

群落配置对滨海围垦区土壤理化性质的影响^{*}

王璐^{1,2} 仲启铖^{1,2} 陆颖^{1,2} 刘倩^{1,2} 曹流芳^{1,2}
 巩晋楠^{1,2} 王开运^{1,2†}

(1 华东师范大学资源与环境科学学院环境科学系, 上海 200241)

(2 上海市城市生态与恢复重点实验室, 上海 200241)

摘要 以崇明东滩湿地围垦区为例, 对栽植 10 年不同植物群落配置模式下土壤主要的理化性质(机械组成、容重、孔隙度、田间持水量、pH 和含盐量)进行了测定, 以探讨不同群落配置对盐碱土的改良效果。结果表明, 相对于裸地, 灌草复合种植模式下土壤的物理性黏粒增加 57.8%, 容重减小 13.7%, 总孔隙度增加 18.2%, 田间持水量增加 17.8%; 草本群落仅在土壤表层(0~10cm)容重显著降低了 27.3%, 总孔隙度和田间持水量显著增加了 36.8% 和 25.2%, 同时 0~40cm 层次的土壤机械组成均有改善, 土壤砂粒减少 65.3%, 物理性黏粒增加 94.6%; 灌木群落下 20~40cm 土层的土壤容重减小 16.3%, 总孔隙度增加 8.8%, 田间持水量增加 13.0%, 而 0~40cm 土层的土壤机械组成改良效果不明显。各群落配置对土壤 pH 和含盐量的改良效果均比较显著, pH 降至 8.5 以下, 达到作物生长发育的要求; 含盐量 NaCl 降至 2.5 g kg⁻¹ 以下, 符合轻度盐碱土的标准。主要理化性质相关分析结果表明土壤容重与总孔隙度、毛管孔隙度、田间持水量呈极显著负相关; 土壤 pH 与含盐量呈显著正相关。研究认为灌草复合模式更有利于滨海围垦区盐碱地土壤理化性质的改良。

关键词 植物群落配置模式; 盐碱地; 土壤理化性质

中图分类号 S154.1 **文献标识码** A

据联合国教科文组织和粮农组织统计, 全球盐碱土面积已达 $9.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 且以每年 $1.0 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 速度增长。我国盐碱土面积为 $3.7 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 几乎遍布全国, 其中, 滨海盐土约为 $1.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[1]。滨海盐土是一种近代浅海沉积物, 由河流搬运、海水顶托及其浸渍等因素共同作用形成^[2]。主要分布在长江以北的山东、河北、辽宁等省, 江苏北部的海滨冲积平原及长江以南的浙江、福建、广东等省沿海一带的部分区域。

由于人口增加、耕地减少, 充分挖掘和利用面积巨大的滨海盐土资源, 有利于缓解耕地不足的现状。作为中国面积最大的河口冲积岛、崇明岛拥有悠久的围垦历史, 伴随着围垦, 其可利用土地资源的面积也在不断扩大。新围垦的土地地下水位高, 植被覆盖低, 地表蒸发作用剧烈, 土壤含盐量高, 不适合立即进行耕作^[3-6]。在盐碱地改良过程中, 工

程措施已取得一定成效^[7]。为了实现对这些新生土地资源的可持续利用, 并发展新型的滨海盐土改良模式, 人们考虑采用生物措施改良滨海盐碱土。增强土壤生物活动有利于改善土壤有机质, 增加土壤有效养分, 改良土壤结构。此外, 种植植物可增强植被蒸腾, 降低地下水位, 延缓或防止积盐返盐^[8]。近几十年来, 有关生物学措施应用于盐碱土改良的案例已被广泛报道, 根据王苗等^[9]的研究, 随着植物种植年限的增加, 土壤容重逐年减小。土壤机械组成逐渐由黏土向细粉、中粉和粗粉转化, 土壤含水量明显提高, 反映土壤盐碱化程度的重要指标, 比如全盐含量、土壤 pH 在种植耐盐植物后均有不同程度的降低。高彦花等^[10]的研究表明, 种植耐盐碱植物可以有效地促进土壤脱盐, 改善土壤结构, 提高土壤肥力。由于不同地区土壤水热状况、盐渍程度和经济条件的不同, 生物改良措施也存在

* 上海市科委崇明科技专项项目(11dz1210903)资助

† 通讯作者, E-mail: kywang@re.ecnu.edu.cn

作者简介: 王璐(1988—), 女, 北京人, 硕士研究生, 主要从事湿地生态学研究。E-mail: 52801017@qq.com

收稿日期: 2013-04-22; 收到修改稿日期: 2013-11-15

差异。为了取得最佳的盐碱地改良效果,对于耐盐碱植物的选择、配置以及采用何种造林方式,还需在今后的试验中不断探索。

自 2003 年起,崇明岛围垦区域持续开展了配置植物改良盐碱土的试验,并逐渐形成了多种植物群落配置模式。本研究旨在了解人工种植植被后滨海盐碱土理化性质的变化规律,同时比较不同植被群落配置模式对滨海盐碱土改良效果的差异,从而探究适用于该区域滨海盐碱土改良的最优群落配置模式。本研究可以为采用配置植物群落手段,对崇明东滩围垦区及我国其他滨海地区,盐碱土的改良和绿化植被带的建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

崇明东滩 (E121°50′ ~ 122°5′, N31°25′ ~ 31°38′) 位于长江入海口,位于中国第三大岛崇明岛的最东端,区域面积为 241.5 km²。该区属亚热带海

洋气候,是东亚季风盛行地区,气候温和湿润,四季分明,年平均温度 15.3℃,年平均降水量 1 117mm,年均日照时数 2 138h,太阳总辐射量为 4 300 ~ 4 600 MJ m⁻²,无霜期 229 d。它由长江携带大量的泥沙沉积而成,是长江口地区规模最大、发育最完善的河口型潮汐滩涂湿地,其南北狭、东西宽,地势平坦,高程在 4.2 m 以下。由于处于海洋、河流、陆地、岛屿的交汇地带,生物多样性极为复杂与独特。土壤属盐土土类,成土年代晚,垦殖利用时间短,表层土中渗透性盐分较高,有机质含量低。

1.2 样品采集与分析

在崇明东滩湿地公园内选取水热条件相似,微地形相近(坡位、坡向、海拔等),且群落内部结构较为一致的 6 个具有不同植物群落配置模式的地块为样地,并以未种植植物的裸地作为对照。选取的配置模式包括三个灌草群落(夹竹桃 + 野豌豆群落、慈孝竹 + 草头群落、海滨木槿 + 野豌豆群落)、1 个草本群落(三叶草群落)和 2 个灌木群落(伞房决明群落、紫穗槐群落)。各样地具体情况见表 1。

表 1 样地植物群落配置分类名称对照情况

Table 1 Names and classification of plant community configuration

样地代码 Sample code	中文名称 Chinese name	拉丁名称 Latin name	群落分类 Community classification
SG1	夹竹桃 + 野豌豆	<i>Nerium indicum</i> Mill + <i>Viciasepium</i> Linn	灌草 Shrub-grass
SG2	慈孝竹 + 草头	<i>Bambusa multiplex</i> (Lour.) Rausch. + <i>Medicago sativa</i> Linn	灌草 Shrub-grass
SG3	海滨木槿 + 野豌豆	<i>Hibiscus hamabosieb et zucc</i> + <i>Viciasepium</i> Linn	灌草 Shrub-grass
G1	三叶草	<i>Trifolium</i>	草本 Grass
S1	伞房决明	<i>Cassia corymbosa</i>	灌木 Shrub
S2	紫穗槐	<i>Amorphafruticosa</i> L.	灌木 Shrub
BL	裸地	Bare land	裸地 Bare land

在上述 7 个样地中,分别划定一个 5m × 5m 的样方,于 2012 年 4 月和 2012 年 11 月分两次进行土壤样品的采集。在每个样方内随机布设 5 个样点,每个样点开挖 40cm 深剖面一个,每个剖面分 0 ~ 10cm、10 ~ 20cm、20 ~ 40cm 用 100cm³ 环刀取土,每个土层重复 3 次,分别用于测定田间持水量、孔隙度等物理性质。选取其中一个样点,用 100cm³ 环刀按照相同土层取土,每个土层重复 3 次,计算平均,测定土壤容重。

田间持水量采用威尔科克斯法测定。土壤孔隙度的测定方法参照《土壤理化分析》^[11]。

另采集随机 5 个点相同土层混合土样带回实验室风干,过 2mm 筛,用于测定土壤粒度、pH、含盐量。土壤粒度采用激光粒度仪测定。土壤含盐量采用电导法测定。土壤 pH 采用电位法测定。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2007 进行处理。不同植被群落配置模式下土壤 pH 和含盐量采用 SPSS 18.0 软件的 Duncan's 多重比较法进行显著性差异分析,土壤主要理化性质的相关关系采用 Pearson 相关分析法分析。

2 结果

2.1 土壤物理性质

2.1.1 土壤机械组成 表 2 表明,与裸地相比,不同植物群落配置模式下土壤机械组成的合理性有所提高。其中,三叶草群落显著降低了土壤砂粒的百分比,土壤砂粒分别在 0~10cm 土层降低了

54.5%,10~20cm 土层降低了 64.2%,20~40cm 土层降低了 77.3%;各土层的物理性黏粒则显著增加,自上而下分别增加了 62.2%、61.6% 和 159.9%。伞房决明和紫穗槐群落下 0~10cm 土层土壤的砂粒和粗粉粒比例提高,物理性黏粒比例减小。灌草群落下各个土层植物均对土壤机械组成的优化有一定影响,砂粒减少,逐步转化为粗粉粒,物理性黏粒增加 57.8%。

表 2 不同植物群落机械组成特征

Table 2 Mechanical composition of the soils relative to plant community configuration

样地代码 Sample code	土层 Soil layer(cm)	砂粒	粗粉粒	中、细粉粒	黏粒	物理性黏粒
		Sand 1~0.05mm	Coarse silt 0.05~0.01mm	Medium and fine silt 0.01~0.001mm	Clay <0.001mm	Physical clay <0.01mm
SG1	0~10	20.62c	50.56a	23.47c	5.35c	28.82b
	10~20	20.82c	51.23a	21.83c	6.12b	27.95c
	20~40	20.94b	50.75b	22.05b	6.26c	28.31b
SG2	0~10	27.06b	45.73b	21.33c	5.88b	27.21b
	10~20	18.17d	51.03a	24.15b	6.65b	30.80b
	20~40	23.15b	48.90c	21.82b	6.13c	27.95b
SG3	0~10	13.47d	54.12a	26.10b	6.31b	32.41b
	10~20	20.17c	48.98b	23.90b	6.95b	30.85b
	20~40	17.92c	45.86c	28.16a	8.06a	36.22a
G1	0~10	11.76d	45.01b	35.30a	7.93a	43.23a
	10~20	12.69d	49.44b	30.09a	7.78a	37.87a
	20~40	14.66c	51.76b	26.56a	7.02b	33.58a
S1	0~10	48.17a	31.48c	15.78d	4.57d	20.35c
	10~20	21.76c	51.09a	23.15b	4.00d	27.15c
	20~40	16.69c	55.91a	21.19b	6.21c	27.40b
S2	0~10	31.27b	42.54b	22.36c	3.83d	26.19b
	10~20	25.78b	47.73b	21.52c	4.97c	26.49c
	20~40	18.22c	51.82b	23.61b	6.35c	29.96b
BL	0~10	25.87b	47.48b	20.81c	5.84b	26.65b
	10~20	35.40a	41.17c	18.28d	5.15c	23.43d
	20~40	64.65a	22.43d	10.13c	2.79d	12.92c

注:同一土层同列数字间,不同字母表示差异显著($p < 0.05$),下同 Note: Different letters in same depth and in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$). The same below

2.1.2 土壤容重 如表 3 所示,裸地的土壤容重平均值约为 1.54 g cm^{-3} ,各植物群落配置模式土壤容重平均值在 1.29 g cm^{-3} 左右。相对于裸地,0~10cm 土层,土壤容重的减少由大到小依次为三叶草 > 紫穗槐 > 伞房决明 > 海滨木槿 + 野豌豆 > 夹竹桃 + 野豌豆 > 慈孝竹 + 草头,其中以三叶草群落的

土壤容重减少最明显,土壤容重减小 27.3%;10~20cm 土层,各群落的容重减少程度相近,土壤容重平均减小 14.5%;20~40cm 土层,夹竹桃 + 野豌豆和海滨木槿 + 野豌豆群落对土壤容重的影响较表层(0~10cm)有了很大提升,超过了三叶草、紫穗槐和伞房决明,对土壤容重的减小由大到小依次为海

滨木槿 + 野豌豆 > 夹竹桃 + 野豌豆 > 紫穗槐 > 伞房决明 > 慈孝竹 + 草头 > 三叶草。

2.1.3 土壤孔隙度 相对于裸地,各植物群落配置模式土壤的总孔隙度和毛管孔隙度均显著增加(表3)。灌草群落的土壤总孔隙度分别在0~10cm层次增加了13.7%,10~20cm层次增加了20.5%,20~40cm层次增加了21.9%,深层土壤的孔隙度增加更明显。灌木群落对土壤总孔隙度的影响主要集中在0~20cm层次的中上层土壤,对于20~40cm层次的土壤总孔隙度的影响较小。而草本群落改良土壤总孔隙度的优势则集中在0~10cm层次的浅表层,随着土壤深度的增加,土壤孔隙度的增加大幅降低。

2.1.4 土壤田间持水量 如表3所示,与裸地相

比,不同植物群落配置模式各土层的田间持水量均有一定程度增加,在0~10cm层次,三叶草、海滨木槿+野豌豆和夹竹桃+野豌豆等群落的田间持水量均显著增加,分别增加了25.2%、23.5%和20.9%,而伞房决明和紫穗槐群落的田间持水量增加不明显,平均增加了5.8%;在10~20cm层次,各个群落的田间持水量增加情况趋于接近;在20~40cm层次,三叶草的增加优势不存在了,增加幅度仅为5.3%,被3块灌草复合样群落和2块灌木群落超越,其中又以灌草复合群落中的夹竹桃+野豌豆和海滨木槿+野豌豆的田间持水量的增加最明显,田间持水量分别增加了14.8%和20.6%,灌木群落次之,平均增加12.9%。

表3 不同植物群落配置模式下土壤物理性质特征

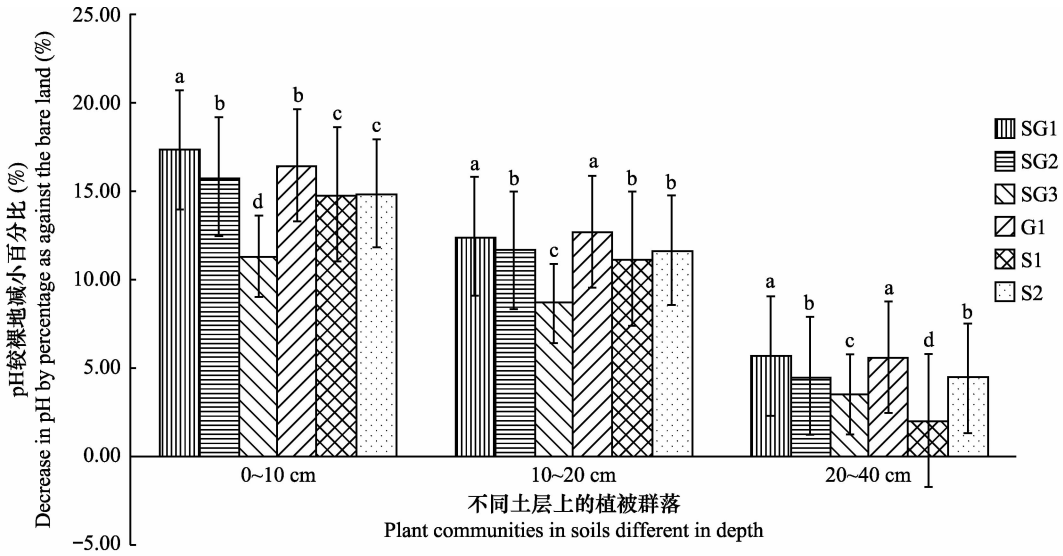
Table 3 Soil physical properties relative to plant community configuration

样地代码 Sample code	土层 Soil layer (cm)	容重 Bulk density (g cm ⁻³)	总孔隙度 Total porosity (%)	毛管孔隙度 Capillary porosity (%)	非毛管孔隙度 Non-capillary porosity (%)	毛管孔隙度/ 非毛管孔隙度 Capillary porosity/ Non-capillary porosity	田间持水量 Field moisture capacity (g kg ⁻¹)
SG1	0~10	1.28 ± 0.25b	45.61 ± 12.20b	28.10 ± 7.74b	17.51 ± 2.21c	1.61a	278.5 ± 21.2a
	10~20	1.29 ± 0.38c	47.45 ± 9.53b	25.63 ± 4.67c	21.83 ± 3.05b	1.17c	252.0 ± 15.7b
	20~40	1.33 ± 0.33d	46.15 ± 7.65a	25.23 ± 5.01b	20.92 ± 3.01a	1.21c	240.0 ± 14.6b
SG2	0~10	1.37 ± 0.21a	41.85 ± 5.76c	26.05 ± 1.06c	15.79 ± 1.52d	1.65a	255.0 ± 15.0b
	10~20	1.39 ± 0.29b	43.43 ± 6.76c	25.99 ± 3.12c	17.44 ± 4.26d	1.49a	241.0 ± 12.4c
	20~40	1.45 ± 0.32b	41.30 ± 5.45b	25.05 ± 3.65b	16.24 ± 3.62c	1.54b	230.0 ± 12.1b
SG3	0~10	1.22 ± 0.36b	48.74 ± 8.24b	27.15 ± 7.17c	21.59 ± 5.48b	1.26c	284.3 ± 28.5a
	10~20	1.26 ± 0.48c	48.99 ± 6.43a	27.00 ± 5.26a	21.99 ± 3.65b	1.23b	260.0 ± 20.2a
	20~40	1.32 ± 0.52d	47.47 ± 3.41a	26.01 ± 4.58a	21.41 ± 6.34a	1.21c	252.1 ± 23.5a
G1	0~10	1.04 ± 0.29d	54.61 ± 10.80a	29.16 ± 8.20a	25.45 ± 4.12a	1.15c	287.6 ± 25.6a
	10~20	1.21 ± 0.33c	47.48 ± 8.89b	25.06 ± 2.25c	22.48 ± 2.66a	1.11c	255.9 ± 23.2b
	20~40	1.48 ± 0.41b	36.98 ± 6.63c	21.04 ± 5.12c	15.98 ± 1.32c	1.31	220.0 ± 20.5c
S1	0~10	1.19 ± 0.27c	48.55 ± 10.40b	28.60 ± 7.67a	19.95 ± 1.26b	1.43b	240.0 ± 20.6c
	10~20	1.24 ± 0.35c	48.79 ± 9.46a	26.10 ± 10.12b	22.69 ± 0.87a	1.15c	238.0 ± 18.7c
	20~40	1.40 ± 0.36c	40.90 ± 6.89b	24.21 ± 4.89c	16.69 ± 5.41b	1.45b	235.0 ± 7.8b
S2	0~10	1.15 ± 0.14c	48.89 ± 2.33b	27.95 ± 3.18b	20.95 ± 5.23b	1.33c	246.6 ± 10.1c
	10~20	1.22 ± 0.25c	45.84 ± 7.86c	26.55 ± 5.64b	19.29 ± 1.45c	1.38a	239.1 ± 9.7c
	20~40	1.38 ± 0.21c	39.44 ± 4.69b	25.10 ± 2.23b	14.34 ± 2.77d	1.75a	237.0 ± 8.8b
BL	0~10	1.43 ± 0.36a	39.92 ± 4.82d	20.00 ± 9.12d	19.92 ± 1.53b	1.00d	230.1 ± 16.6d
	10~20	1.52 ± 0.49a	38.71 ± 5.37d	16.20 ± 4.34d	22.71 ± 1.20a	0.70d	210.1 ± 12.8d
	20~40	1.66 ± 0.52a	36.92 ± 9.50d	15.03 ± 2.93d	21.92 ± 0.99a	0.68d	208.8 ± 12.5d

2.2 土壤化学性质

2.2.1 土壤 pH 如表 4 所示,裸地的 pH 在 8.75~9.62 之间,在配置植物群落后,土壤 pH 明显降低,除了 SG3(海滨木槿+野豌豆)样地,其他样地的 pH 均接近或降至 8.5 以下,且各群落之间差异不显著 ($p < 0.05$)。在 6 种植物群落配置模式

中,SG1(夹竹桃+野豌豆)、SG2(慈孝竹+草头)和 G1(三叶草)样地对各个层次土壤 pH 的影响较大。图 1 可以明显看出,较裸地土壤 pH 减小百分比随土壤深度的增加而减小,自上而下分别为 15.06%、11.34% 和 4.24%,对土壤表层 pH 的影响较大。



注:同一组数字间,不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$) Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$)

图 1 不同植物群落 pH 较裸地的减小百分比

Fig. 1 Decreases in pH by percentage as against the bare land under different plant community configuration

表 4 不同植物群落配置模式下土壤 pH 变化特征

Table 4 Variation of soil pH relative to plant community configuration

样地代码 Sample code	pH		
	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm
SG1	8.35 ± 0.08d	8.38 ± 0.05c	8.43 ± 0.05c
SG2	8.31 ± 0.10d	8.33 ± 0.05c	8.38 ± 0.02c
SG3	8.65 ± 0.04b	8.56 ± 0.15b	8.46 ± 0.12c
G1	8.26 ± 0.07d	8.25 ± 0.08c	8.29 ± 0.14c
S1	8.20 ± 0.01d	8.37 ± 0.08c	8.58 ± 0.02b
S2	8.38 ± 0.13c	8.33 ± 0.07c	8.38 ± 0.03c
BL	9.62 ± 0.11a	9.30 ± 0.06a	8.75 ± 0.08a

注:同列不同字母表明差异显著 ($p < 0.05$),下同 Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$). The same below

2.2.2 土壤含盐量 从表 5 可以看出,试验区裸地含盐量 (NaCl) 介于 4.4~5.4 $g\ kg^{-1}$,种植植物以后,土壤含盐量均降至 2.5 $g\ kg^{-1}$ 以下,下降幅度为 48.45%~90.46%。G1(三叶草)样地含盐量降至 1 $g\ kg^{-1}$ 以下,达到正常土壤标准。因此不同植被

群落均能有效减少土壤盐分。

表 5 不同植物群落配置模式下土壤含盐量变化特征

Table 5 Variation of content relative to plant community configuration

样地代码 Sample code	土壤含盐量 Soil total dissolved salt (NaCl, $g\ kg^{-1}$)		
	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm
SG1	1.50 ± 0.04b	1.70 ± 0.02c	1.70 ± 0.01c
SG2	1.60 ± 0.03b	1.70 ± 0.02c	1.60 ± 0.01c
SG3	2.00 ± 0.01b	2.30 ± 0.06b	2.20 ± 0.04b
G1	0.40 ± 0.00c	0.80 ± 0.02d	0.60 ± 0.02d
S1	1.50 ± 0.03b	1.40 ± 0.03c	1.40 ± 0.00c
S2	0.60 ± 0.01c	1.10 ± 0.01d	0.90 ± 0.02d
BL	4.40 ± 0.02a	5.40 ± 0.02a	4.40 ± 0.01a

2.3 不同植物群落主要土壤理化性质的相关性

0~10cm 层次土壤主要理化指标相关性分析结果可以看出(表 6),土壤容重与总孔隙度、毛管孔隙度、田间持水量呈极显著负相关;土壤 pH 与含盐量呈极显著正相关。

表 6 不同植物群落 0~10cm 层次主要土壤理化性质的相关性

Table 6 Pearson correlation coefficients between major soil physical and chemical properties in the 0~10cm soil layer relative to plant community configuration

	BD ¹⁾	TP ²⁾	CP ³⁾	NCP ⁴⁾	FMC ⁵⁾	pH	TDS ⁶⁾
BD ¹⁾	1						
TP ²⁾	-0.927 **	1					
CP ³⁾	-0.862 **	0.789 **	1				
NCP ⁴⁾	-0.394	0.605 **	-0.011	1			
FMC ⁵⁾	-0.772 **	0.773 **	0.775 **	0.253	1		
pH	0.476 *	-0.429	-0.677 **	0.178	-0.382	1	
TDS ⁶⁾	0.641 **	-0.474 *	-0.779 **	0.238	-0.489 *	0.865 **	1

1)BD:容重 Bulk density;2)TP:总孔隙度 Total porosity;3)CP:毛管孔隙度 Capillary porosity;4)NCP:非毛管孔隙度 Non-capillary porosity;5)FMC:田间持水量 Field moisture capacity;6)TDS:含盐量 Total dissolved salt. *表示 $p < 0.05$; **表示 $p < 0.01$

3 讨 论

3.1 植物群落配置模式对土壤物理性质的影响

机械组成是土壤最基本的物理特性之一。它影响土壤的理化性质和生物学特性,与植物生长所需的环境条件及养分供给关系十分密切;机械组成在一定程度上又反映了土壤抗侵蚀的能力状况^[12]。本研究中不同植被群落配置模式之间,土壤机械组成略有不同。这是因为不同模式下地被覆盖情况、地表枯枝落叶量及其分布和受人为干扰的程度不同,土壤受降雨的侵蚀力和机械淋洗作用的程度也不一样^[13]。其中,草本群落在减少砂粒方面表现优异,可能与草本样地每年两次收获,人为翻耕比较频繁有关。灌草复合群落在各个土层对土壤的机械组成有一定地改善,土壤结构趋于合理,会促进土壤其他物理性质的改良。

土壤容重能反映土壤透水性、通气性和根系伸展时的阻力状况^[14]。本研究中,相对于裸地,不同植物群落均能降低土壤容重。对于土壤容重的降低,草本群落在土壤表层降低最明显,其降低程度呈现草本 > 灌木 > 灌草群落的趋势,而随着土层深度的增加,草本对土壤容重的降低效果有所下降,而灌草群落对土壤容重的影响稳中有升,降低效果超过了灌木和草本群落。通过植被恢复改良土壤容重,主要是借助植物根系的穿插、腐烂,消除较大孔隙中的闭塞空气,使土壤产生干湿交替,改善土壤水分运动与气体扩散,从而改良土壤的紧实结构,达到减小容重的目的。考虑到草本植物的根系分布较浅,尽管其在土壤表层对于容重有一定的影响,但随着深度的增加,影响逐渐减小;而灌木的根

系大多分布在深层,所以对容重的影响与草本植物相反,深层影响大,但表层影响小。与上述两类相比,灌草复合模式使得植物根系在表层和较深层次上均有比较均匀的分布,因此在各个土层对于土壤的疏松均有积极作用。

土壤孔隙组成直接影响到土壤通气透水性和根系穿插的难易程度,并对土壤中水、肥、气、热和微生物活性等发挥着不同的调节作用,是表征土壤结构的重要指标之一^[15]。本研究对土壤孔隙度的分析结果与容重一致,均表明了单一种植草本或者灌木对于改良深度的局限性,而灌草复合的配置模式不仅使根系的分布更加均匀,影响的土壤范围更大,而且利于土壤物理性质之间的相互促进作用,孔隙度的增加,改善了土壤的通气透水性,进一步减小土壤容重,优化土壤机械组成,减小植物根系伸展时的阻力,有利于植物生长。

土壤中毛管孔隙和非毛管孔隙的比值常用于表征土壤通气性、渗透性和保水性,从土壤肥力角度看,不能只看土壤孔隙度的大小,还要分析土壤孔隙中毛管孔隙与非毛管孔隙的比例,因为它关系着土壤中水、肥、气、热的协调,以及土壤微生物的活动和植物的生长发育^[16]。一般认为,土壤中大小孔隙同时存在,若总孔隙度在 50% 左右,毛管与非毛管孔隙度的比值在 1.5~4.1 时,透水性、通气性和持水能力比较协调^[17-18]。根据以上标准判断,本研究中裸地的毛管孔隙度与非毛管孔隙度配比极其不合理,毛管孔隙度的比例偏低,不能提供适合植物生长的水、气条件。经过种植植物一段时间后,土壤的毛管孔隙度与非毛管孔隙度比值显著增大,虽然还没有完全达到理想状态,但是合理化配比的趋势已经非常明显(表 3)。

田间持水量指土壤中毛管悬着水的最大含水量,长期以来被认为是土壤所能稳定保持的最高土壤含水量,是对植物有效的最高土壤含水量^[19]。土壤田间持水量能较好地反映土壤水分和群落生境的湿润状况,直接影响凋落物和土壤表层的物质和能量交换及土壤盐基养分的淋溶程度^[20]。20~40cm 土层,各群落配置对田间持水量的提高效果依次为灌草复合群落>灌木群落>草本群落,因此灌草复合群落对土壤田间持水量的改良效果最好。

3.2 植物群落配置模式对土壤化学性质的影响

土壤 pH 与土壤微生物活性、土壤肥力以及作物生长等密切相关。由于土壤微生物和植物根系呼吸产生 CO₂,植物根系生长及其代谢活动过程中向根外分泌氨基酸、脂肪酸,以及有机质矿化生成的简单有机酸均能降低土壤 pH^[21]。依照中国科学院南京土壤研究所 1978 年的标准,本研究中裸地的 pH 属强碱性。配置植物群落后,除海滨木槿+野豌豆样地,其他样地的 pH 均接近或降至 8.5 以下,根据李法虎^[21]的研究,多数作物生长发育适宜的土壤 pH 在 5.5~8.5 之间,说明改良后的土壤基本达到了作物生长发育的要求。而海滨木槿和野豌豆的混合种植模式可能是由于海滨木槿生长季树冠低矮茂密,豌豆又是喜阳的植物,因此其影响了豌豆的生长和改良作用。在试验选取的 6 个样地中,以夹竹桃+野豌豆、慈孝竹+草头和三叶草样地对各个层次土壤 pH 的影响最大,可能说明了试验所选取的几种草本植物可有效降低土壤碱度,这是因为秋天枯草腐烂分解后,产生的有机酸和 CO₂可起到中和改碱的作用,此外,还可促进成土母质石灰质的溶解^[22]。各群落配置改良土壤 pH 的效果随土壤深度的增加而减小,这是因为灌木和草本植物的覆盖有效地减少地表水分的蒸发,抑制了盐分上移和积累。同时灌木和草本所形成的强大根系,吸收水分进行蒸腾,起到了降低地下水位,削弱了地下顶托的生物排水作用,有效地防止土壤表层盐碱化。

土壤内大量盐分的积累,会引起一系列土壤物理性状的恶化,导致表层土壤盐渍化的加剧^[23]。根据盐碱土分级标准^[24],试验区裸地属中度盐碱土。种植植物一段时间后,不同植物群落均能有效降低土壤盐分,各样地含盐量均符合轻度盐碱土的标准,其中草本样地达到正常土壤标准。这可能是由于地表有植被覆盖后,水分主要通过植物蒸腾和地表蒸发而散失在大气中,无地被覆盖的裸地,水分

通过土壤毛细管作用而散失,土表水分蒸发后常形成一层干土层,它能防止水分过量蒸发。因此有植被覆盖地段的蒸腾-蒸发强度大于裸地的蒸发强度^[25],而且植物根系更有利于深层地下水的蒸腾,从而进一步降低地下水位,削弱地下水的顶托作用,使上层土壤的盐水易下渗,而下层的盐水却难以靠毛管作用上升,加速土体脱盐,同时植物根系生长能疏松土壤结构,促进盐分淋洗。

3.3 植物群落配置模式对土壤主要理化性质间相关性的影响

由于土壤的形成是气候、母质、地形、生物和时间因子共同作用的结果,导致了土壤容重、孔隙度、田间持水量、pH、含盐量等土壤理化性质存在着一定的相关性。但不同土壤因其生物等因子的不一样,各理化指标的相互关系也不一样^[26]。不同植物群落土壤主要理化性质的相关分析表明土壤容重与总孔隙度、毛管孔隙度、田间持水量和盐碱程度有一定的相关性,土壤容重和总孔隙度、毛管孔隙度、田间持水量呈显著负相关,这与曹国栋等^[27]对玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质的研究结果基本一致,研究表明,由于根系的穿插生长,使得土壤疏松,容重降低,有利于土壤水分的入渗,降低了风蚀和雨蚀,增强了土壤的抗蚀性,改善了盐碱土土壤结构及有机质含量。土壤 pH 和含盐量呈显著正相关。张秀玲等^[28]研究盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响结果表明,土壤 pH 的升高是土壤碱性盐(NaHCO₃、Na₂CO₃)增加的结果,意味着植物群落的生长可能导致土壤中 HCO₃⁻或 CO₃²⁻的降低,这有待于进一步研究。

草本植物的根系深度十分有限,对于深层土壤养分的贡献仅局限于随着下渗水分而输出的可溶性养分,因此无法改良深层土壤的物理性质,又因为深层土壤的物理性质得不到改善,容重大、孔隙度小、田间持水量低,仍然会有较多的盐分随着毛管水回到表层土壤,也就是草本根系的深度,由于根际土的孔隙较大,毛管作用弱且蓄积雨水的能力强,因此会抑制深层的毛细上升量进一步升高。相比较草本,灌木的根系更多分布在深层而水平方向上分布不均,因此,灌木对于地表和浅层土壤的有机质积累远不及深层土壤,此外,在缺少地被植物的情况下,雨水冲刷会带走大量的有机质和细颗粒土壤,极大地削弱翻耕对于改良表土容重的效果。

这有可能会引起以下情况:(1)在只种植草本

的样地,灌木生存情况较差,因为根系很难在深层得不到改良的土壤中存活;(2)在只种植灌木的地方,草本的生长情况较差,因为表土养分流失严重,物理性质改良程度有限。从土壤改良的意义来考虑,如果只改良浅层土壤,那么土壤保水保肥的能力会非常有限。如果只改良深层土,那么表层土水分和养分随降雨流失的问题就会严重存在。因此灌草结合的方式可以弥补二者的不足。灌草复合的模式使植物根系在水平和垂直方向上均有比较均匀的分布,根系的穿插和活动对各个土层土壤的物理性质均有积极的作用。

4 结 论

综上所述,本研究认为灌木和草本混合种植的方式比较有利于盐碱土理化性质的改良。一是按一定密度合理种植耐盐灌木,利用灌木对盐碱土进行多方面的改良,防风降温,调节地表径流,灌木的较深较大的根系和大量枯枝落叶可以改善土壤结构,提高土壤肥力,同时,枝繁叶茂的树冠可以蒸发大量水分,使地下水位降低,减少盐分向上运移。二是在灌木丛下种植草本地被物,由于草本具有良好的覆盖度,使土壤表面的水分蒸发减少,抑制表面积盐,与此同时,草本的根系和腐烂分解的枯草可以疏松土壤,改善土壤的物理性状,使土壤容重减小,孔隙度增加,透水性改善。

参 考 文 献

- [1] 陈巍,陈邦本,沈其荣. 滨海盐土脱盐过程中 pH 变化及碱化问题研究. 土壤学报,2000,37(4):521—528. Chen W, Chen B B, Shen Q R. Studies on the changes of pH value and alkalization of heavily saline soil in seabeach during its desalting process (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*,2000,37(4):521—528
- [2] 朱庭芸,何守成. 滨海盐渍土的改良和利用. 北京:农业出版社,1983:1. Zhu T Y, He S C. Improvement and utilization of coastal saline soil (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1983:1
- [3] Zhu J K. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review Plant Biology*,2002,53:247—273
- [4] 任红旭,王亚馥. 抗旱性不同的小麦幼苗对水分和 NaCl 胁迫的反应. 应用生态学报,2000,11(5):718—722. Ren H X, Wang Y F. Response of wheat seedlings with different drought resistance to water deficiency and NaCl stresses (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*,2000,11(5):718—722
- [5] 许祥明,叶和春,李国风. 植物抗盐机理的研究进展. 应用与环境生物学报,2000,6(4):379—387. Xu X M, Ye H C, Li G F. Progress in research of plant tolerance to saline stress (In

Chinese). *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*,2000,6(4):379—387

- [6] 许卉. 盐碱地对植树造林的影响及耐盐树种的选择. 滨州教育学院学报,1998(1):55—56. Xu H. Saline alkali soil effect on afforestation and salt tolerant species selection (In Chinese). *Journal of Binzhou College of Education*,1998(1):55—56
- [7] 丁海荣,洪立洲,杨智青,等. 盐碱地及其生物措施改良研究现状. 现代农业科技,2010(6):299—300,308. Ding H R, Hong L Z, Yang Z Q, et al. Research status and biological measures for improving saline alkali soil (In Chinese). *Modern Agricultural Science and Technology*,2010(6):299—300,308
- [8] 石元春. 盐碱土改良——诊断、管理、改良. 北京:农业出版社,1996:1—22. Shi Y C. Improvement of saline alkali soil: Diagnosis, management, improvement (In Chinese). Beijing: Agriculture Press,1996:1—22
- [9] 王苗,齐树亭,葛美丽. 盐生植物对滨海盐渍土生物改良的研究进展. 安徽农业科学,2008,36(7):2898—2899,2954. Wang M, Qi S T, Ge M L. Research progress on the biological improvement of the coastal saline soil by halophytes (In Chinese). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*,2008,36(7):2898—2899,2954
- [10] 高彦花,张华新,杨秀艳. 耐盐碱植物对滨海盐碱地的改良效果. 东北林业大学学报,2011,39(8):43—46. Gao Y H, Zhang H X, Yang X Y. Ameliorative effect of saline-alkali tolerant plants in coastal saline-alkali land (In Chinese). *Journal of Northeast Forestry University*,2011,39(8):43—46
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海:上海科学技术出版社,1983. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Physical and chemical analysis of soil (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press,1983
- [12] 罗海波,钱晓刚,刘方,等. 喀斯特山区退耕还林(草)保持水土生态效益研究. 水土保持学报,2003,17(4):31—34,41. Luo H B, Qian X G, Liu F, et al. Ecological benefit of soil and water conservation in hilly areas by de farming and reafforestation (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*,2003,17(4):31—34,41
- [13] 张学权,胡庭兴. 林(竹)草不同植被恢复模式下的土壤物理特性. 长江流域资源与环境,2008,17(4):624—626. Zhang X Q, Hu T X. Soil physical properties under different or bamboo plus grass vegetation restoration tree patterns (In Chinese). *Resources and Environment in the Yangtze Basin*,2008,17(4):624—626
- [14] 郑郁善,陈礼光,洪伟. 毛竹杉木混交林生产力和土壤性状研究. 林业科学,1998,34(1):16—25. Zheng Y S, Chen L G, Hong W. Study on production and soil properties of mixed forests of Chinese fir and *Phyllostachys pubescens* (In Chinese). *Scientia Silvae Sinicae*,1998,34(1):16—25
- [15] 黄继民,耿宝军,马险峰. 矿物肥料对排土场土壤物理性质的改良效应. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,28(9):169—171. Hang J M, Geng B J, Ma X F. Ameliorative effect of mineral fertilizers on soil physical properties of dump (In Chinese). *Journal of Liaoning Technical University: Natural Science*,2009,28(9):169—171

- [16] 罗水发. 尾叶桉林地不同时期土壤物理性状研究. 福建林业科技, 2001, 28(3): 39—41. Luo S F. Study on soil physical properties of *Eucalyptus urophylla* forest land in different periods (In Chinese). Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2001, 28(3): 39—41
- [17] 田大伦, 陈书军. 樟树人工林土壤水文-物理性质特征分析. 中南林学院学报, 2005, 25(2): 1—6. Tian D L, Chen S J. Analysis of soil hydrology-physic properties in the artificial forest of *Cinnamomum camphora* (L.) (In Chinese). Journal of Central South Forestry University, 2005, 25(2): 1—6.
- [18] 杨澄, 刘建军, 杨武. 桥山森林土壤水文物理性质分析. 陕西林业科技, 1998, 20(1): 24—27. Yang C, Liu J J, Yang W. Forest soil hydro-physical properties in the Qiaoshan Mountains (In Chinese). Shaanxi Forest Science and Technology, 1998, 20(1): 24—27
- [19] 张百川. 沙箱法测定土壤田间持水量实验研究. 江淮水利科技, 2012(2): 27—30. Zhang B C. Experimental study on the determination of the soil moisture field sandbox method (In Chinese). Jianghuai Water Resources Science and Technology, 2012(2): 27—30
- [20] 康冰, 刘世荣, 蔡道雄, 等. 南亚热带不同植被恢复模式下土壤理化性质. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2479—2486. Kang B, Liu S R, Cai D X, et al. Soil physical and chemical characteristics under different vegetation restoration patterns in China south subtropical area (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(10): 2479—2486
- [21] 李法虎. 土壤物理化学. 北京: 化学工业出版社, 2006: 23—25. Li F H. Soil physicochemistry (In Chinese). Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 23—25
- [22] 阎秀峰, 孙国荣, 李景信. 我国耐盐牧草的研究现状. 中国草地, 1994(3): 68—72. Yan X F, Sun G R, Li J X. Present situation of studies on salt tolerant forage grass in China (In Chinese). Grassland of China, 1994(3): 68—72
- [23] 时冰. 盐碱地对园林植物的危害及改良措施. 河北林业科技, 2009, 9(21): 61—62. Shi B. Saline harm to the landscape plant and improvement measures (In Chinese). Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2009, 9(21): 61—62
- [24] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993. Wang Z Q, Zhu S Q, Yu R P, et al. Salt affected soil in China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993
- [25] 杨福囤, 沈振西, 钟海民. 矮嵩草草甸植物蒸腾强度的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(2): 136—143. Yang F T, Shen Z X, Zhong H M. A preliminary study on transpiration intensity of plants in *Kobresia humilis* meadow (In Chinese). Acta Phyto Ecologica Etgeobotanica Sinica, 1989, 13(2): 136—143
- [26] 李东海, 杨晓波. 桉树人工林林下植被、地面覆盖物与土壤物理性质的关系. 生态学杂志, 2006, 25(6): 607—611. Li D H, Yang X B. Soil physical properties under effects of *Eucalyptus* understory vegetation and litter (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(6): 607—611
- [27] 曹国栋, 陈接华, 夏军, 等. 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质. 生态学报, 2013, 33(1): 195—204. Cao G D, Chen J H, Xia J, et al. Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 195—204
- [28] 张秀玲, 李瑞利, 石福臣. 盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响. 南开大学学报: 自然科学版, 2007, 40(4): 13—18. Zhang X L, Li R L, Shi F C. Effects of salt stress on the seed germination of *apocynumvenetum* (In Chinese). Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2007, 40(4): 13—18

EFFECTS OF PLANT COMMUNITY CONFIGURATION ON PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF COASTAL POLDER SOIL

Wang Lu^{1,2} Zhong Qicheng^{1,2} Lu Ying^{1,2} Liu Qian^{1,2} Cao Liufang^{1,2} Gong Jinnan^{1,2} Wang Kaiyun^{1,2†}

(1 Department of Environment Science, College of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

(2 Key Laboratory of Urban Ecology and Restoration, Shanghai 200241, China)

Abstract To explore effects of plant community configuration on physical and chemical properties of coastal saline soil, soil samples were collected from fields that had been under plant communities different in configuration for 10 years in polders on east beach of Chongming Island for analysis of physical and chemical properties (soil mechanical composition, bulk density, porosity, field moisture capacity, pH and total salt content). Results show that compared with bare land, shrub-grass land increased in physical clay content by 57.8%, decreased in bulk density by 13.7%, and increased in total porosity and field moisture holding capacity by 18.2% and 17.8% respectively; grass land decreased in bulk density by 27.3%, increased in total porosity and field moisture capacity by 36.8% and 25.2%, respectively, only in the top soil layer (0~10cm), and improved the mechanical composition of the soil in the 0~40cm soil layer, by decreasing its sand content by 65.3% and increasing its physical clay content by 94.6%; And shrub land decreased in bulk density by 16.3%

and increased in total porosity and field moisture capacity by 8.8% and 13.0%, respectively, in the 20 ~ 40cm soil layer, but did not have much improvement in its soil mechanical composition of the 0 ~ 40cm soil layer. The three plant communities showed significant positive effects on pH and total salt content, that is to say, they lowered soil pH to 8.5, making the soils fit for crop growth, and reduced NaCl content down to 2.5 g kg^{-1} , which falls into the category of slightly salt-affected soil. Correlation analysis of main physical and chemical indexes of the soils revealed that bulk density was in extremely significant negative relationships with total porosity, capillary porosity, and field moisture capacity and in extremely significant positive relationships with soil pH and total salt content. Based on this study, it is held that the configuration of shrub-grass community is more conducive to amelioration of the physical and chemical properties of the saline soil in coastal polders.

Key words Plant community configuration modes; Saline-alkali soil; Physical and chemical properties

(责任编辑:檀满枝)