR2014DQ028; ZR2015DM004)

第一作者: 郝敏(1978—), 女(汉族), 山东省泰安市人, 博士, 副教授, 主要从事湿地变化及环境效应研究。E-mail: ximin2008@126.com。

众所周知,土壤盐渍化对生态环境、水土资源具有显著的危害作用,已成为世界性的环境问题之一。盐渍化土壤广泛分布在全球 100 多个国家和地区,面积达  $1.00 \times 10^9 \text{ hm}^2$ ,主要集中在各大洲的干旱、半干旱地区<sup>[1]</sup>。中国的盐渍化土壤,主要分布在干旱、半干旱以及地势相对低平、地下径流汇集、出流滞缓的区域<sup>[1]</sup>,集中体现在北方干旱区、西部灌溉区和东部滨海区。中国土壤盐渍化的比例明显高于世界平均水平,盐渍化土壤近  $1.70 \times 10^7 \text{ hm}^2$ <sup>[2]</sup>,土壤盐渍化问题严重,亟待关注和研究。中国海域辽阔,滨海湿地分布广泛,拥有较为丰富的生物资源。但是,由于受地下水、成土母质、海退、气候等自然因素和多种人类活动的影响,滨海湿地存在不同程度的土壤盐渍化现象<sup>[3]</sup>,严重影响了当地生态平衡和经济发展。近年来,围绕滨海湿地土壤盐渍化特征已有不少研究,无论是机制的解释还是技术方法的探讨,从环渤海、黄海区域入海口到滨海滩涂地都有相关研究<sup>[4-7]</sup>。但是,由于区域环境的差异,阐明区域土壤盐渍化特征及发生机理依然是土壤盐渍化研究的重点。胶州湾为黄海中部的半封闭海湾,其沿岸属于充填型河口海湾海岸,是胶州湾湿地的主要分布区域。胶州湾湿地类型以盐沼和滩涂为主,具有抵御海水入侵、保护海岸线及维持生物多样性等多种功能,已被列入“国家重要湿地名录”。同时胶州湾湿地也是脆弱的生态敏感区,土壤盐渍化问题突出<sup>[8]</sup>,但是目前该区域的盐渍化特征研究还比较缺乏。

本研究选择胶州湾西北部沿岸潮间带的芦苇、碱蓬、光滩及大米草 4 种典型滨海湿地为对象,通过对研究区盐渍土土样的分析,阐明胶州湾滨海湿地土壤盐渍化特征,为胶州湾滨海湿地保护和区域土壤盐渍化防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与样品采集

研究区域位于山东胶州湾西北部潮间带,北起大沽河口,南至洋河口。研究区内主要植被有芦苇(*Phragmites australis*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、大米草(*Spartina anglica*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)、盐角草(*Salicornia europaea*)等,土壤中的沉积物类型主要为砂质粉砂,其次为

黏土质粉砂<sup>[9]</sup>。

于 2014 年 8 月,根据湿地水文条件及植被分布状况选取 4 种具有代表性的湿地类型(A 芦苇湿地、B 碱蓬湿地、C 光滩湿地、D 大米草湿地)进行采样。每种湿地类型设定 3 个采样区,每个采样区随机选取 3 个采样点,分别采取 0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm 层土样,分层均匀混合后代表该样区土壤剖面。取土后迅速将土壤装入密封袋中带回实验室,自然风干后,剔除可见的动植物残体等,磨细过 100 目筛,保存待测。

1.2 样品测试与分析

采用水土质量比 2.5:1,5:1 测定 pH 值和电导率(electric conductivity, EC),其中所用水为去 CO<sub>2</sub> 超纯水。称取干重 6.0 g 的土样于 50 ml 离心管中,加入 30 ml 超纯水,振荡 3 min,以 4 000 r/min 速度离心,取上清液,用 0.45 μm 滤膜过滤,滤液待用。采用原子吸收分光光度法测定阳离子 Ca<sup>2+</sup>,Mg<sup>2+</sup>,K<sup>+</sup> 和 Na<sup>+</sup> 含量;采用离子色谱仪(ICS-2100)测定阴离子 Cl<sup>-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量;采用双指示剂中和滴定法测定阴离子 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量;土壤含盐量则以土壤中上述 8 种离子的重量之和计算。

1.3 数据处理与分析

依据公式  $TA = CO_3^{2-} + HCO_3^-$ ,获得土壤总碱度(TA)<sup>[10]</sup>;采用 SPSS 14.0 软件进行数据的统计分析。利用 Excel 软件绘制图件。

2 结果与分析

2.1 土壤盐渍化程度与类型

从图 1 可以看出,电导率与全盐量的变化趋势相同,二者呈极显著线性正相关关系( $R=0.998\ 2$ ,  $p<0.01$ )。

4 种湿地类型土壤含盐量分布呈现出:芦苇湿地<碱蓬湿地<光滩湿地<大米草湿地(表 1)。进一步的单因素方差分析,发现芦苇湿地与碱蓬湿地,光滩湿地与大米草湿地土壤含盐量差异不显著,其他湿地类型间差异显著( $p<0.05$ )。垂直方向上,大米草湿地盐分含量在土壤剖面上均表现出表层积盐特征,芦苇湿地土壤含盐量表层稍高,但各剖面层次上差距不大;碱蓬湿地和光滩湿地土壤含盐量则呈现出下层稍高的趋势(图 1)。

表 1 胶州湾滨海湿地土壤全盐量均值的水平变化

湿地类型	芦苇湿地	碱蓬湿地	光滩湿地	大米草湿地
全盐量均值/%	10.893±0.189	18.679±2.373	34.406±0.826	37.23±7.620

注:数值±标准差。

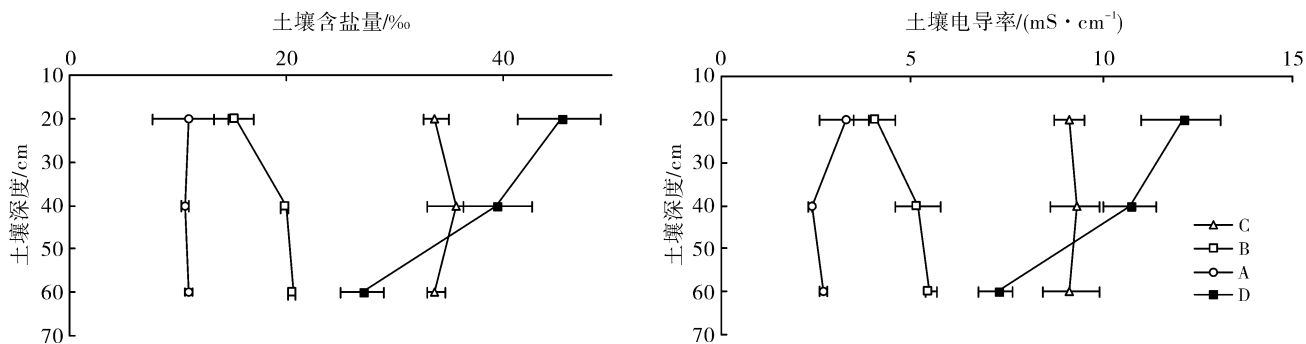
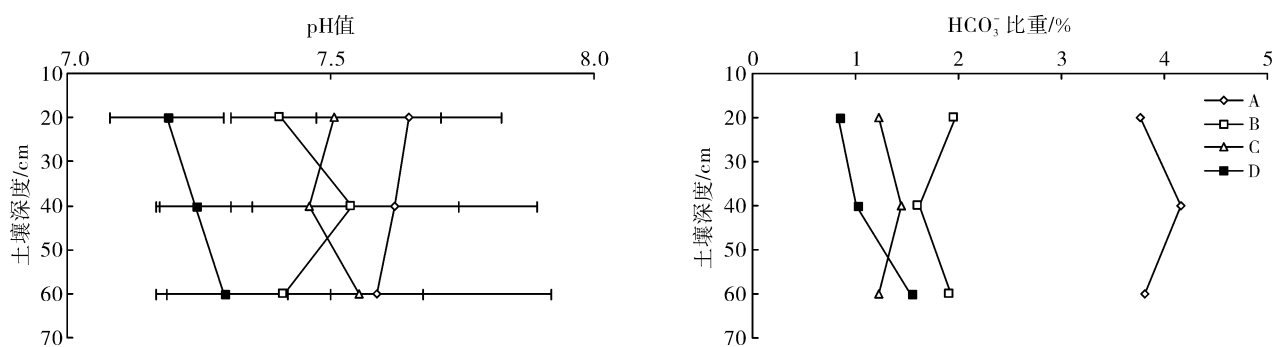


图 1 胶州湾滨海湿地盐分含量与电导率随土壤深度的变化

图 2 研究区 pH 值与  $\text{HCO}_3^-$  占有阴离子比值随土壤深度变化

根据滨海土壤盐渍化分类标准,整个研究区土壤剖面均属于滨海硫酸盐—氯化物型和氯化物盐渍化土类型,并且从芦苇湿地向大米草湿地方向呈现出由滨海硫酸盐—氯化物型向氯化物盐渍化土类型过渡的特征(表 2)。其中,芦苇湿地和碱蓬湿地土壤各剖

面均属于硫酸盐—氯化物型( $1.0 > \text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-} > 1.0$ )盐渍化土;光滩湿地土壤各剖面均属于氯化物盐渍化土类型( $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-} > 4.0$ );而大米草湿地则呈现出 0—40 cm 层属于氯化物型,40—60 cm 属于硫酸盐—氯化物型盐渍化土的特点。

表 2 土壤  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  化学当量比随土壤深度变化

土壤深度/cm	土壤 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 化学当量			
	芦苇湿地	碱蓬湿地	光滩湿地	大米草湿地
0—20	2.00	2.93	4.80	4.53
20—40	1.86	3.98	5.31	4.74
40—60	1.91	3.96	5.54	3.66

## 2.2 土壤碱化程度分析

土壤酸碱度(pH 值)、钠吸附比(SAR)和碱化度(ESP)是判断土壤是否发生碱化以及土壤碱化程度的重要诊断指标。如图 2 所示,整个研究区大部分湿地土壤剖面酸碱度数值均较低,土壤碱性程度表现出:碱蓬湿地<芦苇湿地,大米草湿地<光滩湿地,与土壤含盐量变化趋势不一致。土壤总碱度(TA)也是衡量土壤碱化程度的重要指标, $\text{HCO}_3^-$  的存在更是土壤碱化的前提,其次是存在大量的可代换性  $\text{Na}^+$ 。经测算,研究区  $\text{CO}_3^{2-}$  含量为 0~微量, $\text{HCO}_3^-$  含量也很低,属于低  $\text{CO}_3^{2-}$ — $\text{HCO}_3^-$  含量土壤。但是,如图 2 所示,研究区所有样点  $\text{HCO}_3^-$  占阴离子比率均

大于 0.5%,约 91.67%的样点该比率值大于 1%,属于苏打碱化土。从芦苇湿地到大米草湿地方向土壤  $\text{HCO}_3^-$  比值呈递增趋势(图 2),与土壤含盐量相反,说明从大米湿地到芦苇草湿地,湿地植物受盐渍化危害减小了,但是受苏打碱化土的潜在毒害却增大了。经进一步单因素方差分析,发现位于高潮区的芦苇湿地与位于低潮区的碱蓬湿地、光滩湿地和大米草湿地土壤  $\text{HCO}_3^-$  比值差异显著,低潮区碱蓬湿地、光滩湿地和大米草湿地间差异不显著。

## 2.3 土壤盐离子分布特征

图 3 为胶州湾湿地土壤主要阴阳离子含量随深度的变化情况。除  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  离子以外,其余 6 种离子,包括  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  离

子含量均呈现出与全盐量、电导率一致的规律,即自芦苇湿地向大米草湿地方向土壤  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  离子含量呈递增趋势,而  $\text{HCO}_3^-$  则有所不同。经过进一步方差分析发现,芦苇湿地、碱

蓬湿地的  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Cl}^-$  含量在各层与光滩湿地、大米草湿地均表现出显著性差异,芦苇湿地与碱蓬湿地,光滩湿地与大米草湿地之间差异不明显,也呈现出与全盐量和电导率一致的规律。

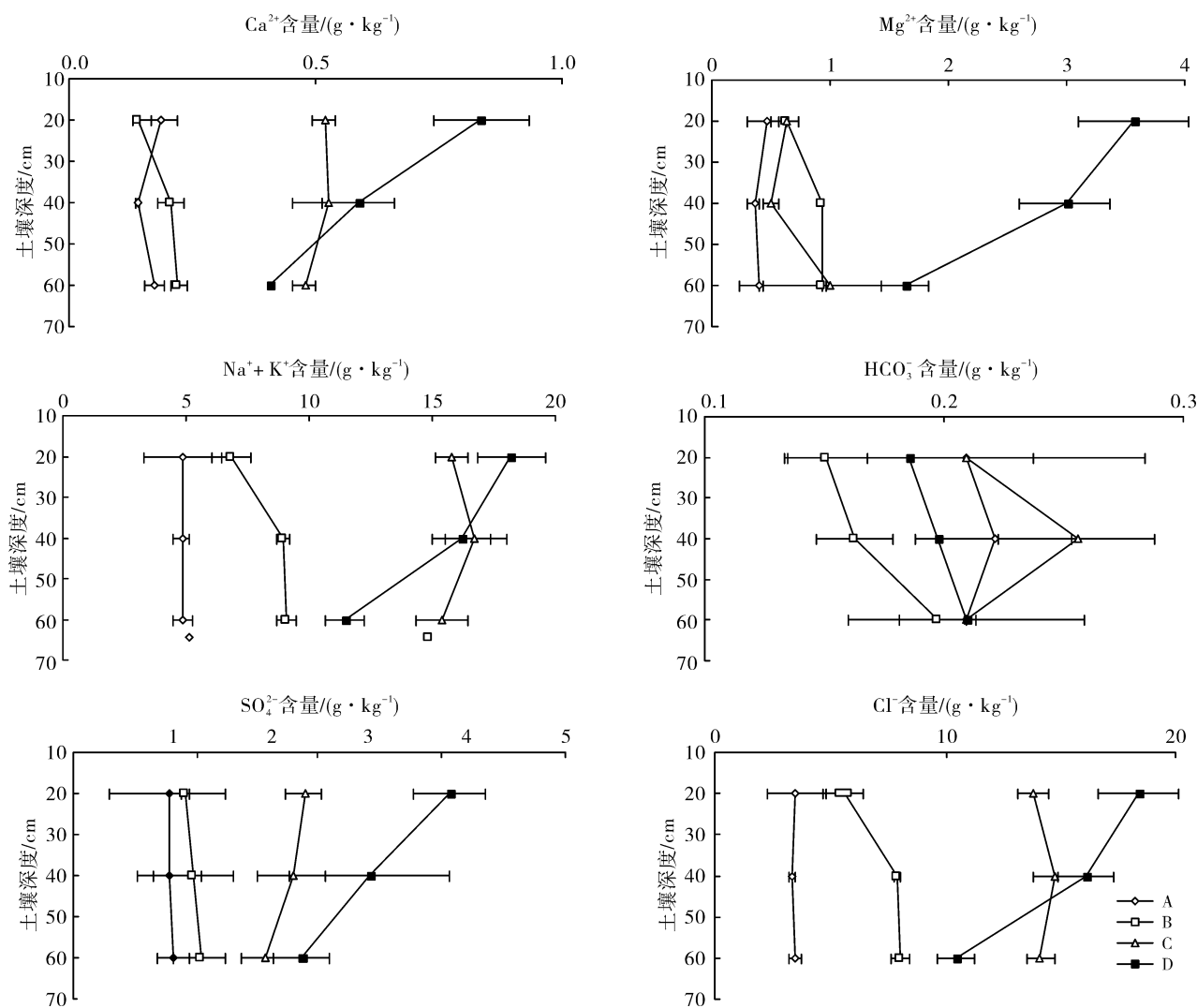


图3 胶州湾滨海湿地土壤主要阴阳离子含量的变化情况

胶州湾滨海湿地土壤水溶性盐中,阳离子主要以  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  为主,其次是  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , 而阴离子中主要以  $\text{Cl}^-$  为主,其次是  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  含量最低,  $\text{CO}_3^{2-}$  含量几乎为零。由此可见,胶州湾湿地土壤盐分组成基本处于氯化物型,这与海水有着紧密的联系。海水中的主要离子浓度从高到低依次为:  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{HCO}_3^-$ , 而研究区湿地土壤的主要盐离子浓度从高到低依次为:  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+}$ 。两者离子浓度高低顺序相近,但是在  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{Ca}^{2+}$  浓度方面也存在一些差异,主要体现在海水中  $\text{Ca}^{2+}$  浓度高于  $\text{HCO}_3^-$ , 而研究区湿地土壤与此相反。

### 3 讨论与结论

电导率是目前国际通用的盐分描述形式,但是国内通常用全盐量评价土壤盐渍化程度<sup>[11-14]</sup>。根据滨海土壤盐渍化程度和等级评价标准<sup>[11]</sup>,整个研究区土壤剖面均属于极重度盐化,且呈现自芦苇湿地向大米草湿地方向呈递增趋势,这与以往由陆地向海洋递增的研究结论一致<sup>[14-15]</sup>。究其原因在于滨海湿地土壤盐分的主要来源为海水,研究区均处于潮间带,受周期性海水侵蚀的影响,土壤盐渍化程度极高。随着距海越来越近,土壤受海水浸渍控制越大,湿地土壤含盐量也就越高。垂直分布上,大米草湿地土壤盐分

含量呈表聚性,与天津滨海湿地也呈一致规律<sup>[12]</sup>;芦苇湿地土壤含盐量表层稍高,碱蓬湿地和光滩湿地土壤含盐量则呈现出下层稍高的趋势,主要与植被类型与覆盖有关<sup>[16-17]</sup>。植被地表覆盖率不同,会引起地表蒸发量的差异,从而使得表土层(0—5 cm)土壤盐分聚积性不同<sup>[17]</sup>,其实质是在于植被能够影响到蒸降比,加速水分蒸发,使得“水去盐留”,盐渍土壤逐渐形成。

$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  化学当量比值是近年来评价土壤盐渍化类型的主要指标<sup>[11-14]</sup>。根据滨海土壤盐渍化分类标准<sup>[11]</sup>,研究区湿地土壤剖面均属于滨海硫酸盐—氯化物型和氯化物盐渍化土类型。从芦苇湿地到大米草湿地方向,整个研究区土壤呈现出由滨海硫酸盐—氯化物型向氯化物盐渍化土类型过渡的特征。分析其原因,主要与研究区所处潮间带的海退情况有关。海退过程中,移动性强的  $\text{Cl}^-$  在土体中迁移快,  $\text{SO}_4^{2-}$  溶解度低,迁移相对较慢,所以  $\text{Cl}^-$  多聚集于潮间带湿地区,并且距海越近,  $\text{Cl}^-$  越多,  $\text{SO}_4^{2-}$  则越少<sup>[12]</sup>。

土壤酸碱度(pH)、钠吸附比(SAR)和碱化度(ESP)是判断土壤是否发生碱化以及土壤碱化程度的重要诊断指标。根据滨海土壤碱化分级标准<sup>[18]</sup>,整个研究区湿地土壤属于非碱化土。该结果可能与滨海湿地脱盐过程中  $\text{Ca}$  淋失,  $\text{HCO}_3^-$  含量提高,从而相应提高了土壤 pH 值有关系<sup>[19]</sup>。研究区土壤属于苏打碱化土,而苏打对植物的毒害很大,当该比率值达 0.1% 左右时,就有抑制作物生长的作用<sup>[20]</sup>。从芦苇湿地到大米草湿地方向胶州湾滨海湿地土壤  $\text{HCO}_3^-$  比值呈递增趋势,可能与滨海湿地脱盐过程中  $\text{Ca}$  淋失,  $\text{HCO}_3^-$  含量提高有关系<sup>[19]</sup>。

胶州湾滨海湿地土壤盐分组成基本处于氯化物型,与海水离子浓度高低顺序相近,但在  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{Ca}^{2+}$  浓度方面存在一些差异,究其原因主要与滨海湿地脱盐过程中  $\text{Ca}$  淋失,  $\text{HCO}_3^-$  含量提高有关系<sup>[19]</sup>。因此,胶州湾滨海湿地土壤各盐离子浓度高低主要受海水和湿地脱盐过程的影响。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [2] 石玉林. 西北地区土地荒漠化与水土资源利用研究[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [3] 徐东霞,章光新. 人类活动对中国滨海湿地的影响及其保护对策[J]. 湿地科学,2007,5(3):282-288.
- [4] 刘娅,潘贤章,王昌昆,等. 基于可见—近红外光谱的滨海盐土土壤盐分预测方法[J]. 土壤学报,2012,49(4):824-829.
- [5] 李二焕,沈俊,鞠靖,等. 苏北滨海盐土区河流入海口土壤盐分及养分分布特征[J]. 中国水土保持科学,2016,14(1):79-88.
- [6] 周在明,张光辉,王金哲,等. 环渤海低平原区土壤盐渍化风险的多元指示克立格评价[J]. 水利学报,2011,42(10):1144-1151.
- [7] 刘衍君,曹建荣,高岩,等. 莱州湾南岸海水入侵区土壤盐渍化驱动力分析与生态对策[J]. 中国农学通报,2012,28(2):209-213.
- [8] 李学刚,华茂,许思思,等. 胶州湾滨海湿地盐渍土壤中重金属的聚集与分散特性研究[J]. 海洋科学,2011,35(7):88-95.
- [9] 訾园园,郗敏,孔范龙等. 胶州湾滨海湿地土壤有机碳时空分布及储量[J]. 应用生态学报,2016,27(7):2075-2083.
- [10] 李述刚,王周琼. 荒漠碱土[M]. 新疆 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1988.
- [11] 白由路,李保国,石元春. 基于 GIS 的黄淮海平原土壤盐分分布与管理研究[J]. 资源科学,1999,21(4):66-70.
- [12] 冯小平,王义东,陈清,等. 天津滨海湿地土壤盐分空间演变规律研究[J]. 天津师范大学学报,2014,34(2):41-48.
- [13] 刘庆生,刘高焕,薛凯,等. 近代及现代黄河三角洲不同尺度地貌单元土壤盐渍化特征浅析[J]. 中国农学通报,2006,22(11):353-359.
- [14] 王传珺,吴英超,王玉广,等. 辽东湾滨海地区土壤盐渍化分布及盐分特征分析[J]. 海洋环境科学,2015,34(6):937-941.
- [15] 张明志,仇银豪,何一飞,等. MIKE 21 模型在胶州湾红岛湿地植被中的应用研究[J]. 安徽农业科学,2015,43(16):179-182.
- [16] 郭全恩,王益权,马忠明,等. 植被类型对土壤剖面盐分离子迁移与累积的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(13):2711-2720.
- [17] 李建国,濮励杰,朱明,等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报,2012,67(9):1233-1245.
- [18] 赵秀芳,杨劲松,姚荣江. 基于典范对应分析的苏北滩涂土壤春季盐渍化特征研究[J]. 土壤学报,2010,47(3):422-428.
- [19] 殷仪华,陈邦本. 江苏省滨海盐土脱盐过程 pH 值上升原因的探讨[J]. 土壤通报,1991,22(1):5-7.
- [20] 张芳,熊黑钢,安方舟,等. 基于盐(碱)生植被盖度的土壤碱化分级[J]. 土壤学报,2012,49(4):665-672.