沧州市滨海盐碱区土壤盐渍化特征

王伟，王志，于亮，王伟伟，钮力亚，王奉芝，张景俭，曹金锋*
（沧州市农林科学院，河北省农作物耐盐碱评价与遗传改良重点实验室，河北　沧州　061001）

摘　要：分层采集不同时期沧州市滨海盐碱区的土样，采用流动分析仪测定各土样的总含盐量及主要盐分离子，分析土壤的盐渍化特征。结果表明：该地区为硫酸盐-氯化物型盐渍化土壤，土壤中氯化钠、氯化镁和氯化钙为氯化物的主要组成部分，硫酸盐类主要为硫酸钠、硫酸镁和硫酸钙。该地区不同采样时期间、不同地区间和不同土层间土壤盐渍化状态均存在极显著差异。除碳酸根 + 碳酸氢根外，钾离子、钠离子、镁离子、氯离子、钙离子、硅酸根离子和硫酸根离子均为表征该地区土壤盐渍化状态的主要盐分离子。

关键词：土壤盐渍化；特征因子；盐碱区；沧州市

中图分类号：X833　　**文献标志码**：B　　**文章编号**：1006 - 2009(2021)06 - 0068 - 04

Characteristics of Soil Salinization in Coastal Saline Alkali Area of Cangzhou

WANG Wei, WANG Zhi, YU Liang, WANG Wei-wei, NIU Li-ya,
WANG Feng-zhi, ZHANG Jing-jian, CAO Jin-feng*
(*Cangzhou Academy of Agriculture and Forestry Sciences*, *Hebei Key Laboratory of Crop Salt-alkali Tolerance Evaluation and Genetic Improvement*, *Cangzhou*, *Hebei* 061001, *China*)

Abstract: Soil samples from the coastal saline alkali area of Cangzhou were collected in layers in different periods. The total salt content and main salt ions in soil samples were detected by flow analysis. The characteristics of soil salinization were analyzed. The results showed that the soil in this area was salinized by sulfate-chloride. The main components of chloride in soil were sodium chloride, magnesium chloride and calcium chloride, and the main sulfate were sodium sulfate, magnesium sulfate and calcium sulfate. There were significant differences in soil salinization among different sampling periods, different regions and different soil layers. Except carbonate + bicarbonate, potassium ion, sodium ion, magnesium ion, chlorine ion, calcium ion, silicate ion and sulfate ion were the main salt ions characterizing soil salinization in this area.

Key words: Soil salinization; Characteristic factors; Saline alkali area; Cangzhou city

土壤盐渍化是一个世界性的土壤资源和生态环境问题[1]。世界范围内 1/5 以上的耕地存在不同程度的盐碱化[2]，我国土壤盐碱化的面积约 1 亿 hm^2，其中，河北省盐碱地总面积约 71.61 万 hm^2，沧州市盐碱地面积约占耕地面积的 1/2。沧州盐碱地的主要形成原因是海水影响、土壤蒸腾、围海产盐等，其特点是土壤含盐量大和地下水位高[3]。由于区域生态环境的恶化，土壤盐渍化问题日益严重。因此，当前迫切需要了解该区域土壤的盐渍化特征，有针对性地进行盐碱地改良，优化土壤资源和生态环境，这对于开发和利用盐碱化土壤、充分利用有限耕地资源、改善生态环境和提高耕地生产效率具有重要意义。

土壤盐渍化特征受自然条件下的气候、地貌、

收稿日期：2020 - 09 - 22；**修订日期**：2021 - 09 - 13

基金项目：河北省“三三三人才工程”基金资助项目(A202103013)；“智汇沧州”人才立市重点基金资助项目(023)；中央引导地方科技发展基金资助项目(206Z6301G)；财政部和农业农村部“国家现代农业产业技术体系”基金资助项目(CARS - 03)；沧州市农林科学院博士基金资助项目(D0001)

作者简介：王伟(1979—)，女，山东东平人，副研究员，博士，研究方向为小麦遗传育种。

* **通信作者**：曹金锋 E-mail：caojinfeng2003@163.com

水文及地质等因素的共同影响,盐分对土壤的影响在一定程度上可由总含盐量及其化学组成来决定[4-6]。土壤总含盐量是衡量土壤盐渍化程度的重要指标,而沧州地区土壤中盐分离子组成及特征的相关研究鲜有报道。今采用流动分析仪测定沧州 4 个滨海县市 0 cm ~ 100 cm 土层中土样的总含盐量及各主要盐分离子的含量,用相应的统计分析方法,对沧州滨海盐碱区土壤中盐分离子数据进行分析,为采取合理的治理措施提供一定的科学依据。

1　材料与方法

1.1　土壤样品采集

2019 年 3 月、4 月和 5 月 3 个采样时期,分别在沧州的滨海市(县)盐山、黄骅、中捷、海兴 4 个地区典型的盐碱地上,采用五点取样法,分别取 0 cm ~ 20 cm、20 cm ~ 40 cm、40 cm ~ 60 cm、60 cm ~ 80 cm、80 cm ~ 100 cm 5 个土层的土壤,共 195 份土样。采集完带回实验室自然阴干,将各点各土层土样混合均匀后,过筛进行盐分离子检测。

1.2　主要盐分离子检测方法

土样检测总含盐量、pH 值和各盐分离子含量。用电导法[7]测土壤总含盐量,用 pH 计测土样 pH 值,用火焰光度计测钾离子、钠离子[8]。土样进行相应前处理,采用 Chem. Tray AA3 型流动分析仪检测碳酸根 + 碳酸氢根离子、镁离子、氯离子、钙离子、硅酸根和硫酸根离子含量。质量控制采用实验室平行双样法。

1.3　数据处理

利用 Excel 2010 和 SPSS 21.0 进行数据整理和统计分析。

2　结果与讨论

2.1　盐碱区土壤盐分离子描述性特征

为描述所有土样盐分离子的组成特征,对测定结果进行基本统计分析,见表 1。由表 1 可见,沧州滨海盐碱区土壤离子类型多样,测定的 8 大离子中氯离子、钠离子、硫酸根、碳酸根 + 碳酸氢根离子占离子总和的 93.85%,占绝对优势;钾离子和硅酸盐含量较低;土壤 pH 值为 8.17,呈弱碱性;总含盐量平均值为 2.27 g/kg。沧州滨海盐碱区土壤中氯离子含量与硫酸根离子含量比为 5∶3,据中国土壤学会盐渍土专业委员会对土属划分的标准[9],可判定该研究区土壤类型为硫酸盐-氯化物型盐渍化土壤。

表 1　盐碱地土壤盐分组成特征值

Table 1　Characteristic value of soil salt composition in saline alkali area

指标	测定值 w/(g·kg^{-1})	测定均值 w/(g·kg^{-1})	标准差 w/(g·kg^{-1})	占比/%
pH 值①	0.53 ~ 9.02	8.17	0.69	
总含盐量	— ~ 9.79	2.27	2.13	
碳酸根 + 碳酸氢根	0.06 ~ 0.64	0.25	0.10	10.55
钠离子	0.04 ~ 2.30	0.70	0.51	29.54
氯离子	— ~ 2.76	0.80	0.76	33.76
镁离子	0.01 ~ 0.27	0.04	0.04	1.69
钾离子	— ~ 0.06	0.01	0.01	0.42
钙离子	0.01 ~ 0.35	0.07	0.05	2.95
硫酸根	— ~ 2.47	0.48	0.28	20.25
硅酸根	0.01 ~ 0.04	0.02	0.01	0.84

①pH 值无量纲。

2.2　盐碱区土壤盐分离子的相关性

沧州市滨海盐碱区土壤盐分离子的相关分析表明,所有土样中总含盐量与碳酸根 + 碳酸氢根离子、钾离子的相关性不显著,与其他离子均存在显著或极显著相关关系。氯离子和钠离子、镁离子、钙离子的相关系数分别为 0.962 7、0.465 5、0.600 5,均为极显著相关;硫酸根离子与钠离子、镁离子、钙离子的相关系数分别为 0.695 6、0.456 3、0.672 5,均为极显著相关。说明沧州市滨海盐碱区土壤中氯化钠、氯化镁和氯化钙为氯化物的主要成分,硫酸钠、硫酸镁和硫酸钙为主要的硫酸盐类。

2.3　采样时期、地区和土层对土样盐渍化的综合影响

采用多元方差分析探究不同采样时期、地区和土层对沧州市滨海盐碱区土壤盐渍化的综合影响,结果见表 2。

由表 2 可知,沧州市滨海盐碱区 3 个不同采样时期间、不同地区间和不同土层间土壤盐渍化状态均存在极显著差异,相应统计的 F 检验值均为极显著差异($P < 0.001$)。说明沧州市滨海盐碱区的盐渍化状态随着采样时间、采样地点、采样土层的变化而变化。

对所有样本数据按照 3 个采样时期、4 个地区进行方差分析,结果见表 3。由表 3 可知,3 月、4 月、5 月 3 个采样时期间,在总含盐量和碳酸根 +

表 2　采样时期、地区和土层对土壤盐渍化状态的多元方差分析

Table 2　Multivariate analysis of variance of sampling period, region and soil layer on soil salinization

统计方法	采样时期			地区			土层		
	数值	*F*	*P*	数值	*F*	*P*	数值	*F*	*P*
Pillai's trace	0.995 4	3 781.71①	<0.001	0.330 6	3.51①	<0.001	1.506 2	17.95①	<0.001
Wilks's Lambda	0.004 6	3 781.71①	<0.001	0.689 1	3.60①	<0.001	0.113 8	18.91①	<0.001
Hotelling-Lawley's trace	214.869 7	3 781.71①	<0.001	0.422 5	3.70①	<0.001	3.343 8	19.47①	<0.001
Roy's largest root	214.869 7	3 781.71①	<0.001	0.337 7	5.98①	<0.001	1.483 2	26.40①	<0.001

①表示 0.01 水平差异极显著。

表 3　不同采样时期和地区的多重比较①

Table 3　Multiple comparisons of different sampling periods and regions①

指标	采样时期			地区			
	3 月	4 月	5 月	盐山	黄骅	中捷	海兴
pH 值	8.15a	8.08a	8.27a	8.03a	8.31a	8.31a	8.07a
总含盐量	1.75bB	1.80bB	3.26aA	1.44cB	3.36aA	2.11bcB	2.45bAB
碳酸根 + 碳酸氢根	0.25abAB	0.28aA	0.23bB	0.28bA	0.32aA	0.22cB	0.19dB
钠离子	0.64a	0.75a	0.73a	0.32cC	0.91aA	0.66bB	1.03aA
氯离子	0.72a	0.83a	0.86a	0.23cC	0.95bB	0.73bB	1.48aA
镁离子	0.035 9a	0.044 8a	0.044 6a	0.02cC	0.02cC	0.05bB	0.08aA
钾离子	0.009 3a	0.008 7a	0.007 9a	0.005 6bB	0.011 3aA	0.012 7aA	0.006 4bB
钙离子	0.071 8a	0.074 9a	0.076 8a	0.06bBC	0.05cC	0.07bB	0.11aA
硫酸根	0.481 5a	0.490 6a	0.481 9a	0.37cB	0.46bcB	0.49bB	0.65aA
硅酸根	0.021 7a	0.022 3a	0.022 4a	0.023 7bA	0.019 5cB	0.025 7aA	0.019 5cB

①小写字母表示 0.05 水平上的差异显著性,大写字母表示 0.01 水平上的差异显著性;任 2 个平均数间有 1 个字母相同表示差异不显著,任 2 个平均数间所有字母均不相同表示差异显著或极显著。

碳酸氢根上差异极显著,pH 值、钠离子、氯离子等其他盐碱指标上均差异不显著;盐山、黄骅、中捷和海兴 4 个取样地区间在 pH 值、总含盐量、钠离子等 10 个指标上均差异极显著。

由表 3 可知,5 月土壤中的总含盐量极显著地高于 3 月和 4 月;土壤 pH 值在盐山、黄骅、中捷和海兴 4 个取样地区间差异不显著。

2.4　盐碱区土壤盐分离子的主成分分析

对各土样的总含盐量和主要盐分离子进行主成分分析,可以判断提取 3 个主成分。第 1 主成分、第 2 主成分和第 3 主成分的累积贡献率为 75.25%,基本可以代表原始变量因子的主要信息。盐分离子指标的特征向量见表 4。

由表 4 可知,在第 1 主成分中,钠离子、镁离子、氯离子、钙离子和硫酸盐的主成分载荷较高;在第 2 主成分中,钾离子的主成分载荷较高,说明第 2 主成分反映钾离子对土壤离子成分的影响;在第 3 主成分中,硅酸根离子的主成分载荷最高,说明第 3 主成分反映硅酸盐类对土壤离子成分的影响。

2.5　结果分析

表 4　盐分离子指标的特征向量

Table 4　Feature vector of salt ion index

指标	特征向量		
	1	2	3
总含盐量	0.551 8	0.241 3	−0.308 5
碳酸根 + 碳酸氢根	−0.555 1	0.536 9	−0.178 6
钠离子	0.848 9	0.327 6	−0.278 0
氯离子	0.920 8	0.168 8	−0.153 6
镁离子	0.674 7	−0.152 2	0.374 3
钾离子	0.000 1	0.826 4	0.158 0
钙离子	0.766 9	−0.158 9	0.515 0
硫酸根	0.808 3	0.229 9	0.165 3
硅酸根	−0.408 7	0.562 5	0.543 7

土壤盐渍化是一定的气候、地形、水文地质等自然条件共同对水盐运动产生影响的结果[10],已成为世界上 100 多个国家和地区的生态环境问题[11-12]。杨帆等[13]对松嫩平原苏打盐渍化旱田的土壤表观电导率空间变异进行研究,对土壤盐渍化进行快速评估。樊丽琴等[14]研究了导致宁夏平罗县西大滩土壤盐碱危害的主要盐分离子。沧州滨海盐碱区独特的地质、地貌、气候条件导致该区

域土壤盐渍化较为严重,该研究结果仅限于 2019 年 3—5 月返盐季节沧州滨海盐碱区的土壤盐分离子数据的统计分析,相关结果需要后续积累的数据加以验证。

盐碱地改良是一项长期的高难度复杂工作,应视盐碱地的具体情况具体分析,制定相应改良措施。其中,植物修复是盐渍化土地恢复最经济有效的措施[15]。通过研究沧州滨海盐碱区土壤离子的周年变化规律,结合耐盐碱生物的生长特性,寻求最佳的宏观生态调控模式和环境保护策略,以预防土壤的次生盐渍化。建议有关部门建立沧州滨海盐碱地水盐监测体系,对土壤盐碱化进行预测预报,为改良、利用盐碱地资源提供科学依据。

3　结语

沧州滨海盐碱区 3—5 月,土壤处于返盐季节,此时土壤 pH 值约为 8.17,总含盐量约为 2.27 g/kg,土壤类型为硫酸盐 - 氯化物型盐渍化土壤。该区域土壤中氯化钠、氯化镁和氯化钙为氯化物的主要组成部分,主要的硫酸盐类为硫酸钠、硫酸镁和硫酸钙。研究结果可为这个时期该地区盐碱地土壤的预防和改良提供科学依据。

3 个时期、4 个地区和 5 个土层对沧州市滨海盐碱区盐渍化的影响均存在极显著差异,说明沧州市滨海盐碱区的盐渍化状态随着采样时间、采样地点、采样土层的变化而变化。此研究结果还需要长期的土样监测数据加以验证,以期能够为盐碱地资源的改良和利用提供理论支撑。

在对沧州滨海盐碱区土样主要盐分离子的主成分分析中,第 1 主成分主要体现钠离子、镁离子、氯离子、钙离子和硫酸盐对土壤盐分的影响;第 2 主成分主要反映钾离子对土壤盐分的影响;第 3 主成分主要反映硅酸盐类对土壤盐分的影响。由此可见,该地区此时期土壤检测的 8 种离子,除了碳酸根 + 碳酸氢根外,其余 7 种均为土壤中盐分的主要离子组分。

[参考文献]

[1] 李松阳,王晓丽,王彦龙,等. 柴达木盆地盐碱地土壤离子特征及养分分析[J]. 青海畜牧兽医杂志,2017,47(6):36 - 39.

[2] ZHU J K. Plant salt tolerance[J]. Trends in Plant Science,2001,6(2):66 - 71.

[3] 张维成. 滨海盐碱地造林模式及土壤水盐运动规律研究——以河北沧州临港经济技术开发区为例[D]. 北京:北京林业大学,2008.

[4] CHEN M,YANG S B. Formation and improvement of salt-affected soil in Yanqi basin,Xinjiang,China[J]. Territory & Natural Resources Study,1992(3):46 - 49.

[5] JACOBSEN O H, LEIJ F J,VAN G M T. Lysimeter study of anion transport through layer coarse textured soil profiles[J]. Soil Sci. ,1992,154(3):196 - 205.

[6] 王雪梅,柴仲平,俞美香. 富蕴县耕地土壤环境质量现状[J]. 环境监测管理与技术,2012,24(6):43 - 45.

[7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:263 - 300.

[8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:302 - 315.

[9] 刘蕾. 新疆土壤盐分的组成和分布特征[J]. 干旱环境监测,2009,23(4):227 - 229.

[10] 陈小兵,杨劲松,杨朝晖,等. 渭干河灌区灌排管理与水盐平衡研究[J]. 农业工程学报,2008, 24(4):59 - 65.

[11] DANIERHAN S,SHALAMU A,TUMAERBAI H. Effects of emitter discharge rates on soil salinity distribution and cotton(*Gossypium hirsutum* L.) yield under drip irrigation with plastic mulch in an arid region of Northwest China[J]. Journal of Arid Land,2013,5(1):51 - 59.

[12] 猴倩倩,韩致文,王国华,等. 中国西北干旱区灌区土壤盐渍化问题研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(29):246 - 250.

[13] 杨帆,安丰华,马红媛,等. 松嫩平原苏打盐渍化旱田土壤表观电导率空间变异[J]. 生态学报, 2017,37(4):1184 - 1190.

[14] 樊丽琴,杨建国,许兴,等. 宁夏引黄灌区盐碱地土壤盐分特征及相关性[J]. 中国农学通报, 2012,28(35):221 - 225.

[15] 张文娟,苏少林,赵秋利,等. 西安市表层土壤和地表灰尘理化性质分析[J]. 环境监测管理与技术,2020,32(1):64 - 67.

本栏目编辑　吴珊

启　事

本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据 - 数字化期刊群、重庆维普中文科技期刊数据库,凡被录用的稿件将同时在相关数据库产品中进行网络出版或提供信息服务,其作者著作权使用费与本刊稿酬一并支付。如作者不同意将文章编入数据库,请在来稿中注明,本刊将做适当处理。