

施加改良剂对重度盐碱地土壤盐碱动态 及草本植物生长的影响

王文杰, 关 宇, 祖元刚*, 赵修华, 杨 磊, 许慧男, 于兴洋

(东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要:为了探索内陆重度盐碱地的改良新方法, 实验通过聚合有机酸(聚马来酸酐和聚丙烯酸)作为降盐碱剂, 采用阻盐碱层、表土成膜剂以及土壤孔隙改善剂相结合的方法, 对大庆市典型内陆盐碱土进行了改良实验, 并在改良后的土壤及对照样地上种植不同植物——白菜、萝卜、菠菜、豚草和长春花, 评价改良效果。结果发现: (1) 通过施加降盐碱剂、阻盐碱剂及土壤孔隙剂, 土壤的 pH 值和含盐量均有明显降低, 下降幅度分别为 pH: 0.8 ~ 1.2、含盐量: 0.2% ~ 0.5%, 而且表层改良效果优于深层; (2) 在上述改良基础上施用表土成膜剂, 使得土壤深层与表层盐碱运动减慢, 即表层盐碱更低而深层更高, 有利于保持表层适宜作物生长的条件; (3) 2 种聚合有机物比较来看, 聚马来酸酐的改良效果好于聚丙烯酸; (4) 从 5 种植物的生长状况来看, 施用上述改良剂后较对照能够明显提高作物成活以及生长, 特别是改良早期 5 种植物均呈现明显的生长趋势, 而在后期存在生长力下降的趋势, 因此, 在大面积改良过程中需要考虑连续多次施加降盐碱剂以增强效果。

关键词:盐碱土; 含盐量; 改良方法; 降盐碱剂; 聚马来酸酐; 聚丙烯酸

文章编号: 1000-0933(2009)06-2835-10 中图分类号: Q142, Q948 文献标识码: A

The dynamics of soil alkali-salinity and growth status of several herbal plants after kriliium addition in heavy soda saline-alkali soil in field

WANG Wen-Jie, GUAN Yu, ZU Yuan-Gang*, ZHAO Xiu-Hua, YANG Lei, XU Hui-Nan, YU Xing-Yang

Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 2835 ~ 2844.

Abstract: For probing new method of ameliorating inland saline-alkali soil, soil amendment experiment at heavy soda saline-alkali soil (Daqing City) were carried out by using kriliium of HPMA (hydrolyzed poly-maleic acid) and PAA (polyacrylic acid), as well as wood tar and vinegar as alkali-depressing and alkali-preventing agents. Growth of cabbage (*Brassica oleracea* L.), radish (*Raphanus sativus* L.), spinach (*Spinacia oleracea* L.), ragweed (*Ambrosia trifida* L.) and vinca (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don) and the dynamic of soil pH and salt content at 3 layers of soil were monitored. The results showed that: (1) both soil pH and salinity were significantly decreased after kriliium-addition, and 0.8 — 1.2 decrease in pH value, and 0.2% — 0.5% decrease in salt content were observed at the amendment soil comparing with untreated control. Moreover, the amendment effect at surface layer was better than the deep layer; (2) addition of film-topsoil agent reduced the transport of salinity from deep layer to the surface layer, which made the surface layer more suitable for the growth of planted species; (3) Comparison of the two polymer agents, HPMA was more effective than PAA in the effectiveness of improving saline-alkali soil; (4) From the growth status of 5 planted species, the application of the soil amendment kriliium agents could significantly increase the survival and growth rate with respecting to the control. This tendency was much evident at the early phase of the soil amendment experiment (about one month), but the growth rate decreased at late phase of soil amendment. Accordingly, multi-time kriliium-addition should be adopted in the large area

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD03A0306)

收稿日期: 2008-01-20; 修订日期: 2008-12-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zygorl@vip.hl.cn

practice of saline-alkali soil amendment for strengthening the effectiveness.

Key Words: saline-alkali soil; soil salinity; ameliorating method; kriliium; HPMA; PAA

松嫩平原位于我国的东北中部,区域内广泛分布着盐碱地,面积达 2.33 万 hm^2 ^[1]。这里的盐渍土大多属苏打型,土体总含盐量不算太高,但 Na 离子和碳酸根含量高,对植物的危害大,出现不少的斑状光板地类型的重度盐碱地,所占比例高达总面积的 41% 以上^[2]。这类土壤不但理化性质差,而且土壤的肥力也比较差,严重危害着农林牧业的可持续发展^[3]。近年来,有关高聚物改良剂的降盐碱研究已引起了国际上的广泛关注,Kazanskii 等人论述了高吸水性树脂的合成、性质和在土壤改良中的作用及其对植物生长的影响,并从化学计量学出发,分析了高聚化合物有效改良土壤效果的可能性^[4,5]。聚马来酸酐与聚炳烯酸均被用来作为水体除垢剂,通过与水垢主要成分碳酸钙、硫酸钙的相互作用,使之分散并溶于水中不产生沉淀的功能。高聚化合物土壤改良剂往往能对土壤性能、作物出苗和生长有一定影响^[6],聚马来酸酐和聚丙烯酸是否能够在野外条件下改良盐碱土值得探讨^[7]。为此,选择上述 2 种聚合物对松嫩平原内陆盐碱土进行了改良试验。区别于以往的研究所采取单一的理化方法来改良盐碱土,如:单独加入石膏等提供大量钙离子已改变土壤结构,而本实验通过高聚化合物做为降盐碱剂,采用阻盐碱层、表土成膜剂以及土壤有机质等土壤孔隙改善剂相结合的方法,试图综合改良盐碱地,并种植多种的草本植物对改良方法进行比较,对改良效果进行验证。

1 样地、材料与方法

1.1 样地概况

样地设在大庆市大同区太阳升镇双榆树村(N45 59.928°,E124 29.795°),海拔为 138m。该区属于退化草原,经调查该地区中度盐碱土(含盐量 0.2%~0.4%)为 4036 hm^2 ,重度盐碱土(含盐量 0.4% 以上)为 2873 hm^2 ,合计 6909 hm^2 。本实验样地选择在重度盐碱地上,所选样地总面积 100 m^2 。该区年年平均气温 4.9℃,年活动积温 2700~2800℃,日照时数 2658h,无霜期 168d,年均降雨量 437.5mm。

1.2 土壤改良材料

降盐碱剂:聚马来酸酐、聚丙烯酸,用于和盐碱土等混合,有效降低盐碱毒害;表土成膜剂:65 份聚丙烯酸 + 35 份木醋液混合,用于喷洒于盐碱土表层,形成约 2cm 厚的固定表土成膜层,阻止水分蒸发;阻盐碱层:65 份聚丙烯酸 + 20 份聚马来酸酐木焦油混合 + 15 份木醋液混合,在改良土壤坑的底部和四周,喷洒与盐碱土反应形成厚约 2cm 的形成阻盐碱层,用于阻止深层盐碱向上运输到土壤表层;土壤空隙改善剂:草炭土。

1.3 实验用植物材料与降盐碱处理

所选择 5 种植物包括白菜(*Brassica oleracea* L.)、萝卜(*Raphanus sativus* L.)、豚草(*Ambrosia trifida* L.)、长春花(*Catharanthus roseus* (L.) G. Don)和菠菜(*Spinacia oleracea* L.)。其中降盐碱处理如下:样方面积 1 m^2 (1m×1m),施工深度为 30cm。先对样方四周和底部进行喷施阻盐碱剂构筑阻盐碱层,将取出的盐碱土和草炭土按照 1 份草炭土:1 份盐碱土(包含 2 份的含沙量低的盐碱土和 1 份含沙量高的盐碱土)的比例进行混和。先在底部上平铺一层混合好的土,之后浇上水,待水趋于饱和的状态,回填混合好的土,使其添平,在土壤表层喷施 25L 聚马来酸酐降低盐碱度。之后散播上白菜、菠菜和萝卜种子,在种子表面覆上混合土,种子密度为 2500 粒/ m^2 ;豚草和长春花采取移栽方法,株间距约 4cm。此外菠菜的降盐碱处理有:处理 1 加入 25L 聚马来酸酐;处理 2 加入 25L 聚马来酸酐 + 表土成膜剂;处理 3 加入 25L 聚丙烯酸。用于探讨不同降盐碱剂、覆膜与否对改良效果的影响。

1.4 数据测定与分析处理

土壤盐碱动态调查:一般均从实验初期(7 月)到 9 月份,约 10d 左右采样 1 次,用于室内测量,处理前依样地定点取样并测定各样方的含盐量及 pH 值。先将 5g 土壤用去离子水制备成溶液,水土比为 5:1,采取电导率法测定含盐量。以碳酸钠为标准品,配制系列浓度,并测定电导率,之后测出标准曲线方程:含盐量 =

(电导率 -0.0868) $\times 0.363$, 用于土壤样品含盐量的测定; pH 计直接测定 5:1 水土混合溶液的 pH 值^[8], 采用 Sartorius PB-10 pH 计和雷磁 DDS-307 电导率仪测量。处理后, 仍调查同一样点的土壤含盐量及 pH 值(取深度为表层 0~5cm、中层 10cm 左右和深层 30cm 左右), 土壤盐碱测定重复数 3~5 个。在每个处理样方及对照区各选 5 株以上植物进行定株调查株高、基径和叶片大小。生物量测量采用卷尺和游标卡尺。

土壤盐碱动态数据在分析过程中, 选择表层和深层进行动态比较分析, 而把不同层(表层, 15cm 和 30cm 深层)所有动态数据作平均处理, 进行综合分析比较。植物生长状态数据分析, 一般以叶片总量大小(叶片总数与平均单个叶片面积大小的乘积, 叶面积使用 Li-3000 叶面积仪测定投影面积), 单位, 叶面积(cm^2)、株高(cm)、基部直径(mm)随实验天数的线性拟合直线来表示, 当植物在生长期出现萎缩现象时, 采用分时间段方法分别拟合。直线的斜率反映了植物的生长速率, 而出现萎缩时, 则反映了植物的凋谢减小速率。如图 1~图 8 所示。

2 结果与讨论

2.1 施加降盐碱剂种植白菜后土壤盐碱动态变化及对植物生长的影响

对改良后土壤的盐碱动态和每种深度土壤的平均盐碱含量作图发现(图 1): 总体来看, 改良后的土壤明显好于对照盐碱土。虽然在 30d 到 60d 之间二者都有所上升, 不过还是明显低于对照盐碱土, 各差异均达到了显著水平($p < 0.05$)。改良后表层总盐量降低了 0.12%, 深层降低了 0.08%。pH 值方面, 表层(0cm)和 30cm 分别平均降低了 1.2、0.7($p < 0.05$), 表层土好于深层土。pH 值每点都低于对照盐碱土, 虽然从 15d 开始有所上升, 最高值达到 9.58, 不过还是明显低于对照盐碱土。3 种处理深度的平均值方面, 改良区含盐量和

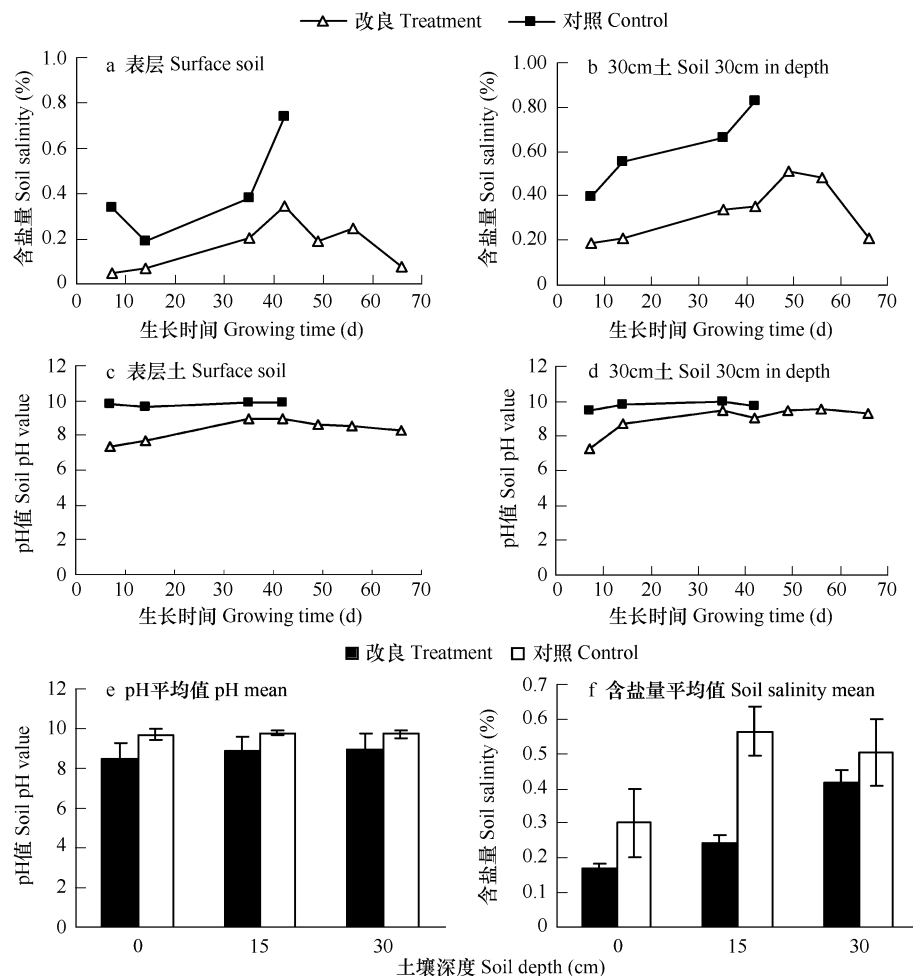


图 1 施加降盐碱剂种植白菜后土壤盐碱动态变化

Fig. 1 Agent-addition influences on the dynamics of soil pH and salinity during cabbage cultivation

pH 值都低于对照。含盐量方面表土改良效果最好,已经达到 0.18%;30cm 最差,已经升到 0.4% 左右。pH 值不同深度相差 0.1 左右,表层略低,为 8.5 左右。

对植物的株高、叶面积和基径的生长速率进行分析表明(表 1):白菜在对照盐碱土中并没有发芽,而在处理后土壤中显著发芽,处理后的前 35d 株高和叶片面积都有明显增长,而 35d 以后叶片开始出现萎焉。这一结果说明,改良措施有一定效果,但是在改良持续时间方面尚不足。

表 1 施加降盐碱剂对白菜、萝卜、豚草和长春花生长的影响

Table 1 Agent-addition influences on the growth of cabbage, radish, ragweed and vinca seedlings

物种 Species	指标 Parameters	对照 Control	施加聚马来酸酐 Addition of HPMA
白菜 Cabbage	叶大小(y)与生长时间(x) Leaf size (y) and growing period (x)	没有发芽 No sprouting	$x < 35d; y = 0.2401x - 1.4152; R^2 = 0.85$ $x > 35d; y = -0.2421x + 15.465; R^2 = 0.79$
	株高(y)与生长时间(x) Height and growing period (x)	没有发芽 No sprouting	$x < 35d; y = 0.05x - 0.8; R^2 = 0.84$ $x > 35d; y = -0.03x + 0.93; R^2 = 0.78$
	基径(y)与生长时间(x) Diameter (y) and growing period (x)	没有发芽 No sprouting	$y = 0.006x + 0.1407; R^2 = 0.75$
萝卜 Radish	叶大小(y)与生长时间(x) Leaf size (y) and growing period (x)	没有发芽 No sprouting	$x < 35d; y = 0.1479x + 1.0059; R^2 = 0.85$ $x > 35d; y = -0.1333x + 6.7; R^2 = 0.79$
	株高(y)与生长时间(x) Height (y) and growing period (x)	没有发芽 No sprouting	$y = 0.074x + 1.9933; R^2 = 0.82$
	基径(y)与生长时间(x) Diameter (y) and growing period (x)	没有发芽 No sprouting	$y = 0.0103x + 0.1828; R^2 = 0.96$
豚草 Ragweed	叶大小(y)与生长时间(x) Leaf size (y) and growing period (x)	$y = -0.5859x + 27.33; R^2 = 0.78$	$y = 0.4114x + 27.68; R^2 = 0.84$
	株高(y)与生长时间(x) Height (y) and growing period (x)	$y = 0.36x + 18.917; R^2 = 0.95$	$y = 0.5306x + 29.214; R^2 = 0.96$
	基径(y)与生长时间(x) Diameter (y) and growing period (x)	$y = 0.002x + 0.39; R^2 = 0.80$	$y = 0.0026x + 0.441; R^2 = 0.91$
长春花 Vinca	叶大小(y)与生长时间(x) Leaf size (y) and growing period (x)	$y = 0.0157x + 8.9124; R^2 = 0.48$	$y = 0.0814x + 4.3662; R^2 = 0.98$
	株高(y)与生长时间(x) Height (y) and growing period (x)	$y = 0.1039x + 5.5399; R^2 = 0.91$	$y = 0.1417x + 8.4376; R^2 = 0.79$

2.2 施加降盐碱剂种植萝卜后土壤盐碱动态变化及对植物生长的影响

施加降盐碱剂种植萝卜后土壤的盐碱动态的结果显示(图 2):改良后各参数都有一定程度下降,而且都是在第一周降到最低,之后多回升,不过都明显低于对照未改良盐碱土($p < 0.05$)。含盐量平均降低 0.25%, pH 值表层平均降低 1.12。不足的是,改良土深层土壤在实验末期的含盐量已达到 0.56%, pH 值最高值已升到 9.39,说明改良功能较差,效果还有待于提高。整体来看,表层土改良效果好于深层土,含盐量数值在 0.02% ~ 0.2% 之间;平均值表土为 0.13%, pH 值达到 8.2,均远低于对照;15cm 和 30cm 效果稍次之,但也都明显低于对照($p < 0.05$)。

对植物的株高、叶面积和基径的生长速率进行分析表明(表 1):盐碱土对照没有发芽,而在改良土壤中生长的有着明显的生长趋势,其中叶片分为前期生长和后期逐渐萎缩死亡的趋势,生长速率(即拟合直线的斜率)分别为 $0.1479 \text{ cm}^2 \text{ d}^{-1}$ 和 $-0.1333 \text{ cm}^2 \text{ d}^{-1}$;株高和基径又都有一定程度的增长,生长速率分别是: 0.074 cm d^{-1} 和 0.013 cm d^{-1} ,能一定程度地说明改良效果。

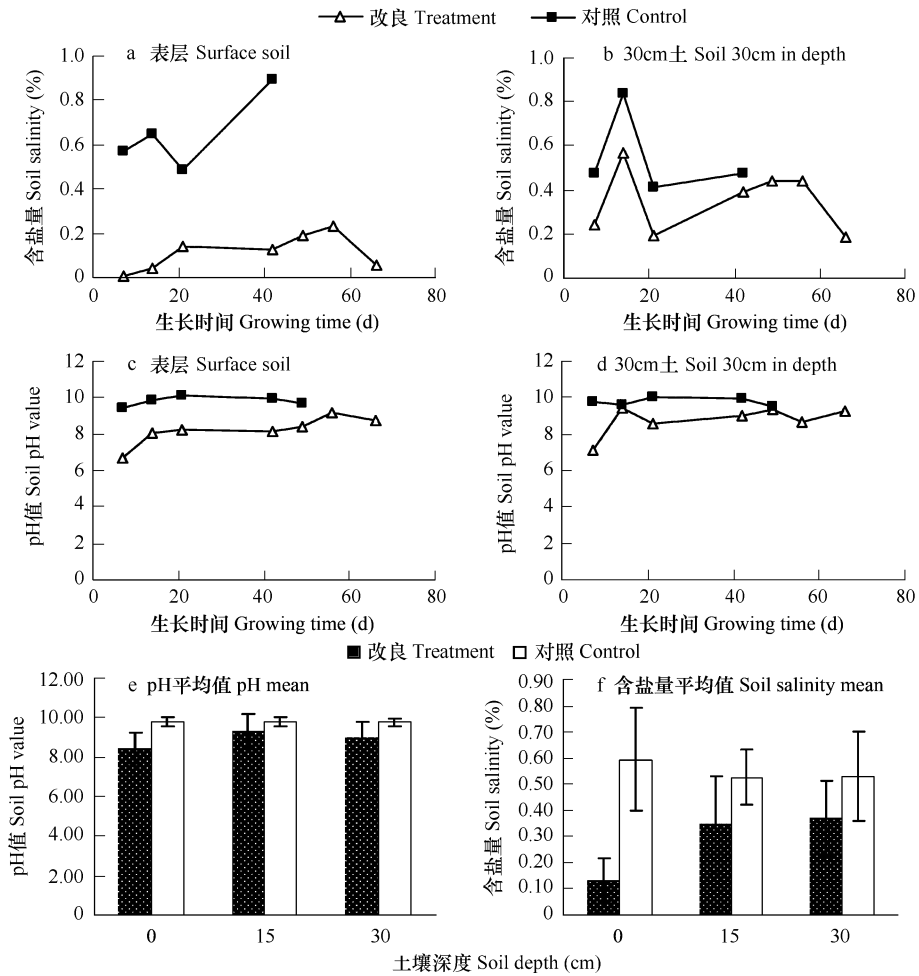


图2 施加降盐碱剂种植萝卜后土壤盐碱动态变化

Fig. 2 Agent-addition influences on the dynamics of soil pH and salinity during radish cultivation

2.3 施加不同降盐碱剂、成膜剂种植菠菜后土壤盐碱动态及植物生长差异

对施加聚马来酸酐和聚丙烯酸改良后土壤的盐碱动态和每种深度土的平均盐碱含量分别作图发现(图3):2种改良方法实施后,土壤含盐量变化趋势相似,在20d到30d之间微有上升,之后又明显下降,而且始终低于对照($p < 0.05$)。从整体改良效果看,施加聚马来酸酐和聚丙烯酸的表层土含盐量平均降低了0.39%和0.37%,pH值平均降低了1.3和1.0;30cm层土的含盐量降低了0.22%和0.20%,pH值降低了1.12和0.53,聚马来酸酐略好于聚丙烯酸,但是差异并没有达到显著性水平($p > 0.05$),同时也可以看出表层土的改良效果都优于深层土。

对菠菜的株高的分析发现(表2):菠菜在对照土壤没有发芽,而在加入2种降盐碱剂盐碱土显著发芽,并且有一定程度生长,生长速率分别为聚马来酸酐 0.09 cm d^{-1} ;聚丙烯酸 0.072 cm d^{-1} ,说明两种降盐碱剂均对盐碱土有改良作用,而以聚马来酸酐的效果更好。

表2 施加降盐碱剂对菠菜生长的影响

Table 2 Agent-addition influences on the growth of spinach seedlings

降盐碱剂种类 Agents	对照 Control	株高(y)与生长时间(x) Height and growing period
聚马来酸酐 HPMA	没有发芽 No sprouting	$y = 0.09x + 0.055$; $R^2 = 0.77$
聚丙烯酸 PAA	没有发芽 No sprouting	$y = 0.0729x + 0.0315$; $R^2 = 0.81$

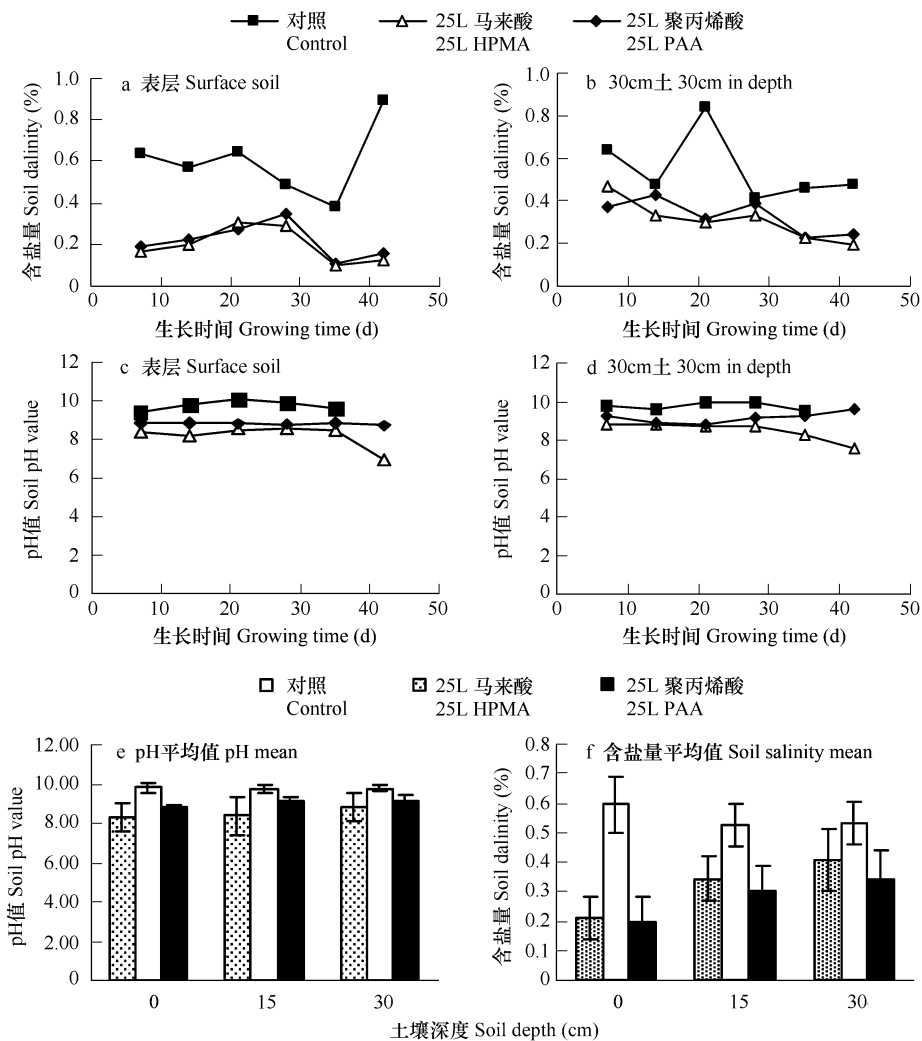


图3 施加聚马来酸酐、聚丙烯酸降盐碱剂种植菠菜后土壤盐碱动态分析

Fig. 3 Agent-addition(HPMA and PAA) influences on the dynamics of soil pH and salinity during spinach cultivation

从理论上讲,表土成膜剂能够有效防止水分蒸发,减小土壤表层的返盐现象,从而是表层和深层的土壤的含盐量较稳定。实际情况如图4所示,施加成膜剂的表层土的含盐量低于未施加土壤,而深层则高于未施加的土壤,这符合上述理论值。从平均值来看,无膜和有膜的处理表层土的含盐量平均降低了0.39%和0.4%,pH值平均降低1.6和1.3;30cm层土含盐量降低0.22%和0.17%,pH值平均降低1.1和0.8,表层土的改良效果都优于深层土,但是统计分析发现,施加表土成膜剂的影响长期来看,并没有达到显著水平($p > 0.05$)。这些参数都说明改良后的土壤已经能满足植物的生长下限,即含盐量 $< 0.2\%$,pH值 < 8.5 。

2.4 施加降盐碱剂移栽豚草后土壤盐碱动态变化及对植物生长的影响

由图5可以看出,改良后pH值变化趋势为大幅上升后趋向稳定,从总体上看,改良后pH值低于对照($p < 0.05$);含盐量也是经过一段时间降低后有所升高,但改良后均明显低于对照($p < 0.05$)。对多次测定的结果取平均值发现,表层土改良的pH值与对照平均相差1.7左右,深层土较对照低1.1左右;表层土的含盐量低于对照0.35%左右,深层低于对照0.2%左右,可见降盐碱剂的施用有效地降低了盐碱度。

盐碱土改良对移栽豚草的生长产生积极影响(表1)。对照的叶片明显有减小的趋势,即呈现了负增长,萎谢减小速率为 $0.5859 \text{ cm}^2 \text{ d}^{-1}$,而改良土中生长的则有明显增长,生长速率为 $0.4114 \text{ cm}^2 \text{ d}^{-1}$ 。在基径和株高方面,虽然在改良土和对照土中豚草都能生长,不过可以看出在改良土中的生长速率是明显高于对照土的相关指标30%~47%。

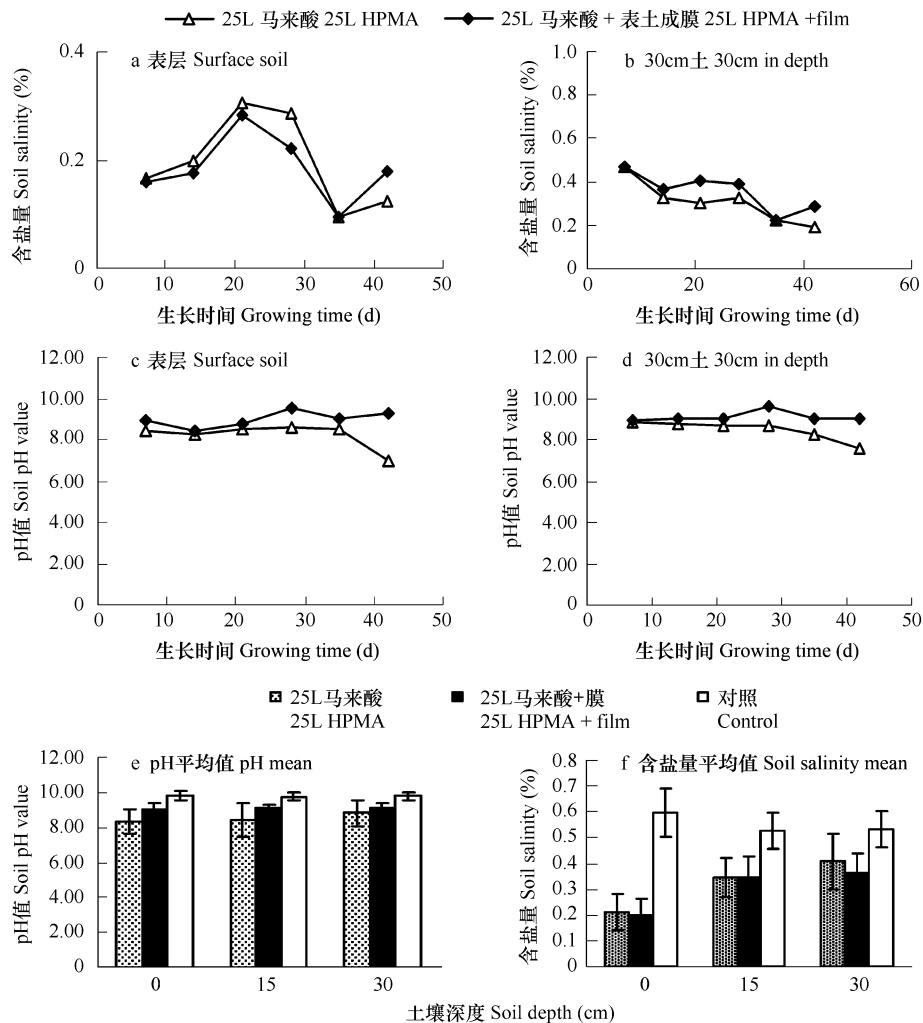


图4 施加表土成膜剂种植菠菜后土壤盐碱动态分析

Fig. 4 Film-forming agents addition influences on the dynamics of soil pH and salinity during spinach cultivation

2.5 施加降盐碱剂后种植栽培长春花后土壤盐碱动态变化及植物生长状况分析

由图6可以看出改良后的土壤,无论是表层和30cm层的土壤含盐量和pH值均比对照低($p < 0.05$)。3个深度土壤的含盐量平均绝对下降0.3%左右;表层土壤pH值平均由10降到8,而30cm深土壤pH值平均由10降到9。而且40d以后不同深度土壤的pH值都达到了一个较平稳的值。在3种深度分别的平均值方面,pH值都降到了8.5以下,含盐量都降到了0.2%左右。

由表1中长春花的数据可以看出,改良土中长春花的株高分别为 0.1417 cm d^{-1} ,明显高于对照土中的 0.1039 cm d^{-1} ;同样,改良土中的叶面积生长速率也高于对照,说明改良后的土壤已经可以使长春花在该基质中生存。

2.6 综合分析

经过对土壤的几种改良后发现,在施加改良剂条件下,不同处理之间土壤盐碱动态变化十分相似,即整体的趋势基本相同,说明改良实验具有一定的重复性。而且种植几种植物的土壤盐碱动态变化范围分别都比较接近(图1~图6):白菜(含盐量0.02%~0.45%;pH值:7~8.5);萝卜(含盐量0.01%~0.55%;pH值6.5~8.5);菠菜(含盐量0.01%~0.4%;pH值6~8.5);豚草(含盐量0.1%~0.6%;pH值6.5~8.5);长春花(含盐量0.01%~0.35%;pH值6.5~8.5),所有的改良后的土壤在pH值和含盐量方面都明显低于对照。

在测量植物的生长状况时发现,不同的植物存在着一定的差异,以株高的生长状况为例:白菜在35d之后

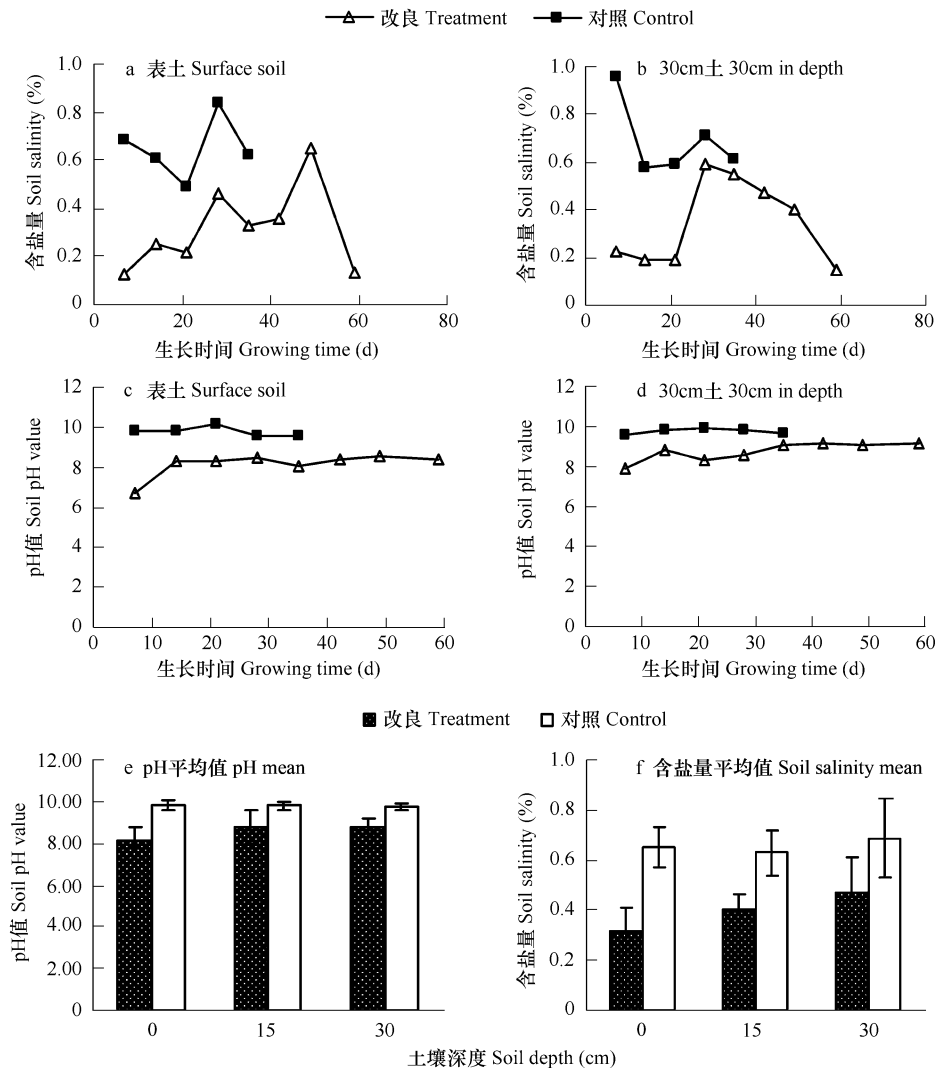


图5 施加降盐碱剂移栽豚草的土壤盐碱动态分析

Fig. 5 Agent-addition influences on the dynamics of soil pH and salinity during ragweed cultivation

株高出现了负增长,而其它4种并没有这种现象,所以,其它4种比白菜更能适应改良后的土壤。在生长速率方面:豚草>长春花>萝卜>菠菜>白菜。因为豚草和长春花为移栽苗,其本身存在较多的储存能量,使其更能适应改良的土壤。

3种蔬菜根际土与远根土存在同样的情况(图7):pH值方面,萝卜远根高于根际0.07、白菜高0.13、菠菜基本持平;而含盐量方面,菠菜的远根土高于根际土壤的1.6倍、白菜高于2.6倍、萝卜高出3.1倍。pH值是影响根养分有效性的因素,某些营养元素如磷、锌、铜、铁、锰等的有效性随土壤pH值的下降而增降^[8,9]。植物根系活动如分泌有机酸等过程都可提高土壤酸度,增加根际土壤的有效性^[10,11]。这些结果说明,种植植物能进一步促进盐碱土的改良。

3 结论

利用聚马来酸酐和聚丙烯酸加以土壤空隙改良剂进行盐碱土改良的方法具有较好的效果,能有效降低了盐碱土的含盐量和pH值,两种降盐碱剂效果比较而言:聚马来酸酐好于聚丙烯酸;表土成膜剂能发挥一定的作用,即能够有效阻止盐分向上运动,使表土层的含盐量低于深层的含盐量;不同深度改良效果比较而言,表层土优于深层土;几种草本植物能在改良后的土壤中萌发、生长,而且能够进一步改良土壤,但是有些植物只能生长数周就存在萎蔫死亡现象,说明改良剂的持续性尚需提高。

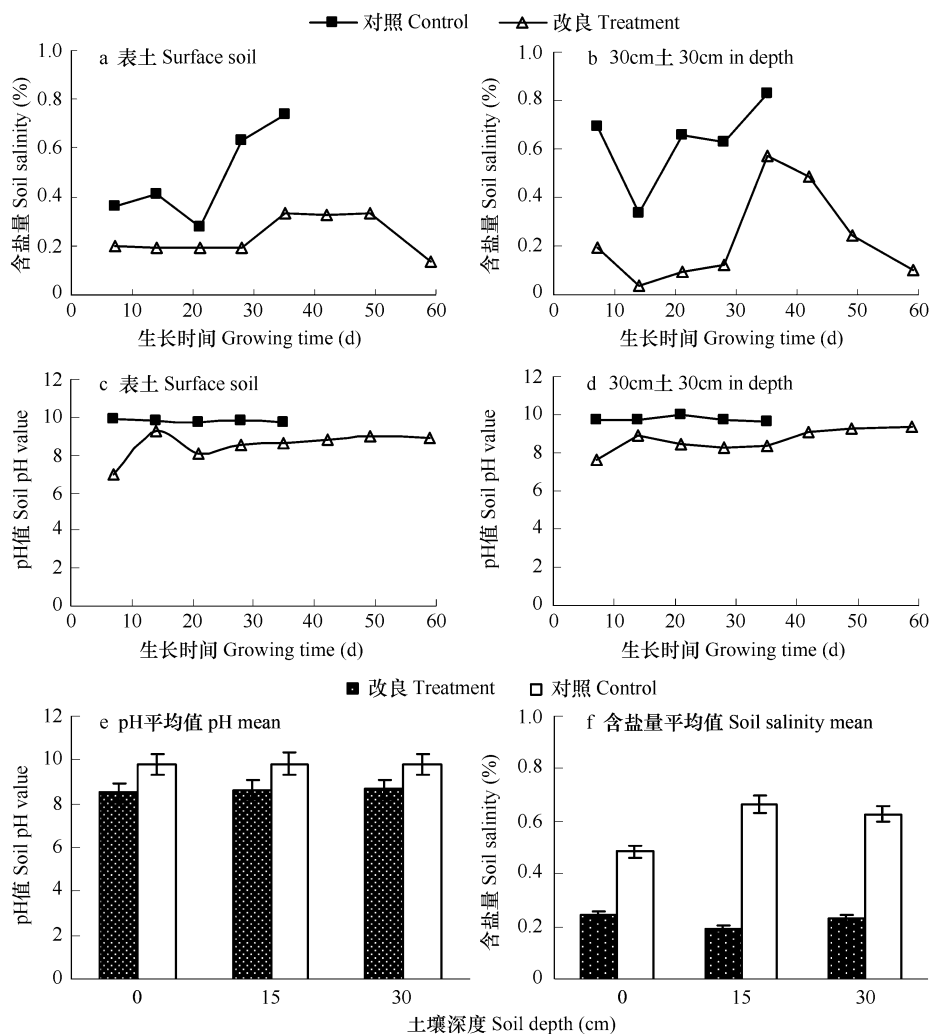


图6 施加降盐碱剂移栽长春花的土壤盐碱动态分析

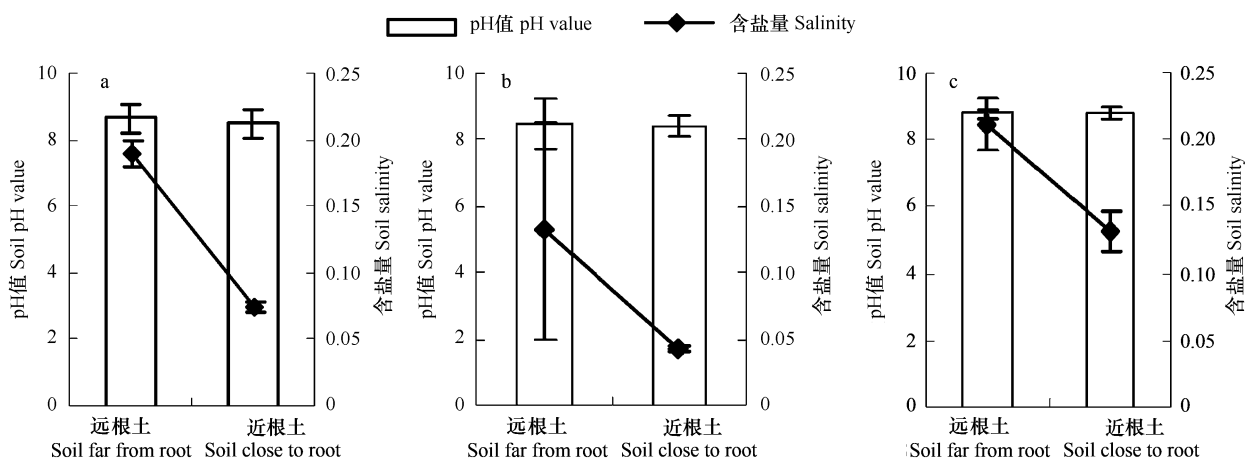
Fig. 6 Agent-addition influences on the dynamics of soil alkali-salinity of plots growing *Catharanthus roseus*

图7 施加降盐碱剂后各种植物的根部土壤与远根土壤的盐碱差异

Fig. 7 Agent-addition influences on the pH and salinity of soil close to and far from roots of plants

a: 白菜 cabbage, b: 萝卜 radish, c: 菠菜 spinach

References:

- [1] Qiu S W, Sun Q S. Saline-alkali soil and sand in Songnen Plain the comprehensive agricultural development study. Beijing: Science Press, 1997. 1—8.
- [2] Yu R P, Chen D M. China saline soil resources development and utilization. Chinese Journal of Soil Science, 1999, 30(4): 158—159.
- [3] Wang C Y, Wang R Y, Zhang S J, *et al.* Northeast soda saline soil and the nature of improvement. Chinese Journal of Soil Science, 1987, 18(20): 57—59.
- [4] Kazanskii K S, *et al.* Predicting key polymer properties to reduce erosion in irrigated soil. Adv Polym Sci, 1992, 104:97—133.
- [5] Long M J, Zeng F S. Review on the study of polymer soil amendments. Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(5): 199—202.
- [6] Sarkar A N, Wynjones R G. Effect of rhizosphere pH on the availability and uptake of Fe, Mn and Zn. Plant and Soil, 1982, 66: 361—372.
- [7] He H S, Wang W J, Zhu H, *et al.* Influences on the seed germination and growth of cabbage with addition of kriliams in saline-alkali soil. Acta Ecologica Sinica, 2007, 28(11): 5338—5346.
- [8] Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000. 152—199.
- [9] Wang C N, Gong W G. Advances in the research of saline and alkali soil improvement. Protection Forest Science and Technology, 2004, 62(5): 38—41.
- [10] Marschner H. Mineral nutrition in higher plants. London: Academic Press, 1986.
- [11] Roemheld V, Marschner H. Plant induced pH changes in the rhizosphere of Fe - inefficient soybean and corn cultivars. Plant Nutrition, 1986, 7: 623—630.

参考文献:

- [1] 裘善文, 孙酉石. 松嫩平原盐碱地与风沙地农业综合发展研究. 北京: 科学出版社, 1997. 1~8.
- [2] 俞仁培, 陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用. 土壤通报, 1999, 30(4): 158~159.
- [3] 王春裕, 王汝镛, 张素君, 等. 东北苏打盐渍土的性质与改良. 土壤通报, 1987, 18(20): 57~59.
- [5] 龙明杰, 曾繁森. 高聚物土壤改良剂的研究进展. 土壤通报, 2000, 31(5): 199~202.
- [7] 贺海升, 王文杰, 朱虹, 等. 盐碱地土壤改良剂施用对种子萌发和生长的影响. 生态学报, 2008, 28(11): 5338~5346.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000. 152~199.
- [9] 王春娜, 宫伟光. 盐碱地改良的研究进展. 防护林科技, 2004, 62(5): 38~41.