

滨海盐渍土土壤物化性质与水动力学性质变异

祝瑜¹, 褚琳琳¹, 朱文东², 孙全³, 孙庆凯⁴, 相入兴⁴, 于劲松⁴

(1. 河海大学农业科学与工程学院, 南京 211100;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

3. 连云港香河园林绿化工程有限公司, 江苏 连云港 222047; 4. 江苏方洋建设工程管理有限公司, 江苏 连云港 222047)

摘要: 为分析不同梯度盐渍土土壤的物理性质与水动力学性质变异状况, 在江苏沿海连云港市徐圩新区开展了试验研究。对5种不同盐渍化级别土壤进行取样, 测定其pH、 EC_e 、容重、总孔隙度、含水率和饱和导水率等, 分析不同级别滨海盐渍土土壤物化特性参数和水动力学性质变化规律。结果表明: (1) 不同级别盐渍土0—50 cm剖面土壤 EC_e 先变小后增大, 但40—50 cm剖面 EC_e 明显大于0—10 cm剖面。非盐渍土和极重度盐渍土0—50 cm剖面土壤 EC_e 变化较小, 轻度盐渍土、中度盐渍土、重度盐渍土的0—50 cm剖面土壤 EC_e 值变化较大。(2) 土壤 EC_e 和容重呈极显著负相关关系, 与毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、含水率、毛管持水量、田间持水量、最大持水量呈极显著正相关关系。土壤孔隙度和持水量呈极显著正相关关系。(3) 极重度盐渍土饱和导水率明显小于其他级别的盐渍土, 且0—20 cm剖面土壤饱和导水率大于20—50 cm剖面。研究结果可为滨海盐渍土水盐管理和生态环境建设提供理论参考依据。

关键词: 盐渍土; 物理性质; 水动力学特性; 饱和导水率

中图分类号: S152

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2022)06-0379-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2022.06.046

Variation of Soil Physicochemical Properties and Hydrodynamic Properties of Coastal Saline Soil

ZHU Yu¹, CHU Linlin¹, ZHU Wendong², SUN Quan³,

SUN Qingkai⁴, XIANG Ruxing⁴, YU Jingsong⁴

(1. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100; 2. Key Laboratory of

Water Cycle and Related Land Surface Process, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources

Research, CAS, Beijing 100101; 3. Lianyungang Xianghe Landscaping Engineering Co., Ltd., Lianyungang,

Jiangsu 222047; 4. Jiangsu Fangyang Construction Engineering Management Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu 222047)

Abstract: This study aimed to analyze the variation of soil physical and hydrodynamic properties of saline soil with different salinization levels, the experimental study was carried out in Xuwei New Area of Lianyungang City, Jiangsu Province. Five kinds of soils with different salinization levels were sampled and their pH, EC_e , bulk density, total porosity, water content and saturated hydraulic conductivity were measured. The changes of physicochemical parameters and hydrodynamic properties of coastal saline soils with different salinization levels were analyzed. The results showed that: (1) The soil EC_e of 0—50 cm profile of different saline soils first decreased and then increased, but the EC_e of 40—50 cm profile was larger than that of 0—10 cm profile. The changes of soil EC_e in 0—50 cm profile of non-saline soil and extremely heavy saline soil were small, and the EC_e value of 0—50 cm section of light saline soil, medium saline soil and heavy saline soil fluctuated greatly. (2) Soil EC_e was negatively correlated with bulk density, and positively correlated with capillary porosity, non-capillary porosity, total porosity, moisture content, capillary water capacity, field water capacity and maximum water capacity. There was a very significant positive correlation between soil porosity and water holding capacity. (3) The saturated hydraulic conductivity of extremely heavy saline soil was significantly lower than that of other saline soils, and the saturated hydraulic conductivity of 0—20 cm profile

收稿日期: 2022-04-23

资助项目: 徐圩新区成果转化项目“徐圩新区盐碱地原土绿化技术模式研究”; 中国科学院前沿科学重点研究计划项目“盐碱逆境农业与区域水盐精准调控理论构建”(QYZDJ-SSW-DQC028)

第一作者: 祝瑜(1998—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事农业水土工程研究。E-mail: 374626997@qq.com

通信作者: 褚琳琳(1979—), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事盐渍土治理利用与盐渍化防控研究。E-mail: chuLL@hhu.edu.cn

was greater than that of 20—50 cm profile. The results could provide a theoretical reference for water and salt management and ecological environment construction of coastal saline soil.

Keywords: saline soil; physical properties; hydrodynamic properties; saturated hydraulic conductivity

江苏沿海滩涂资源丰富,约占我国滩涂面积的1/4,是江苏省乃至全国宝贵的后备土地资源。由于滩涂地形、地貌、土壤成因等不同,其土壤盐分存在较大的空间异质性,且季节性变化明显,春秋呈积盐趋势,夏季以脱盐为主,冬季发生隐蔽性积盐^[1-2]。微量的盐分可以促进植物的生长、提高产量,而滨海盐渍土土壤中可溶性盐分较高,养分贫瘠,抑制农作物和植物的生命代谢过程,严重制约滩涂的可持续开发利用^[3]。

改善盐渍土的物理和水力特性,对于加强盐渍土生态系统的综合影响至关重要^[4]。土壤的物理特性包括土壤容重、孔隙度等,其中土壤容重能直接或间接影响土壤蓄水性、通气性和保肥性,进而对植被光合作用、蛋白质合成等产生显著影响^[5-6]。有研究^[6]表明,土壤容重与土壤水分入渗速率受土壤含水量、pH、SAR 及植被根系的影响,同时影响土壤含水量、pH、SAR 和植被的根系。土壤孔隙度是反映土壤紧实状况的重要指标,关系土壤水、气、热的流通和贮存^[7-9]。土壤水力特性包括含水率、田间持水量、饱和导水率等,其中土壤水是农作物和其他自然植被生长的主要来源,也是微量元素及土壤肥料的重要载体,参与土壤物质全过程转化,维持全球初级生产力形成的能量平衡和物质传输^[10-11],土壤水分的变化影响土壤含氧量、土壤微生物呼吸和酶活性,从而改变土壤性质和结构^[12]。土壤田间持水量代表土壤储水、延缓地表径流以及为植被提供水分的能力,饱和导水率代表土壤水分的入渗性质。目前国内学者研究土壤饱和导水率多集中在土壤容重、质地、结构等^[6,9,13],对于盐分与土壤容重、孔隙度等物理性质和含水率、田间持水量、饱和导水率等土壤水力特性的相互作用研究较少。本研究选择江苏省连云港市徐圩新区非盐渍土、轻度盐渍土、中度盐渍土、重度盐渍土、极重

度盐渍土 5 种不同级别盐渍土基本物理特性和水动力学性质及两者的相互关系进行研究,揭示不同级别盐渍土不同剖面物理性质和水动力学特性的变化规律,以期为滨海盐渍化土壤的水盐调控和生态环境建设提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于江苏省连云港市东南部(119°17′—119°38′E,34°29′—34°40′N),紧邻黄海,区域内水网密集,河道受海洋潮汐影响较大。该地区属于暖温带湿润性季风海洋气候,年平均气温 14.1 ℃,四季分明,夏季多雨,冬季干燥。年平均风速 3.1 m/s,最大风速 29.3 m/s,易受台风侵袭。年平均降水量 900.9 mm,且 70% 以上集中于 6—9 月;年平均蒸发量为 855.1 mm,蒸发量年内分配不均,5—9 月蒸发量占全年蒸发量的 59%。研究区土壤为低产盐田改造而成,表层土壤主要理化性质见表 1。土壤质地为粉砂土,受海潮和海水型地下水的影响,区域内大部分土壤含盐量较高,部分区域含盐量高达 30‰~60‰,盐分以氯化钠为主,土壤钠吸附比高,质地黏重、结构差、透气性不良,除了耐盐性极强的少数盐生植物外,常规植物不能生长,绿化和生态环境建设难度较大。

1.2 试验设计

1.2.1 样地设置与样品采集 于 2021 年 9 月在连云港徐圩新区选取 5 种不同级别盐渍土,分别为非盐渍土(S1)、轻度盐渍土(S2)、中度盐渍土(S3)、重度盐渍土(S4)、极重度盐渍土(S5),划分盐渍土级别方法参考李晓彬^[14]的研究。分别用 100 cm³ 环刀和土钻采集 0—10,10—20,20—30,30—40,40—50 cm 原状土和扰动土。每个样点采集 3 个重复,利用手持 GPS 记录每个取样点经纬度和海拔高度。取样点基本信息见表 1。

表 1 取样点基本信息

土样 编号	纬度/ (°)	经度/ (°)	海拔 高度/m	地下 水埋深/m	植被覆盖 情况	土地 类型	0—10 cm 土层 EC_e / (dS · m ⁻¹)	0—10 cm 土层 pH
S1	119.2992	34.3747	6	1.2	灌木	客土	0.8459	7.93
S2	119.2955	34.3696	2	1.2	草坪	客土	2.4137	7.77
S3	119.2982	34.3585	7	1.1	草坪	客土	5.0784	7.89
S4	119.2954	34.3738	9	1.2	碱蓬	原土	12.5223	8.20
S5	119.3266	34.3569	3	1.2	裸地	原土	29.6515	8.02

1.2.2 试验方法 原状土采用环刀法采集,测定土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、最大持水

量、田间持水量、毛管持水量和饱和导水率。饱和导水率利用恒定水头法测定,将环刀浸在水中至水分饱和后

取出,擦干外壁,上面套1个空环刀,接口处密封,之后连接马氏瓶,待出水稳定后开始测定单位时间内水流量。以上指标均参照《森林土壤水分—物理性质的测定》(LY/T 1215—1999)^[15]。部分指标计算公式为:

毛管孔隙度(%) = 毛管持水量 × 土壤容重 (1)

非毛管孔隙度(%) = (最大持水量 - 毛管持水量) × 土壤容重 (2)

总孔隙度(%) = 毛管孔隙度 + 非毛管孔隙度 (3)

扰动土壤样品带回实验室自然风干后,挑去砾石、植物根系等,碾磨过筛,制作饱和泥浆,用DT5-2B离心机(北京时代北利有限公司)获得饱和泥浆提取液,用DDSJ-308F电导率仪测定提取液的电导率(EC_e)和PHSJ-3F(上海仪电科学仪器股份有限公司)测定提取液pH。

1.3 数据分析与处理

采用SPSS 23.0软件中Pearson法对土壤盐分与土壤物理性质的相关性进行双变量相关性分析,并对其相关性进行显著性检验和单因素方差分析(One-way ANOVA),用Duncan新复极差法进行差异显著性检验($p < 0.05$);采用Origin 18.0软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同级别盐渍土 0—50 cm 剖面 EC_e 变化

从图1可以看出,5个级别盐渍土不同剖面土壤 EC_e 变化值为S1的0—40 cm和S2的30—40 cm剖面土壤 EC_e 处于0~2 dS/m。S2的0—30 cm以及S3的10—40 cm剖面土壤 EC_e 处于2~4 dS/m, S3的0—10 cm和S2的40—50 cm剖面土壤 EC_e 处于4~8 dS/m, S4的0—30 cm剖面土壤 EC_e 处于8~16 dS/m, S4的30—50 cm和S5的0—50 cm剖面 EC_e 均大于16 dS/m。S1、S2、S3、S4、S5的0—50 cm剖面 EC_e 总体呈“U”形变化,且深层剖面40—50 cm的 EC_e 值均比其他剖面的大。S3、S4、S5的0—10 cm剖面比10—30 cm剖面土壤 EC_e 值大。只有S1非盐渍土和S5极重度盐渍土的0—50 cm剖面土壤 EC_e 变化较小,其他3个级别盐渍土在不同剖面上土壤 EC_e 变化较大。

2.2 不同级别盐渍土 0—50 cm 剖面土壤物理性质变化

从图2a可以看出,5个不同级别盐渍土的同一剖面土壤容重和同一级别盐渍土不同剖面的土壤容重均存在显著差异($p < 0.05$),S5的0—50 cm剖面土壤容重明显小于其他取样点;从图2b可以看出,不同级别盐渍土相同剖面土壤非毛管孔隙度和毛管孔隙度差异性显著,S3、S4不同剖面土壤非毛管孔隙度和毛管孔隙度差异性不显著($p > 0.05$),S1、S2、S5不同剖面土壤非毛管孔隙度和毛管孔隙度差异性显著($p < 0.05$)。S5极重度盐渍土非毛管孔隙度明显大于其他级别盐

渍土,且剖面深度越大,非毛管孔隙度越大;从图2c可以看出,S1、S2、S3、S4、S5的20—30, 30—40 cm剖面土壤毛管孔隙度差异性显著($p < 0.05$),其他剖面差异不显著($p > 0.05$),S2的0—20 cm剖面的毛管孔隙度明显大于其20—40 cm剖面的;从图2d可以看出,S2、S3、S4不同剖面土壤总孔隙度差异性不显著($p > 0.05$),S1、S5不同剖面土壤总孔隙度范围分别为22.2%~31.9%和47.3%~69.9%,差异性显著($p < 0.05$),S5极重度盐渍化土剖面深度越大,非毛管孔隙度和总孔隙度越大。

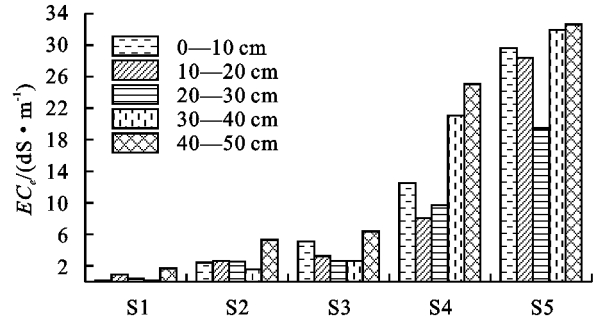
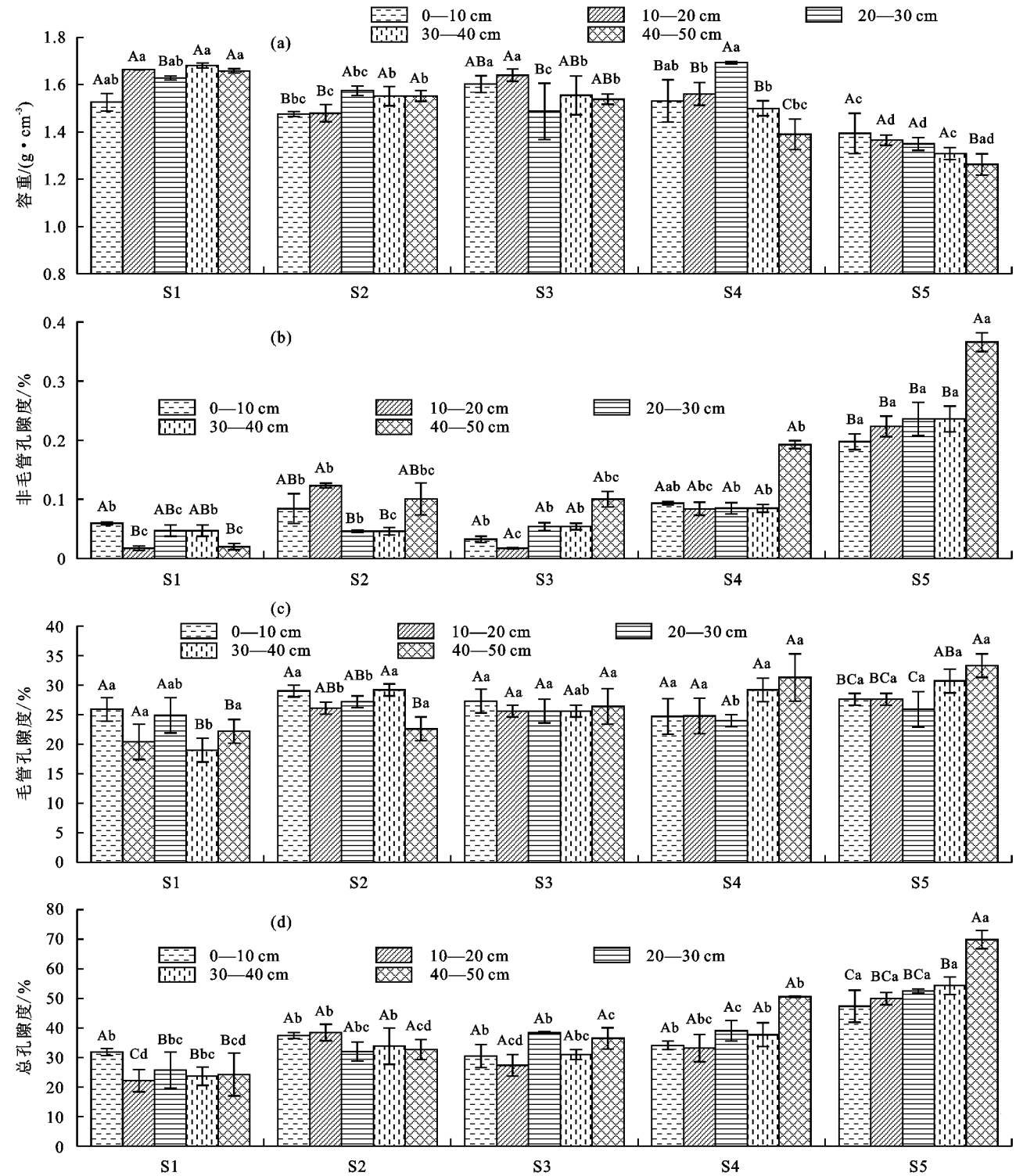


图1 不同级别盐渍土不同剖面 EC_e 的变化

2.3 不同级别盐渍土 0—50 cm 剖面土壤水动力学特性变化

土壤含水率是指土壤样品中水分占烘干前土壤样品总质量的百分比,持水性能是评价土壤储水、延缓地表径流以及为植被提供水分的能力,可用来评价土壤层的水文功能,包括毛管持水量、田间持水量和最大持水量。由图3可知,S1、S2、S3、S4、S5相同剖面土壤含水率差异显著($p < 0.05$),除S3不同剖面土壤含水率差异不显著($p > 0.05$),其他级别盐渍土差异性显著($p < 0.05$)。土壤盐分与水分含量之间存在密切的正相关关系^[16],本试验结果也表明,盐渍化程度越深,含水率越大。S5含水率范围为24.4%~43.2%,明显大于其他级别盐渍土土壤含水率,S2的0—50 cm剖面含水率较其他级别盐渍土波动幅度大。毛管持水量是指土壤中所能保持的毛管上升水的最大数量^[17],S1、S2、S3、S4、S5同一剖面差异性不显著的只有0—10 cm剖面。不同剖面深度毛管持水量差异性不显著的只有S3和S4。田间持水量是指自然状况下土壤所能保持的最大水量^[17],5个级别盐渍土的0—10, 20—30 cm剖面土壤田间持水量差异不显著($p > 0.05$),其他剖面差异性显著($p < 0.05$)。最大持水量是指土壤孔隙全部充满水时保持的水量^[17],5个级别盐渍土相同剖面以及相同级别盐渍土不同剖面之间最大持水量都存在显著性差异($p < 0.05$)。S5的0—50 cm剖面土壤最大持水量跨度最大,最小值和最大值之间相差26.1%。而5个级别盐渍土40—50 cm剖面土壤最大持水量相差46.6%。S1、S2、S3、S4、S5

的 40—50 cm 剖面土壤毛管持水量、田间持水量、最大持水量值随 EC_e 值的增大而增大。



注:不同大写字母表示同一级别盐渍土不同剖面土壤各指标差异显著($p<0.05$);不同小写字母表示同一剖面不同级别盐渍土土壤各指标差异显著($p<0.05$).下同。

图 2 不同级别盐渍土土壤物理性质分布特征

土壤饱和导水率是指土壤全部孔隙都充满水的情况下,在单位水势梯度作用下,单位时间内通过单位面积的水量,是反映土壤质地、容重、孔隙分布特征的代表值之一^[18],其在时间上和空间上是易变的^[19]。由表 2 可知,5 个级别盐渍土 0—50 cm 剖面土壤饱和导水率变化范围分别为 0.044~0.156,

0.035~0.152,0.007~0.133,0.003~2.356,0.010~0.059 mm/min,S5 的 0—50 cm 剖面土壤饱和导水率均小于 S1、S2、S3。S4 的 0—50 cm 剖面土壤饱和导水率变异性强,变异系数范围在 0.482~1.673,属于中高强度变异性。

不同剖面(0—10,10—20,20—30,30—40,40—

50 cm)土壤饱和导水率范围分别为 0.034~2.356, 0.025~1.370, 0.019~0.471, 0.004~0.393, 0.003~0.084 mm/min, 且 0—20 cm 剖面土壤饱和导水率均高于 20—50 cm 剖面。只有 S3、S5 不同剖面土壤饱和

导水率差异性不显著($p>0.05$),其他 3 个级别盐渍土差异性显著($p<0.05$),5 个级别盐渍土的 30—40 cm 剖面土壤饱和导水率不存在显著性差异($p>0.05$),其他剖面差异性显著($p<0.05$)。

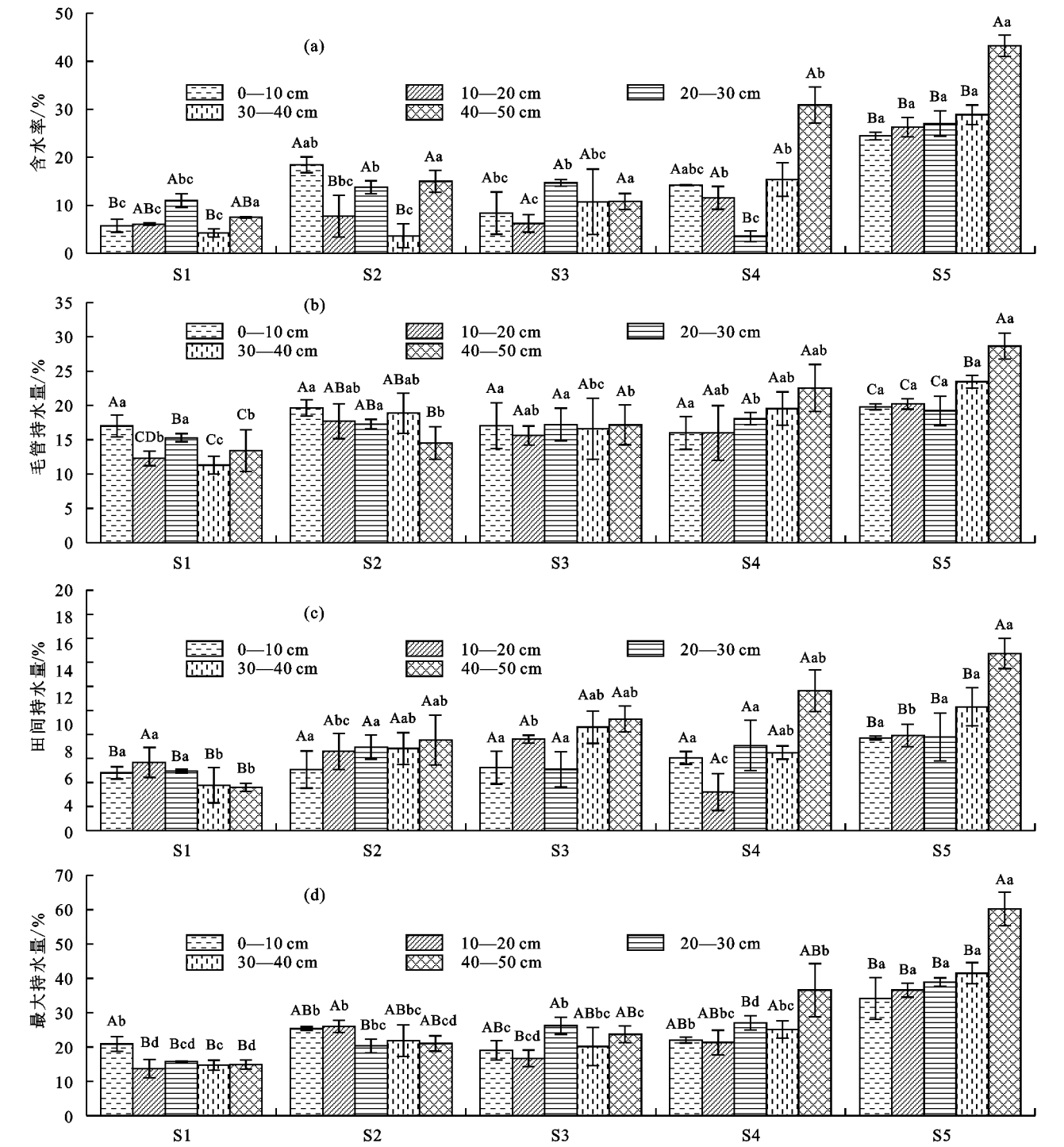


图3 不同级别盐渍土水力特性分布特征

3 讨论

土壤的形成过程是气候、母质、地形、生物和时间共同作用的结果,土壤容重、孔隙度、持水量等存在一定的相关性关系^[20]。由表3可知, EC_e 与pH无显著相关关系,与容重存在极显著负相关关系($p<0.01$),与总孔隙度、非毛管孔隙度、毛管孔隙度存在

极显著正相关关系($p<0.01$)。土壤结构和团聚孔隙度受盐分变化的影响^[21], EC_e 与总孔隙度和非毛管孔隙度的相关系数最强,分别高达0.882和0.870。S3、S4、S5的0—10 cm剖面 EC_e 明显大于10—30 cm剖面的,可能是因为可溶性盐离子随着水分进入土壤,在毛细运动作用下被强烈地蒸发驱动,造成表层土

壤盐分的积聚,本研究取样时处于 9 月份,江苏沿海地区降雨较少,加上高蒸发力的作用,雨季储存在土壤中的水分产生剧烈蒸发,土壤中盐分在表层累积使盐分浓度增加达到最大值,盐渍化程度加深^[22-23]。由表 2 可见, EC_e 与含水率、最大持水量、毛管持水量、田间持水量存在极显著正相关关系,含水量的增加提高盐的浸出效率^[24],土壤水分在土体中的滞留效应改变土壤盐分的分布,长时间尺度下土壤会因频繁地“脱盐”“返盐”进一步影响土壤质地及其结构的稳定性^[25]。容重与总孔隙度、非毛管孔隙度、毛管孔

隙度、含水率、最大持水量、毛管持水量、田间持水量存在极显著负相关关系($p<0.01$),此结论与 Feki 等^[26]研究结果相同。土壤持水能力是指吸收和滞留土壤水,吸收的水分主要被植物根部吸收,滞留的水则储存在非毛管孔隙中^[27]。土壤孔隙的增加,使土壤含水量和持水能力提高,研究表明孔隙度和持水量之间均存在极显著正相关关系,这与孙泉沁等^[28]的研究结果相同。pH 和土壤物理性质均无显著相关关系,可能是因为 pH 变化幅度较小,与其他土壤物理性质的相关性较低^[29]。

表 2 不同级别盐渍土不同剖面土壤饱和和导水率的统计特征值

土样 编号	土层 深度/cm	饱和导水率/(mm·min ⁻¹)			极差	标准差	变异 系数
		最大值	最小值	平均值			
S1	0—10	0.156	0.147	0.150Ab	0.009	0.005	0.034
	10—20	0.136	0.110	0.126Aab	0.026	0.014	0.109
	20—30	0.103	0.085	0.092Bab	0.018	0.010	0.105
	30—40	0.082	0.060	0.067Ba	0.022	0.013	0.192
	40—50	0.084	0.044	0.070Ba	0.041	0.023	0.328
S2	0—10	0.152	0.084	0.122Ab	0.068	0.034	0.283
	10—20	0.152	0.070	0.121Aab	0.082	0.044	0.368
	20—30	0.057	0.038	0.047Bab	0.019	0.010	0.207
	30—40	0.075	0.035	0.059Ba	0.040	0.021	0.362
	40—50	0.075	0.073	0.074ABa	0.003	0.001	0.018
S3	0—10	0.089	0.073	0.081Ab	0.016	0.008	0.099
	10—20	0.133	0.032	0.073Ab	0.102	0.054	0.734
	20—30	0.073	0.048	0.062Aab	0.025	0.013	0.209
	30—40	0.076	0.029	0.057Aa	0.047	0.025	0.442
	40—50	0.070	0.007	0.046Ab	0.063	0.034	0.743
S4	0—10	2.356	1.041	1.514Aa	1.314	0.730	0.482
	10—20	1.370	0.209	0.646Ba	1.161	0.632	0.978
	20—30	0.471	0.044	0.228Ba	0.427	0.219	0.963
	30—40	0.393	0.004	0.134Ba	0.389	0.224	1.673
	40—50	0.012	0.003	0.008Bc	0.009	0.005	0.569
S5	0—10	0.051	0.034	0.041Ab	0.017	0.009	0.218
	10—20	0.050	0.025	0.037Ab	0.025	0.013	0.340
	20—30	0.036	0.019	0.026Ab	0.017	0.009	0.338
	30—40	0.059	0.010	0.034Aa	0.048	0.024	0.713
	40—50	0.043	0.014	0.024Aabc	0.029	0.017	0.700

注:不同大写字母表示同一级别盐渍土不同剖面土壤饱和和导水率差异显著($p<0.05$);不同小写字母表示同一剖面不同级别盐渍土饱和和导水率差异显著($p<0.05$)。

土壤饱和导水率反映土壤水分渗漏性质,5 个级别盐渍土的 0—20 cm 剖面土壤饱和和导水率均高于 20—50 cm 剖面。S1 的 0—50 cm 剖面土壤饱和和导水率均大于 S5 的,且在 S1、S2、S3、S4、S5 中 S5 的土壤饱和和导水率最小,可能是因为 S1 的 0—50 cm 剖面土壤都是非盐渍土,S5 的都是极重度盐渍土,且 S5 土壤质地是淤泥质黏性土壤,土壤黏性越重导水率越差^[30]。研究^[31]表明,植物根系及其降解物通过提高土壤有机质含量,改善结构,降低土壤容重和增加土

壤毛管孔隙度等土壤物理特性对土壤的蓄水和持水性能产生作用,这种作用在土壤 0—20 cm 剖面表现明显。王紫薇等^[32]研究结果也表明,同一土地利用方式下表层土壤饱和和导水率高于深层土壤,浅层土壤是植物幼苗生长发育的主要场所,植物根系的生长促进浅层土壤毛细管数量和孔隙度的增加,在一定程度上促进植物生长,提高水分利用效率^[33]。由表 2 可知,随着土壤盐分含量的增加,饱和导水率有减小的趋势,主要是因为滨海盐渍土土壤水稳性团聚体被破坏,黏粒高度分

散,土壤透水孔隙被堵塞,土壤盐分含量高,养分和有机质的积累变少,使土壤结构性变差^[13]。

本研究区处于连云港徐圩新区东侧,是以黏性土为主的强盐渍化土壤地区,土壤长期受到海水侵入,垂直海岸线的水盐分和植被种类存在显著差异^[34],只有极少数耐盐植物可以存活。所以徐圩新区绿化大多采用“客土造林”结合“暗沟排盐+隔盐层+土壤改良”技术,采用无盐碱、土壤结构良好的客土换土造林,但由于种植层与原土环境割裂,导致其保水保肥能力差^[35]。S1、S2、S3 是客土区域,其客土年限大小分别为 S3>S2>S1,从整体来看,其 0—50 cm 剖面土壤 EC_e 值大小分别为 S3>S2>S1。S4、S5 土壤是原土,整个剖面 EC_e 均大于客土区域。S1、S2、S3 的深层土壤剖面 EC_e 大于上层土壤剖面,可能是因为

S1、S2、S3 在绿化植物生长过程中,会因为隔盐材料逐步老化失效,隔盐排盐系统渐渐堵塞积水等原因,造成土壤返盐状况,客土年限越大,返盐状况越明显。S4、S5 的 0—50 cm 剖面最大持水量明显大于 S1、S2、S3,原因可能就是因为客土土壤保水保肥性差。由表 2 可见,S4 的 0—30 cm 剖面土壤饱和导水率明显大于 S5 的,说明 S4 土壤水分渗漏能力比 S5 强,且 S4 的 0—50 cm 剖面 EC_e 明显小于 S5。可能是因为 S5 是裸地,而 S4 表面有碱蓬覆盖。

有研究^[36]表明,碱蓬不仅可以改善土壤结构,提高土壤孔隙率,增加土壤渗透率,提高土壤淋洗效率,还可以增加土壤有机质的含量,使重盐碱裸露地在自然淋洗与盐地碱蓬生长下形成良性循环,达到盐碱地持续改良的目的。

表 3 土壤理化性质与水力系数相关性分析

项目	EC_e	pH	容重	总孔隙度	非毛管孔隙度	毛管孔隙度	含水率	最大持水量	毛管持水量	田间持水量
EC_e	1									
pH	0.238	1								
容重	-0.817 **	0.083	1							
总孔隙度	0.870 **	0.044	-0.918 **	1						
非毛管孔隙度	0.882 **	0.061	-0.900 **	0.961 **	1					
毛管孔隙度	0.636 **	-0.082	-0.758 **	0.757 **	0.625 **	1				
含水率	0.861 **	-0.007	-0.903 **	0.901 **	0.915 **	0.688 **	1			
最大持水量	0.858 **	0.017	-0.900 **	0.993 **	0.966 **	0.734 **	0.905 **	1		
毛管持水量	0.784 **	-0.024	-0.852 **	0.929 **	0.835 **	0.928 **	0.825 **	0.924 **	1	
田间持水量	0.688 **	-0.081	-0.678 **	0.787 **	0.765 **	0.684 **	0.741 **	0.799 **	0.795 **	1

注: ** 表示极显著相关($p<0.01$)。

4 结论

(1)不同级别盐渍土 0—50 cm 剖面土壤 EC_e 值总体呈“U”形变化,先变小后增大,40—50 cm 剖面 EC_e 大于 0—40 cm 剖面。非盐渍土和极重度盐渍土 0—50 cm 剖面土壤 EC_e 变化较小,轻度盐渍土、中度盐渍土、重度盐渍土 0—50 cm 剖面 EC_e 变化较大。

(2)不同级别盐渍土 0—50 cm 土层土壤 EC_e 与容重呈极显著负相关关系,与毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、含水率、毛管持水量、田间持水量、最大持水量呈极显著正相关关系。非毛管孔隙、毛管孔隙、总孔隙度与含水率、毛管持水量、田间持水量、最大持水量呈极显著正相关关系,pH 与土壤物理性质均无显著关系。

(3)极重度盐渍土饱和导水率明显小于其他级别盐渍土,且 0—20 cm 剖面土壤饱和导水率大于 20—50 cm 剖面。此外由于本研究取样时间处于秋季 9 月雨水减少,蒸发增强的土壤积盐阶段,再加上滨海地区时常出现局部降雨情况,所以实验结论可能会受到影响,在未来研究中,要对不同季节不同 EC_e 梯度

盐渍土物理性质和水动力学特性进行系统的相关性分析,以期得到更有说服力的结论。

参考文献:

[1] 姚荣江,杨劲松,陈小兵,等.苏北海涂典型围垦区土壤盐渍化风险评估研究[J].中国生态农业学报,2010,18(5):1000-1006.

[2] 王遵亲.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.

[3] Zhu T S, Shao T Y, Liu J Y, et al. Improvement of physico-chemical properties and microbiome in different salinity soils by incorporating Jerusalem artichoke residues[J].Applied Soil Ecology,2021,158:e103791.

[4] Liang J P, Li Y, Si B C, et al. Optimizing biochar application to improve soil physical and hydraulic properties in saline-alkali soils[J].Science of the Total Environment,2021,771:e144802.

[5] Tejada M, Garcia C, Gonzalez J L, et al. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil[J].Soil Biology and Biochemistry,2006,38(6):1413-1421.

[6] 杨洪涛,王志春,杨帆,等.不同植被条件下苏打盐渍土

- 容重与水分入渗速率差异[J].土壤与作物,2015,4(1):12-18.
- [7] 丛小涵,王卫霞.不同农作方式对阿克苏地区土壤物理特性的影响[J].西南农业学报,2021,34(10):2123-2129.
- [8] 刘艳丽,李成亮,高明秀,等.不同土地利用方式对黄河三角洲土壤物理特性的影响[J].生态学报,2015,35(15):5183-5190.
- [9] 侯晓娜,李慧,朱刘兵,等.生物炭与秸秆添加对砂姜黑土团聚体组成和有机碳分布的影响[J].中国农业科学,2015,48(4):705-712.
- [10] Costa J L. Effect of irrigation water quality under supplementary irrigation on soil chemical and physical properties in the “Southern Humid Pampas” of Argentina[J].Journal of Crop Production,2000,2(2):85-99.
- [11] Zhang C C, Wang Y Q, Jia X X, et al. Variations in capacity and storage of plant-available water in deep profiles along a revegetation and precipitation gradient[J].Journal of Hydrology,2020,581:e124401.
- [12] Brockett B F T, Prescott C E, Grayston S J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada[J].Soil Biology and Biochemistry,2012,44(1):9-20.
- [13] 王晓洋,陈效民,李孝良.不同盐渍化程度滨海盐土的饱和导水率[J].江苏农业科学,2011,39(4):446-448.
- [14] 李孝彬.咸水滴灌滨海盐碱地土壤水盐调控机制与植被构建方法研究[D].北京:中国科学院大学,2016.
- [15] 中国林业科学研究院.森林土壤水分—物理性质的测定 LY/t 1215—1999[S].北京:中国林业出版社,1999.
- [16] Wang X B, Zhao Q S, Hu Y J, et al. An alternative water source and combined agronomic practices for cotton irrigation in coastal saline soils[J].Irrigation Science,2012,30(3):221-232.
- [17] 邬静淳,欧阳,熊兴政,等.三峡库区消落带 2 种树木林下土壤的物理性质比较[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(4):157-164.
- [18] 雷志杨,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988.
- [19] Bagarello V, Barca E, Castellini M, et al. A plot-scale uncertainty analysis of saturated hydraulic conductivity of a clay soil[J].Journal of Hydrology,2021,596:e125694.
- [20] 邹文秀,韩晓增,陆欣春,等.不同土地利用方式对黑土剖面土壤物理性质的影响[J].水土保持学报,2015,29(5):187-193.
- [21] Wall A, Heiskanen J. Soil-water content and air-filled porosity affect height growth of Scots pine in afforested arable land in Finland[J].Forest Ecology and Management,2009,257(8):1751-1756.
- [22] Lee X Q, Yang F, Xing Y, et al. Use of biochar to manage soil salts and water: Effects and mechanisms[J].Catena,2022,211:e106018.
- [23] 张蛟,冯芝祥,崔世友,等.滩涂垦区不同盐分水平土壤的盐分动态及土壤因子变化[J].江苏农业学报,2017,33(4):836-842.
- [24] Zhu W, Yang J S, Yao R J, et al. Soil water-salt control and yield improvement under the effect of compound control in saline soil of the Yellow River Delta, China[J].Agricultural Water Management,2022,263:e107455.
- [25] 郑一鹏,余冬立,王洪德.钠盐含量变化对海涂粉砂土工程边坡土力学性质的影响[J].水土保持学报,2019,33(2):93-97.
- [26] Feki M, Ravazzani G, Ceppi A, et al. Influence of soil hydraulic variability on soil moisture simulations and irrigation scheduling in a maize field[J].Agricultural Water Management,2018,202:183-194.
- [27] Liu Y, Gao M S, Wu W, et al. The effects of conservation tillage practices on the soil water-holding capacity of a non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau, China[J].Soil and Tillage Research,2013,130:7-12.
- [28] 孙泉沁,房凯,费远航,等.施加生物炭对盐渍土土壤结构和水力结构特效的影响[J].农业机械学报,2019,50(2):242-249.
- [29] Li Y, Li Z, Cui S, et al. Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture[J].Geoderma,2020,361:e114099.
- [30] 毛娜,黄来明,邵明安.黄土区坡面尺度不同植被类型土壤饱和导水率剖面分布及影响因素[J].土壤,2019,51(2):381-389.
- [31] Zhu P, Zhang G, Zhang B J. Soil saturated hydraulic conductivity of typical revegetated plants on steep gully slopes of Chinese Loess Plateau[J].Geoderma,2022,412:e115717.
- [32] 王紫薇,邵明安,黄来明,等.青海省东部不同土地利用方式下土壤饱和导水率分布及其影响因素[J].水土保持学报,2021,35(3):150-155.
- [33] Li X Q, Xia J B, Zhao X M, et al. Effects of planting Tamarix chinensis on shallow soil water and salt content under different groundwater depths in the Yellow River Delta[J].Geoderma,2019,335:104-111.
- [34] Li J G, Pu L J, Zhu M, et al. Evolution of soil properties following reclamation in coastal areas: A review[J].Geoderma,2014,226/227:130-139.
- [35] 刘金荣,谢晓蓉.重盐碱地的改造及建植草坪的研究:以河西走廊中部重盐碱低洼地的草坪建植为例[J].水土保持通报,2004,24(1):19-21.
- [36] 贾林,刘璐瑶,王鹏山,等.盐地碱蓬的耐盐机理及改良土壤机理研究进展[J].中国农学通报,2021,37(3):73-80.