

天津滨海盐渍土客土改良后的土壤理化性质与持水特性

李品芳^{1,2}, 杨永利³, 兰天^{1,2}, 郭世文^{1*}, 张凯³, 韩纪委¹, 张清³

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 农业部华北耕地保育重点实验室, 北京 100193;
3. 天津泰达绿化集团有限公司, 天津 300457)

摘要: 为了解天津滨海新区盐渍土采用客土法改良后的土壤理化性质的变化情况, 该研究选取滨海新区汉沽区的滨海盐渍土以及采用客土改良后历经 5 a 的土壤 (配制客土) 作为研究对象, 测定分析这 2 种土壤 0~60 cm 不同土层土样的基本理化性质、土壤水分特征曲线, 探讨了理化性质和土壤水分参数的差异。结果表明: 客土改良后历经 5 a 的配制客土电导率远低于未改良的滨海盐渍土, 降幅约为 97%, 有效含水量以及田间持水量明显低于滨海盐渍土。有机质质量分数和阳离子交换量分别增加了 29.65% 和 8.36%, pH 值和容重变化不大。综合分析后认为, 滨海盐渍土经配制的客土改良后, 盐渍化程度减弱, 有机质增大, 但持水特性和物理性质却没有明显的改善。土壤质地黏重是影响该地区土地资源开发利用的主要因素之一。

关键词: 土壤; pH; 有机质; 滨海盐渍土; 客土; 理化性质; 水分特征曲线; 持水特性

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.019

中图分类号: S156.4⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-07-0149-08

李品芳, 杨永利, 兰天, 郭世文, 张凯, 韩纪委, 张清. 天津滨海盐渍土客土改良后的土壤理化性质与持水特性[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 149—156. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.019 <http://www.tcsae.org>
Li Pinfang, Yang Yongli, Lan Tian, Guo Shiwen, Zhang Kai, Han Jiwei, Zhang Qing. Physicochemical properties and water holding characteristics of Tianjin coastal saline soil improved by foreign soil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(7): 149—156. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.019 <http://www.tcsae.org>

0 引言

盐渍土作为一种重要的土地资源, 在地球上广泛分布。目前全世界盐碱土面积大约有 $9.5 \times 10^9 \text{ hm}^2$, 主要分布在亚欧大陆、美洲西部和非洲等世界各大洲的干旱地区。中国的盐渍土总面积达 $3.7 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 占世界盐碱地总面积的 1/28, 广泛分布于中国滨海以及内陆各地^[1-2]。但脆弱的生态环境, 不良的气候、地质、地貌和水文等自然条件, 是目前盐渍化地区的主要特征。如能合理改良、利用盐渍土, 则可有效缓解土地资源不足、提升土地生产力, 并改善生态环境的窘境。盐渍土的改良利用是不可轻视的资源、环境与生态问题^[3-5]。

盐碱土改良利用的方法有采用客土、地面覆盖、化学改良剂以及暗管排盐、种植耐盐或盐生植物等多种类型。其中的客土改良法, 是将盐渍土移走回填适合植物生长、理化性质较好的客土, 与其他改良技术相比, 能在短时间达到预期效果, 有着独特的优势。有研究报道采用沙质客土的方法可以有效改善龟裂碱土水分状况,

显著促进作物生长, 提高作物产量^[6]。中国福建平海湾地区利用客土改良法, 已经使 $1\,267 \text{ hm}^2$ 沙碱盐土得到了改良, 与原生土壤相比, 有机质含量有了明显提升, 土壤质地也得到了改善^[7]。但往往由于不同水文、气候环境的影响, 改良后客土的持水性以及理化性质会区别于原土以及用于改良的客土, 呈现出新的特征^[8-10]。

天津滨海新区位于中国天津市中心的东部, 前身是一片淤泥质盐渍土滩涂, 土表含盐达 7% 以上^[10-11], 是典型的滨海重盐渍荒漠化地区, 生态系统脆弱, 绿化异常艰难。随着天津滨海新区的开发、开放及城市化进程, 盐碱地绿化及土地的可持续利用成为制约滨海新区发展的重要因素之一, 开展盐渍土资源的持续利用与优化管理的研究至关重要。已有研究报道, 在滨海重盐碱地区采用客土基盘技术进行苗木培育, 抗盐、阻盐、排盐效果非常明显, 能够为苗木生长提供良好的环境条件, 对种植穴以外区域的土壤按照客土: 山皮砂: 草炭=3:1:1 (体积比) 进行改良的新改土工艺更适合杨树的生长^[9]。暗管排盐与客土改良技术被大规模应用于天津滨海新区绿地建植工程中, 在滨海重盐渍地区一次性种植大规模的杨树林总面积达 $4.75 \times 10^5 \text{ m}^2$ ^[9]。但随着滨海新区绿化建设规模的扩大, 时间的推进, 客土的土壤性能质量是否能够长期维系滨海地区园林绿地的可持续利用和发展亟待探究^[12-14]。

为此, 本研究选取天津滨海新区十三大街道路边的原生盐渍土 (滨海盐渍土) 和汉沽区泰达现代产业区杨树林客土改良后利用 5 a 客土土壤 (客土: 山皮砂: 草炭=3:1:1) 为研究对象, 测定分析其理化性质和水分特征

收稿日期: 2016-09-26 修订日期: 2017-01-20

基金项目: 天津市科技计划项目 (14RXHZSF00142)

作者简介: 李品芳, 女 (汉族), 内蒙古人, 博士, 教授, 主要从事水土资源可持续利用, 盐土与盐生植物的开发与利用研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100193。Email: pfl@cau.edu.cn

*通信作者: 郭世文, 男, 汉族, 北京人, 农学博士, 副教授, 主要从事水土资源利用与规划设计, 水利工程规划与设计, 农业生态工程等方面的研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100193。Email: guosw@cau.edu.cn

曲线, 并比较分析土壤水分特征曲线模型的拟合情况, 分析 2 种土壤水分物理特性的差异, 评价土壤质量及客土改良效果。以期为滨海地区客土配制技术以及绿地灌溉、施肥管理的改进提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究样地概况及土样采集

试验采样地选取滨海重盐碱浅潜水区域, 位于天津市滨海新区汉沽区 (117°79'E, 39°21'N)。该区域原始地貌为海积平原, 海拔高程 1.0~2.5 m, 坡降 0.1‰, 地下水位 0.5~1.5 m, 常引起海水倒灌。该地区属于暖温带半干旱季风气候区, 年平均气温 12.3 °C, 年平均降水量 589 mm, 年平均蒸发量达 1 931 mm。原始土体 0~100 cm 土层全盐质量分数达 39.5 g/kg, 地下水矿化度高达 70~100 g/L^[9]。

在天津滨海新区十三大街道附近选取无植被覆盖处的原生盐渍土 (以下简称滨海盐渍土), 在汉沽区的泰达现代产业区杨树林行间选取 2008 年客土改良施工后利用 5 a 的土壤 (以下简称配制客土)。2013 年 5 月, 在 2 种土壤类型地的地势平坦处选择采样地点, 各 6 处样点, 挖长×宽×深为 2 m×1.5 m×1 m 的剖面, 按 0~10、>10~20、>20~30、>30~40 和 >40~60 cm 层次取样, 用于土壤容重、水分特征曲线的测定, 另取超过 500 g 的土样用于其他理化指标的测定, 3 个重复。

配制客土是由购进的客土土壤、山皮砂、草炭配制而成, 配制比为: 客土: 山皮砂: 草炭=3:1:1 (体积比), 表 1 是配制客土时原材料的基本理化性质。客土改良区域采用土壤置换与“浅潜水暗管排盐法”配合的方式, 土壤置换深度为 100 cm, 客土下面为炉渣垫层和回填层, 其下埋设内径为 60 mm 波纹塑料盲管作为排水通道, 排水盲管上的孔隙密度为 1×10⁻³ m²/m, 盲管铺设间距为 8 m。在客土改良区域的植被, 乔木以 2009 年 10 月栽植的毛白杨和 107 杨为主, 灌木为大叶黄杨, 地被植物使用蛇莓、五叶地锦、二月兰、紫花苜蓿以及波斯菊等。滨海盐渍土区采用了同样的“浅潜水暗管排盐法”, 即在距地表 1 m 以下铺设炉渣层、回填层、排水通道等。滨海盐渍土区与客土区采用相同的灌水制度, 土表的植被种植情况也相同。

表 1 客土配制掺拌材料的基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of adminding materials

材料 Materials	pH 值 pH value	有机质 Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	干密度 Dry density/ (g·cm ⁻³)	土壤 质地 Soil texture	全盐 Total soil salt/ (g·kg ⁻¹)	阳离子交换量 Cation exchange capacity/ (cmol·kg ⁻¹)
客土主料土壤 Foreign soil for adminding	8.49	14.9	1.50	黏土	2.9	10.98
山皮土 Hill-skill soil	8.93	41.6	1.37	粉砂土	-	-
草炭 Peat	5.42	542.5	-	-	-	54.28

1.2 样品测定方法

土壤水分特征曲线采用砂箱法-压力薄膜仪法测定。砂箱法测定土壤低吸力段对应的体积含水率, 依次施加

的水吸力为 2、4、6、8、10、30、50、100 kPa。压力膜仪法测定高吸力段对应的含水率, 依次施加的水吸力为 100、300、500、1 500 kPa^[15]。

土壤容重采用烘干法, 土粒密度采用比重瓶法测定, 总孔隙度利用土壤容重和土粒密度计算而得。土壤质地采用移液管法测定, 土壤水稳性团聚体含量采用湿筛法测定。用酸碱度计测定 pH 值, 阳离子交换量(cation exchange capacity, CEC)采用乙酸钠-火焰光度法测定。土壤电导率 EC 采用电导率仪测定, 有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定^[16-17]。

1.3 土壤水分特征曲线模型拟合

水分特征曲线分别采用下列 4 种模型进行拟合。

1) van Genuchten 模型 (简称 VG 模型)^[18]

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha h|^n\right]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中 $\theta(h)$ 为土壤体积含水率, θ_s 为土壤饱和体积含水率, cm³/cm³; θ_r 为残余土壤体积含水率, cm³/cm³; h 为负压, kPa, α 是进气值的倒数, m 与 n 是土壤孔隙尺寸分布参数, $m=1-1/n$ 或 $m=1-2/n$ 。 α 、 m 、 n 均是影响土壤水分特征曲线形态的经验参数。

2) Dual-porosity 模型 (简称 DP 模型)^[19]

$$S_e = w_1 \left[1 + (\alpha_1 h)^{n_1}\right]^{-m_1} + w_2 \left[1 + (\alpha_2 h)^{n_2}\right]^{-m_2} \quad (2)$$

式中 S_e 为饱和度; w_1 、 w_2 分别为 2 个区域的权重因子; α_1 、 α_2 为各自区域进气值的倒数, m_1 、 m_2 、 n_1 、 n_2 为土壤孔隙尺寸分布参数, 它们均为影响土壤水分特征曲线的经验参数, 其余符号含义同 (1) 式。

3) Lognormal distribution 模型 (简称 LND 模型)^[20]

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \frac{\ln(h/\alpha)}{\sqrt{2n}} \right\} & h < 0 \\ 1 & h \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中 θ 为土壤体积含水率, erfc 为高斯误差函数(error function or Gauss error function)。

4) Brooks and Corey 模型 (简称 BC 模型)^[21]

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} (\alpha h)^{-\lambda} & \alpha h > 1 \\ 1 & \alpha h \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中 λ 是土壤孔隙尺寸分布参数, 影响土壤水分特征曲线的斜率, 其余符号含义同 (1)、(2) 式。

1.4 数据处理

本文应用 Origin8.0 软件进行数据处理、图表绘制, SPSS17.0 进行方差分析和非线性拟合, 采用 Duncan 新复极差法进行显著性检验 ($P < 0.05$), 应用 RETC 软件进行土壤水分特征曲线参数的计算及拟合。

2 结果与分析

2.1 滨海盐渍土与配制客土的基本理化性质

2.1.1 物理性质

表 2 是滨海盐渍土和配制客土不同土层的物理性质

测定结果。从表 2 中可以看出，2 种土壤不同层次的土壤颗粒组成存在一定差异。从砂粒含量来看，相同土层滨海盐渍土的砂粒含量均大于配制客土，2 种土壤砂粒质量分数的平均值分别为 38.31%和 20.92%，不同土层砂粒质量分数的变化范围分别为 29.43%~52.12%和 17.84%~26.56%，2 种土壤砂粒含量最高的土层深度均为 0~10 cm。2 种土壤在 10~20 cm 土层的砂粒比 0~10 cm 土层分别降低了 43.53%和 29.52%。在 10~20 cm 以下的土层，2 种土壤砂粒含量随土层深度的增加呈现先上升后下降的变化趋势。

滨海盐渍土和配制客土不同土层粉粒质量分数的变化范围分别为 23.43%~28.21%和 15.32%~26.70%，平均值分别为 25.75%和 20.23%。相同土层滨海盐渍土的粉粒含量均大于配制客土，2 种土壤粉粒含量最高的土层深度均为 40~60 cm。滨海盐渍土和配制客土黏粒质量分数的变化范围分别为 24.45%~46.16%和 53.66%~65.96%，平

均值分别为 35.94%和 58.85%。相同土层滨海盐渍土的黏粒含量均小于配制客土，2 种土壤黏粒质量分数的最小值均出现在 0~10 cm 土层，分别为 24.45%和 53.66%；在 10~20 cm 土层 2 种土壤的黏粒质量分数最高，分别为 46.16%和 65.96%。

滨海盐渍土和配制客土 0~10 cm 土层黏粒含量低于砂粒含量，而在>10~20 cm 土层黏粒含量高于砂粒含量。这可能是由于在土壤表层发生了黏粒淋淀作用，导致 0~10 cm 土层的黏粒含量减少，>10~20 cm 土层的黏粒含量增大。

滨海盐渍土和配制客土容重的变化范围分别为 1.38~1.54 和 1.30~1.50 g/cm³。在 0~10 cm 土层，滨海盐渍土的容重显著高于配制客土，2 种土壤不同土层之间的容重值差异不显著，除配制客土 0~10 cm 土层之外，其他均未达到《园林栽植土质量标准》中园林建植土容重低于 1.30 g/cm³[22]的建议值。

表 2 滨海盐渍土与配制客土不同土层的物理性质
Table 2 Physical properties of costal saline soil and blending foreign soil in different soil layer

土壤类型 Soil types	土层深度 Depth/cm	土壤颗粒组成 Soil particle composition/%			土壤质地 Soil texture	容重 Bulk density/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度 Total porosity/%	土壤团聚体组成 Soil stable aggregate/%	
		砂粒 Sand	粉粒 Silt	黏粒 Clay				<0.25 mm	>0.25 mm
滨海盐渍土 Costal saline soil	0~10	52.12	23.43	24.45	砂质黏壤土	1.45 ab	41.19 bc	76.06	23.94
	>10~20	29.43	24.41	46.16	黏土	1.48 ab	41.31 bc	96.64	3.36
	>20~30	41.72	27.96	30.33	黏质壤土	1.54 a	39.29 bc	86.60	13.40
	>30~40	38.01	24.74	37.25	壤质黏土	1.50 ab	39.06 c	96.82	3.18
	>40~60	30.29	28.21	41.49	壤质黏土	1.38 bc	45.07 ab	90.58	9.42
平均值 Mean		38.31	25.75	35.94	/	1.47	43.44	89.34	10.66
配制客土 Blending foreign soil	0~10	26.56	19.78	53.66	黏土	1.30 c	49.56 a	72.42	27.58
	>10~20	18.72	15.32	65.96	黏土	1.50ab	41.19 bc	85.49	14.51
	>20~30	21.54	20.20	58.26	黏土	1.50 ab	41.48 bc	75.40	24.60
	>30~40	19.92	19.16	60.92	黏土	1.49 ab	42.85 bc	81.38	18.62
	>40~60	17.84	26.70	55.47	黏土	1.51 ab	42.00 bc	92.51	7.49
平均值 Mean		20.92	20.23	58.85	/	1.46	41.19	81.44	18.56

注：表中不同字母表示差异在 $P<0.05$ 时达到显著水平。下同。
Note: Mean values in columns followed by the same letters are not significantly different ($P<0.05$). The same as below.

滨海盐渍土和配制客土总孔隙度的变化范围分别为 39.06~45.07 和 41.19~49.56。除 0~10 cm 土层之外，2 种土壤相同土层之间孔隙度差异不显著。滨海盐渍土 40~60 cm 土层的孔隙度显著高于 30~40 cm 土层，其他土层之间的孔隙度差异不显著。配制客土 0~10 cm 土层的孔隙度显著高于其他 4 个土层，这是由于表层土壤砂粒含量较高所致。同时，2 种土壤 0~60 cm 土层总孔隙度的平均值分别为 43.44%和 41.19%，客土改良措施虽然将滨海盐渍土的总孔隙度有所提高，但仍未达到《园林栽植土质量标准》中园林栽植土要求的合理范围 50%~55% [22]。从团聚体组成来看，配制客土 0~60 cm 土层 >0.25 mm 团聚体的平均质量分数为 18.56 %，是滨海盐渍土的 1.74 倍，客土改良措施提高了土壤中大团聚体的含量。

2.1.2 化学性质

不同土层滨海盐渍土和配制客土的化学性质见表 3。2 种土壤有机质质量分数的平均值分别为 9.31 和 12.07 g/kg。随土层深度的增加，滨海盐渍土的有机质含量呈现先降低后升高的趋势，而配制客土的有机质含量却基本呈下降的趋势。除 40~60 cm 土层配制客土的有

机质含量低于滨海盐渍土外，其他土层配制客土有机质含量均高于滨海盐渍土，0~60 cm 土层平均有机质质量分数平均值增加了 29.65%。整体上，配制客土的有机质高于滨海盐渍土。这可能是由于配制客土中含有较高有机质含量的草炭，提升了配制客土的有机质含量，同时，配制客土取样于杨树林区域，上层土壤中存在较多的包括诸如植物残茬、根类物质等活性有机质所致。但各层土壤有机质都尚未达《园林栽植土质量标准》要求的有机质质量分数>20 g/kg 的土壤质量标准[22]。

对于土壤的 pH 值变化情况，由表 3 可见，滨海盐渍土不同土层之间 pH 值的差异不显著，而配制客土的 pH 值的变化是 0~40 cm 随着土层深度增加而降低，到底层的 40~60 cm 又有所反弹，其中 10~20 cm 土层的 pH 值最高，30~40 cm 土层的 pH 值最低。配制客土 0~10 cm 和>10~20 cm 土层的 pH 值分别比同土层滨海盐渍土高 4.03%和 6.25%，但 30~40 cm 土层的 pH 值却比滨海盐渍土低 4.39%。不同土层滨海盐渍土和配置客土的 pH 值变化范围分别为 7.79~7.97 和 7.62~8.29。2 种土壤 0~60 cm 土层 pH 值的平均值分别为 7.89 和 8.00，

差异不大, 配制客土改良总体上没有使土壤 pH 值明显降低, 基本上都略高于《园林栽植土质量标准》中园林种植土 pH 值为 6.0~7.8 的建议标准^[22]。

表 3 滨海盐渍土与配制客土的化学性质

Table 3 Chemical properties of costal saline soil and blending foreign soil

土壤类型 Soil types	土层深度 Depth/cm	有机质 Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	pH 值 pH value	阳离子交换量 Cation exchange capacity/ (cmol·kg ⁻¹)	电导率 Electrical conductivity/ (mS·cm ⁻¹)
滨海 盐渍土 Costal saline soil	0~10	10.40 cd	7.95 b	10.30	7.61 a
	>10~20	11.09 c	7.80 b	12.75	5.30 c
	>20~30	8.15 ef	7.95 b	9.41	4.74 d
	>30~40	6.74 g	7.97 b	10.30	5.73 b
	>40~60	10.15 cd	7.79 b	10.52	7.60 a
平均值 Mean		9.31	7.89	10.65	6.20
配制客土 Blending foreign soil	0~10	16.13 a	8.27 a	11.54	0.14 f
	>10~20	13.28 b	8.29 a	10.65	0.18e f
	>20~30	14.48 b	7.95 b	11.98	0.17e f
	>30~40	9.07 de	7.62 c	11.09	0.16 f
	>40~60	7.41 fg	7.87 b	10.65	0.23 e
平均值 Mean		12.07	8.00	11.54	0.18

滨海盐渍土和配制客土的电导率变化范围分别为 4.74~7.61 和 0.14~0.23 mS/cm, 配制客土的电导率远低于滨海盐渍土。天津滨海盐渍土经客土改良后, 0~60 cm 土层平均电导率由 6.2 降低至 0.18 mS/cm, 降低幅度为 97%, 这表明客土改良手段大幅度降低了滨海盐渍土的电导率, 盐渍化程度得到了明显缓解, 在土壤盐度上满足《园林栽植土质量标准》中园林种植土 EC 值小于 1.2 mS/cm 的建议标准^[22]。配制客土 10~20 cm 的阳离子

交换量为 10.65 cmol/kg, 比相同土层深度滨海盐渍土的阳离子交换量低 12.47%, 而其他土层的阳离子交换量均比相同土层滨海盐渍土的阳离子交换量大。配制客土阳离子交换量平均值比滨海盐渍土高 8.36%, 这可能是土壤肥力改善机制之一。

2.2 土壤水分特征曲线模型拟合比较

应用 RETC 软件中的 VG 模型、BC 模型、DP 模型、LND 模型对各实测值土壤水分特征曲线进行拟合, 确定土壤水分特征曲线参数。VG 模型、BC 模型、DP 模型和 LND 模型几何平均数的变化范围分别为 1.002~1.005 7、1.002~1.005 8、1.001~1.004 5 和 1.001~1.004 2, 均大于 1, 说明 4 种拟合模型所得拟合值的总体上高于实测值。

4 种拟合模型决定系数平均值的大小顺序为 LND($R^2=0.949\ 6$)>VG($R^2=0.934\ 9$)>DP($R^2=0.934\ 7$)>BC($R^2=0.884\ 5$)。LND 模型除配制客土的 20~30 cm 土层外, 对滨海盐渍土和配制客土 2 种土壤其他土层土壤水分特征曲线拟合决定系数最高, 分别在 0.967 6~0.986 3 和 0.866 4~0.991 2 之间 (不含 20~30 cm 土层), 且均方根误差最小 ($0.002\ 6\pm 0.003\ 7$)。DP 模型对配制客土 20~30 cm 土层的土壤水分特征曲线的拟合决定系数为 0.796 6, 高于其他拟合模型, 在这一土层拟合值与实测值的均方根误差也是最小的。而 LND 模型在这一土层拟合方程决定系数以及拟合值与实测值的均方根误差与 DP 模型非常接近, 从总体上看 LND 模型对于滨海盐渍土和配制客土的土壤水分特征曲线的拟合效果最好。图 1 是利用 LND 模型对滨海盐渍土和配制客土不同土层水分特征曲线的拟合效果图。

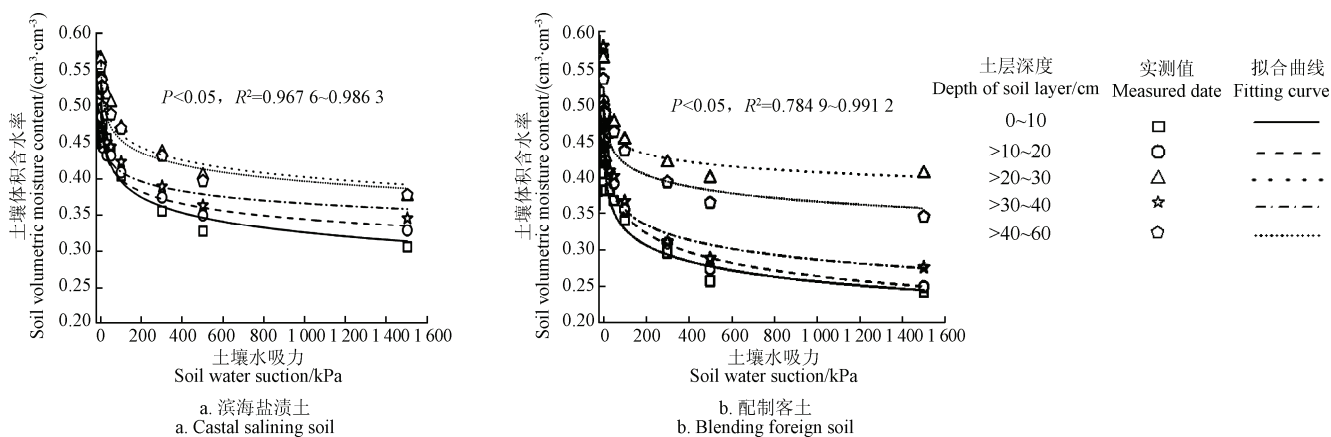


图 1 滨海盐渍土和配制客土最优拟合土壤水分特征曲线

Fig.1 Costal saline soil and blending foreign soil with optimal soil moisture characteristic curve

2.3 2 种土壤的孔隙特征与持水特性

2.3.1 土壤孔隙特征

利用拟合效果最优的土壤水分特征 LND 模型推算出土壤中不同孔径孔隙的体积分数, 根据 Greenland 的方法将 0~500 μm 范围内的孔隙分为: 结合孔隙 (0~0.005 μm)、残余孔隙 (0.005~0.5 μm)、存储孔隙 (0.5~50 μm) 和结构孔隙 (50~500 μm)^[23]。图 2 是基于该分类方法绘制的 2 种土壤不同土层孔隙的分布情况。

由图 2 分析得出, 滨海盐渍土 0~60 cm 土层存储孔隙的平均体积分数为 11.93 %。30~40 cm 土层的存储孔

隙度最低, 比 0~10 cm 土层的减少了 42.76%(图 2a)。配制客土存储孔隙的变化情况比较复杂, 其变化范围是 8.76%~19.25%, 0~60 cm 土层存储孔隙的平均孔隙度为 13.86%(图 2b)。土壤存储孔隙中的水密切关系到根系生长以及土壤微生物活性, 客土改良措施提高了土壤存储孔隙的含量, 这会对土壤中微生物活性以及植物根系生长有一定的改善与促进作用。

土壤结构孔隙对水分在土体中的迁移以及根系伸长有很大的影响, 配制客土 20~30 cm 土层的结合孔隙的孔隙度骤然增大, 残余孔隙和存储孔隙的下降幅度也很

明显, 这可能是由于配制客土掺混不均匀而引起的。配制客土除 20~30 cm 土层外, 其他土层结合孔隙的含量均低于滨海盐渍土对应土层深度结合孔隙的含量。2 种土壤的结合孔隙的孔隙度都大于其他类型的孔隙, 说明无效水孔隙比较多。

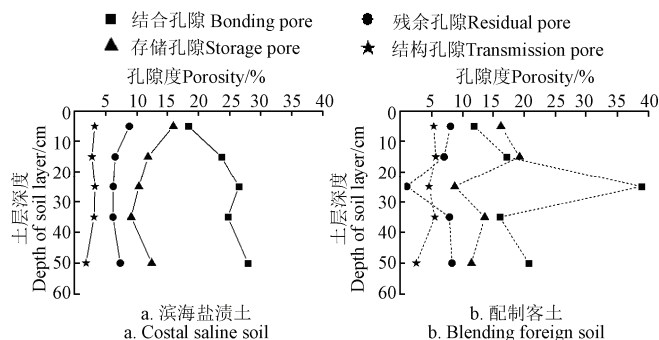


图 2 滨海盐渍土和配制客土土壤的当量孔径分布

Fig.2 Pore size distribution of costal saline soil and blending foreign soil

2.3.2 土壤持水特性

参照 Glab 等^[24-25]研究者关于土壤水分的研究方法, 将土壤水分参数分为: 1) 田间持水量-土壤水吸力在 10 kPa 条件下的土壤含水量; 2) 凋萎系数-土壤水吸力在 1500 kPa 条件下的土壤含水量; 3) 速效水-土壤田间持水量与土壤水吸力在 490 kPa 条件下的土壤含水量的差值; 4) 有效水-田间持水量与凋萎系数的差值; 5) 相对田间持水量-田间持水量与饱和含水量的比值。

图 3 是 2 种土壤不同土层田间持水量、凋萎系数、速效水含量的变化情况。滨海盐渍土 (图 3a) 和配制客土 (图 3b) 不同土层的田间持水量变化分别在 0.44~0.53 和 0.38~0.47 cm^3/cm^3 之间, 平均值分别为 0.48 和 0.43 cm^3/cm^3 , 滨海盐渍土的田间持水量总体上高于配制客土。但滨海盐渍土的凋萎系数也处在相对较高的水平, 变化范围在 0.30~0.38 cm^3/cm^3 之间, 平均值为 0.35 cm^3/cm^3 , 比配制客土凋萎系数平均值 0.30 cm^3/cm^3 大 17% 左右。由于配制客土凋萎系数在 20~30 cm 土层急剧增大, 导致其变化范围较大 (0.24~0.41 cm^3/cm^3)。滨海盐渍土和配制客土速效水的变化范围均为 0.07~0.14 cm^3/cm^3 , 不同土层速效水的平均值都是 0.10 cm^3/cm^3 。可见, 本研究中的客土改良措施对土壤速效水的含量影响不大。

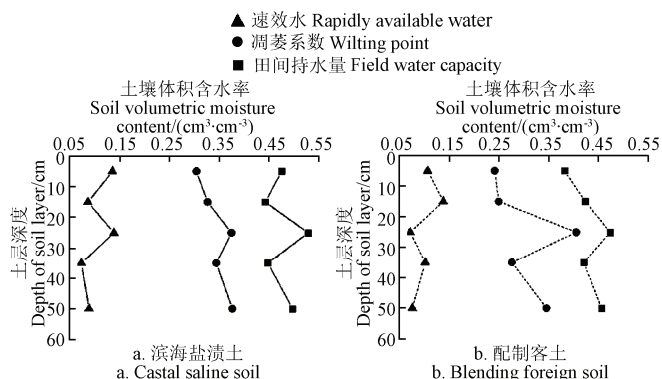


图 3 滨海盐渍土和配制客土中不同土壤水分参数的剖面变化
Fig.3 Soil moisture parameters variety in profiles of costal saline soil and blending foreign soil

图 4 是不同土层滨海盐渍土和配制客土有效水和相对田间持水量的变化情况。2 种土壤的有效水体积分数随土层深度增加呈相反的变化趋势, 变化范围分别为 0.10~0.17 和 0.07~0.17 cm^3/cm^3 , 平均值均约为 0.13 cm^3/cm^3 。配制客土在 10~20 cm 以及 30~40 cm 土层有效水与速效水含量均高于滨海盐渍土相同土层的相应指标 (图 3、图 4), 在其他土层相应指标的大小均低于滨海盐渍土。不同土层配制客土有效水含量的变化幅度较滨海盐渍土大, 这可能是配制客土原料掺混不均匀所致。总体上看, 这种客土改良措施没能使土壤有效水的含量显著提升。不同土层滨海盐渍土和配制客土相对田间持水量的变化范围分别为 85.81%~93.66% 和 67.12%~85.19%, 整体上配制客土相对田间持水量略低于滨海盐渍土。

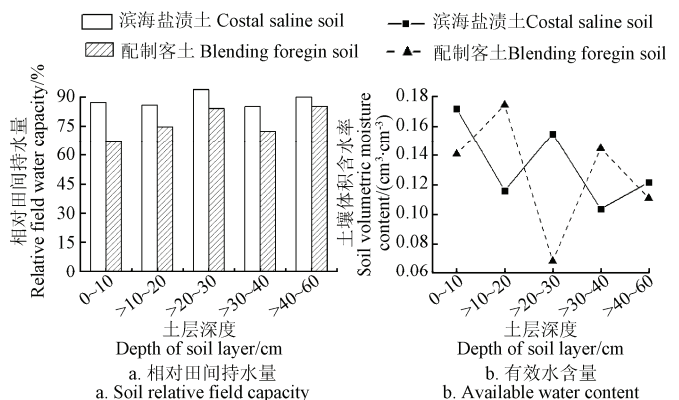


图 4 2 种类型土壤中不同土层土壤相对田间持水量及有效水含量

Fig.4 Soil relative field water capacity and available water content of 2 kinds of soils

3 讨论

土壤黏粒是影响土壤基质特征最具有决定意义的粒级, 与砂粒、粉粒不同的是黏粒具有巨大的比表面积, 且具有胶体的性质, 在土壤的物理化学过程中极为活跃, 黏粒表面可吸附大量的水分和离子等, 明显影响土壤的结构、孔隙度和盐分组成及含量等, 这在土壤干燥和湿润交替过程中尤为明显。本研究中的配制客土土壤土样均为黏土, 这些土壤的黏粒质量分数均在 50% 以上, 有的土样甚至高达 66% (表 2)。而滨海盐渍土的黏粒质量分数也基本在 40% 左右 (大多属壤质黏土类), 不同土层的配制客土黏粒质量分数的平均值比滨海盐渍土高 63.75%, 经 5 a 利用后的配制客土的质地比滨海盐渍土更为黏重, 属于重黏土。一般当土壤中黏粒质量分数在 15%~30%, 有机碳质量分数小于 15 g/kg 时土壤就极易板结^[26]。并且滨海盐渍土和配制客土 0~60 cm 土层总孔隙度的平均值分别为 43.44% 和 41.19%, 都低于园林栽植土要求的适宜范围 50~55%。配制客土和滨海盐渍土的容重总体上没有太大差异, 除配制客土 0~10 cm 土层土壤容重值为 1.30 g/cm^3 外, 2 种土壤其他土层的容重值都大于 1.4 g/cm^3 (表 2), 均超过《园林栽植土质量标准》中容重 < 1.30 g/cm^3 的建议值^[22]。大量研究表明, 当容重在 1.4~1.6 g/cm^3 之间时, 会对根系在土壤中的伸长产生

阻碍从而影响植物正常生长^[27]。由此可见,土壤质地黏重是影响该地区土壤资源开发利用的主要因素之一,也是土壤改良中的难点。

土壤电导率能够简单、快捷地反映土壤盐度和盐渍化程度^[28-29]。本调查研究结果显示,滨海盐渍土和配制客土 0~60 cm 土层电导率变化范围分别在 4.74~7.61 mS/cm 和 0.14~0.23 mS/cm 之间(表 3)。很明显,配制客土的平均电导率 0.18 mS/cm 比滨海盐渍土的 6.2 mS/cm 降低了 97%,满足《园林栽植土质量标准》中土壤 EC 值小于 1.2 mS/cm 的建议值^[22]。另外,总体上配制客土阳离子交换量平均值 11.54 cmol/kg,比滨海盐渍土高 8.36% (表 3) 的原因,可能是由于客土中掺拌的草炭的阳离子交换量较高所致(表 1)。不同土层配制客土有机质的平均质量分数比滨海盐渍土高 29.65% (表 3),这可能也是由于配制客土在掺混过程中加入的占总体积 1/5 的草炭的有机质含量较高所致(表 1)。这些指标的提升可认为是土壤肥力改善的机制之一。但本研究中 2 种土壤样品有机质质量分数最高为 16.13 g/kg,仍低于《园林栽植土质量标准》中花坛土、花境土、树坛土以及草坪土的有机质质量分数 ≥ 20 g/kg 的标准^[22]。由此可见,该地区土壤需要进一步改善有机质含量。

2 种土壤 0~60 cm 土层 pH 的平均值分别为 7.89 和 8.00,差异不大(表 3),但都略高于《园林栽植土质量标准》的 pH 为 6.0~7.8 的建议值^[22]。配制客土总体上没有使土壤 pH 值降低,反而 0~20 cm 土层 8.28 左右的 pH 值比其下层和同层的滨海盐渍土还要高,这与以前的研究结果呈相同趋势^[11]。这可能与配制客土的黏粒含量较高有关,因土壤中黏粒胶体的交换性和其他固体颗粒的阳离子交换性有关,也与外部土壤溶液中相应离子的交换性相关。而可交换性阳离子的表面性质取决于两个相反的过程:1) 可交换性阳离子吸附于弱交换性的黏粒矿物表面;2) 在可交换性阳离子离子浓度较高时,会从黏粒矿物表面解吸下来,进入浓度低的主体溶液中。正是这 2 个相反过程的作用,导致阳离子从黏粒矿物表面解吸,其浓度以指数形式下降,并进入主体溶液中。2 价阳离子,如钙、镁紧密吸附于黏粒矿物表面,其吸附力大约是钠离子或其他 1 价离子的 2 倍^[26],使得土壤中 1 价离子的盐分在淋溶、暗管排盐后盐度降低,但强力吸附在土壤黏粒表面的钙、镁离子与酸根结合致使土壤 pH 值有所升高。这有待在下一步研究中对土壤中各离子的变化情况进行深入、详细的测定后给予综合分析判断。

土壤有效水是土壤田间持水量与凋萎系数的差值,是土壤中可以植物吸收利用的水分。当土壤有效水的体积分数小于 $0.15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 时,植物根系的生长以及其他各项生理功能会受到限制^[30]。本研究中,配制客土的有效水含量与滨海盐渍土相比并没有显著提高,平均值反而比滨海盐渍土下降了 4% 左右,如果去掉位于 20~30 cm 层次的特殊低值点(可能是由于配制客土掺混不均匀所致),其平均值比滨海盐渍土高出 6.7%(图 4b)。但 2 种土壤的有效水平均值都约为 $0.13 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,小于

$0.15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,说明调查的客土对土壤的水分条件改善效果并不理想。

相对田间持水量是反映土壤水、气平衡状况的重要指标,通常最佳的土壤的相对田间持水量范围是 60%~70%。当相对田间持水量的值超过 70%,土壤中微生物的活性会由于土壤通气度降低而受到影响,进而影响植物生长^[30]。配制客土与滨海盐渍土相比,相对田间持水量的值总体上有所降低,但是除 0~10 cm 土层的相对田间持水量从 87.23% 下降的 67.12% 之外,配制客土其他土层相对田间持水量值仍在 70% 以上(图 4a)。因此,本文中客土改良措施对盐渍土的水、气平衡状况的改善效果还有待进一步分析研究。

本研究采用 VG 模型、BC 模型、DP 模型及 LND 模型对滨海盐渍土和配制客土不同土层的水分特征曲线进行拟合,通过比较拟合模型的确定系数、拟合值与实测值的均方根误差以及几何平均数来评价不同拟合模型的适用性,结果显示 LND 模型对 2 种土壤不同土层水分特征曲线的几何效果最佳(图 1)。一些研究人员曾通过拟合模型的比较,将 VG 模型作为土壤水分特征曲线的最优拟合模型^[31-32]。栗现文等人利用淡水以及矿化度分别为 30、100 和 250 g/L 的水样对土体进行饱和处理后,利用不同拟合模型对脱湿过程的水分特征曲线进行拟合并比较适用性,得出上述处理的最优拟合模型分别为 VG 模型、DP 模型、LND 模型以及 DP 模型^[33]。目前尚无圆满的数学模型可以全面描述土壤水分特征曲线,如何从机理上解释拟合模型的优劣,需要更加深入的研究。

综上所述,本研究中的客土改良措施使土壤 0~60 cm 土层的有机质质量分数、阳离子交换量平均值分别提高了 29.65% 和 8.36%,但土壤容重、孔隙度、pH 值、持水特性等并没有明显的改善效果。可见,天津滨海盐渍土的改良不仅要重视盐渍化的问题,同时不能轻视土壤的其他理化性质与持水特性^[34]。土壤中各理化指标之间存在相互影响的作用机制,而各自的影响机理又存在差异,本文只是将 2 种土壤作为研究对象进行的初步探讨研究,且采样点和测定指标有限,诸多问题和机理,需进一步扩充样本数量和测定分析的指标,并将土壤物理、土壤化学中的多指标联系起来进行深入的分析研究。

4 结 论

本文选取滨海新区汉沽区的滨海盐渍土以及采用客土改良后历经 5 a 的土壤(配制客土)作为研究对象,测试分析 2 种土壤 0~60 cm 不同土层土样的基本理化性质、土壤水分特征曲线,探讨改良后客土的理化性质和土壤水分参数的差异,得到以下结论。

改良后的客土盐渍化程度明显降低,有机质含量增大,但土壤 pH 值没有得以改善。土壤电导率由 6.2 降低至 0.18 mS/cm,降低幅度为 97%;有机质质量分数和阳离子交换量平均提高了 29.65% 和 8.36%,但有机质含量仍低于《园林栽植土质量标准》中的建议值;土壤的容重仅 0~10 cm 土层值降低到 $1.30 \text{ g}/\text{cm}^3$,但与原土壤容

重差异不大, 且都在 1.4 g/cm^3 以上, 尚未达到《园林栽植土质量标准》的相关要求; 相对田间持水量值除 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层有所降低之外, 其他土层并无明显变化, 基本仍都在 70% 以上。

综合分析后认为, 滨海盐渍土经配制的客土改良后, 盐渍化程度减弱, 有机质增大, 但持水特性和物理性质却没有明显的改善。土壤质地黏重是影响该地区土地资源开发利用的主要因素之一。本研究对象是使用 5 a 的客土, 所呈现的物理化学特征机理及代表性有待深入探讨。

[参 考 文 献]

- [1] Sumner M E, Naidu R. Sodic soils: Distribution, Properties, Management and Environmental Consequences[M]. Oxford University Press, 1998.
- [2] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1—6.
- [3] 纪永福, 蔺海明, 杨自辉, 等. 夏季覆盖盐碱地表面土壤盐分和水分的影 响[J]. 干旱区研究, 2007, 24(3): 375—381. Ji Yongfu, Lin Haiming, Yang Zihui, et al. Study on the effects of covering land on salt and moisture contents in saline or alkaline soil in summer[J]. Arid Zone Research, 2007, 24(3): 375—381. (in Chinese with English abstract)
- [4] Glab T. Effect of soil compaction and N fertilization on soil pore characteristics and physical quality of sandy loam soil under red clover/grass sward[J]. Soil & Tillage Research, 2014, 144: 8—19.
- [5] 邢旭光, 赵文刚, 马孝义, 等. 土壤水分特征曲线测定过程中土壤收缩特性研究[J]. 水利学报, 2015, 46(10): 1181—1188. Xing Xuguang, Zhao Wengang, Ma Xiaoyi, et al. Study on soil shrinkage characteristics during soil water characteristic curve measurement[J]. Journal of hydraulic engineering, 2015, 46(10): 1181—1188. (in Chinese with English abstract)
- [6] 薛铸, 万书勤, 康跃虎, 等. 龟裂碱地沙质客土填深和秸秆覆盖对作物生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(1): 38—41. Xue Zhu, Wan Shuqing, Kang Yuehu, et al. Effect of sand-filled depth and straw mulching on crops growth in takyric solonetz[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(1): 38—41. (in Chinese with English abstract)
- [7] 高志强. 福建滨海盐土客土改良效果研究[J]. 土壤学报, 1995, 32(1): 101—107. Gao Zhiqiang. Effective of foreign soil in improving and utilizing coastal saline soil of Fujian province[J]. Acta Pedologica Sinica, 1995, 32(1): 101—107. (in Chinese with English abstract)
- [8] 杨永利. 滨海重盐渍荒漠地区生态重建技术模式及效果的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004. Yang Yongli. Studies on the Technology Models and Effect of Ecological Reconstruction in the Coast Area with Heavy Soil Salinity—Take Tianjin Coast Area as Example[D]. Beijing: China Agricultural University, 2004. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张凯, 杨永利, 张清, 等. 滨海盐碱土改良新工艺条件下杨树林土壤特性的研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(7): 1413—1422. Zhang Kai, Yang Yongli, Zhang Qing, et al. Soil physico-chemical properties of poplar plantation stand under the new technique of saline-alkali soil reclamation in coastal area[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2013, 32(7): 1413—1422. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张万均, 唐廷贵, 郭育文, 等. 盐渍土绿化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [11] 朱金余, 郭世文, 杨永利, 等. 天津滨海开发区绿地土壤盐分时空变异特征[J]. 农业工程学报, 2016, 32(增刊 2): 161—168. Zhu Jindi, Guo Shiwen, Yang Yongli, et al. Temporal-spatial variability of soil salinity in greenspace of Tianjin Binhai economic-technological development area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2016, 32(Supp.2): 161—168. (in Chinese with English abstract)
- [12] Ullrich A, Volk M. Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(8): 1207—1217.
- [13] Arya L M, Heitman J L. A non-empirical method for computing pore radii and soil water characteristics from particle-size distribution[J]. Soil Science Society of America Journal, 2015, 79(6): 1537—1544.
- [14] Dexter A R, Richard G. Tillage of soils in relation to their bi-modal pore size distributions[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 103(1): 113—118.
- [15] 王红兰, 唐翔宇, 鲜青松, 等. 紫色土水分特征曲线室内测定方法的对比[J]. 水科学进展, 2016, 27(2): 240—248. Wang Honglan, Tang Xiangyu, Xian Qingsong, et al. Comparison of laboratory methods for determining water retention curves in purple soil[J]. Advance in Water Science, 2016, 27(2): 240—248. (in Chinese with English abstract)
- [16] 吕贻忠, 李保国. 土壤学实验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [17] Carter M, Gregorich E, Adl S M, et al. Soil sampling and methods of analysis[M]. Florida: CRC Press, 2007.
- [18] Van Genuchten M Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44(5): 892—898.
- [19] Durner W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure[J]. Water Resources Research, 1994, 30(30): 211—223.
- [20] Kosugi K I. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties[J]. Water Resources Research, 1996, 32(9): 2697—2704.
- [21] Brooks R H, Corey A T. Hydraulic Properties of Porous Media[R]. Hydrology Paper 3. Fort Collins: Colorado State University, 1964.
- [22] 上海市建设委员会. 园林栽植土质量标准, 沪建(98)第 0534 号[S]. 1998: 2—4.
- [23] Greenland D J. Soil management and soil degradation[J]. European Journal of Soil Science, 1981, 32(32): 301—322.
- [24] Glab T, Szewczyk W. Influence of simulated traffic and roots of turfgrass species on soil pore characteristics[J]. Geoderma, 2014, 230: 221—228.
- [25] Reynolds W D, Drury C F, Yang X M, et al. Impacts of 48 years of consistent cropping, fertilization and land management on the physical quality of a clay loam soil[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2014, 94(94): 403—419.
- [26] Wallender W W, Tanji K K. Agricultural Salinity Assessment and Management[M]. Washington: American Society of Civil Engineers, 2011: 141—145.
- [27] Reynolds W D, Drury C F, Yang X M, et al. Optimal soil physical quality in ferred through structural regression and parameter interactions[J]. Geoderma, 2008, 146(3/4): 466—474.
- [28] Shrestha D P, Margate D E, Meer F V D, et al. Analysis and classification of hyperspectral data for mapping land degradation: An application in southern Spain[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2005, 7(2): 85—96.
- [29] 张瑜斌, 邓爱英, 庄铁诚, 等. 潮间带土壤盐度与电导率的关系[J]. 生态环境学报, 2003, 12(2): 164—165.

- Zhang Yubin, Deng Aiyang, Zhuang Tiecheng, et al. Relation between soil salinity in intertidal zone and electric conductivity[J]. *Ecology and Environment*, 2003, 12(2): 164—165. (in Chinese with English abstract)
- [30] White R E. Principles and practice of soil science[J]. Wiley-Blackwell, 2005(3): 301.
- [31] Skopp J, Jawson M D, Doran J W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1990, 54(6): 1619—1625.
- [32] 付强, 蒋睿奇, 王子龙, 等. 基于改进萤火虫算法的土壤水分特征曲线参数优化[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(11): 117—122.
- Fu Qiang, Jiang Ruiqi, Wang Zilong, et al. Optimization of soil water characteristic curves parameters by modified firefly algorithm[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(11): 117—122. (in Chinese with English abstract)
- [33] 栗现文, 周金龙, 靳孟贵, 等. 高矿化度土壤水分特征曲线及拟合模型适宜性[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(13): 135—141.
- Li Xianwen, Zhou Jinlong, Jin Menggui, et al. Soil-water characteristic curves of high-TDS and suitability of fitting models[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(13): 135—141. (in Chinese with English abstract)
- [34] 邢旭光, 马孝义, 康端刚. 盐阳离子类型及浓度对土壤持水及干缩开裂的作用效果[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(9): 115—122.
- Xing Xuguang, Ma Xiaoyi, Kang Duangang. Impacts of type and concentration of salt cations on soil water retention and desiccation cracking[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE)*, 2016, 32(9): 115—122. (in Chinese with English abstract)

Physicochemical properties and water holding characteristics of Tianjin coastal saline soil improved by foreign soil

Li Pinfang^{1,2}, Yang Yongli³, Lan Tian^{1,2}, Guo Shiwen^{1*}, Zhang Kai³, Han Jiwei¹, Zhang Qing³

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory of Arable Land Conservation (North China), Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China;

3. Tianjin TEDA Green Group Co. Ltd., Tianjin 300457, China)

Abstract: The method of soil replacement removes saline alkali soil and backfills with the soil, which has excellent physical and chemical properties and is suitable for plant growth, and this method can achieve the purpose of soil improvement in a short time compared with other technologies. Studying the physical and chemical properties of the soil, which has been amended with the method of soil replacement, has a very important meaning to the evaluation of soil improvement effect, the establishment of irrigation system in the improved area, and the improvement of soil replacement technologies. This study focuses on the physicochemical properties and water holding characteristics in the 5 sampled layers of the coastal saline soil and the soil after foreign soil amelioration in Hangu District, Binhai New Area, Tianjin. Towards these 2 kinds of soil, the basic physicochemical properties of different layers within the depth of 0–60 cm are analyzed, as well as the soil water characteristic curve. In addition, The van Genuchten model (VG), the dual-porosity model (DP), the Brooks and Corey model (BC) and the lognormal distribution model (LND) were used to fit the soil water characteristic curve, respectively. The applicability of these models and the variety of soil moisture parameters were compared and evaluated. Upon the achievement of the optimal fitting model, more details were given, such as field water capacity, available water content, rapidly available water content, and permanent wilting point. The results showed that the conductivity of the soil after foreign soil amelioration was much lower than that of the coastal saline soil, which was decreased by up to 97%. The average value of the conductivity in different soil layers was only 2.82% of that of the coastal saline soil. The density values of the 2 kinds of soil in all layers were estimated to exceed 1.4 g/cm³, only except 0–10 cm layer of the soil after foreign soil amelioration which was 1.30 g/cm³. The available water content in different layers of the soil after foreign soil amelioration was about 4% lower than that of the coastal saline soil. Compared with the coastal saline soil, the relative field water capacity value of the soil after foreign soil amelioration generally decreases, especially down to 67% in term of relative field water capacity in 0–10 cm layer. However, it still exceeded 70% at other layers. The rapidly available water contents of coastal saline soil and soil after foreign soil amelioration both vary from 0.07 to 0.14 cm³/cm³, and the average rapidly available water contents in different soil layers were both 0.10 cm³/cm³. The available water content in different layers of the soil after foreign soil amelioration was about 4% lower than that of the coastal saline soil. The soil amendment measure in this study does not significantly improve the rapidly available water content and the available water content of coastal saline soil. The mean value of determination coefficient for fitting model follows the sequence as LND (0.949 6) > VG (0.934 9) > DP (0.934 7) > BC (0.884 5). Generally, the lognormal distribution model was the best one for fitting the water characteristic curve of both the coastal saline soil and the soil after foreign soil amelioration. The salinization degree of the coastal saline alkali soil after foreign soil amelioration decreased significantly compared to that before soil replacement, with the relative field water capacity of the coastal saline soil slightly varying. Considering the relative field water capacity, the soil after foreign soil amelioration is still not suitable for plant growth, except the 0–10 cm layer soil. And there was no obvious improvement in water holding characteristics and physical properties, which had not reached the recommended value in the quality standard of garden planting soil. The heavy clay soil texture is an important factor to restrict the soil quality, which affects soil resources development and utilization in this area.

Keywords: soils; pH; organic matter; coastal saline soil; foreign soil; physicochemical properties; soil water characteristic curve; water holding characteristics