

施加改良剂对重度盐碱地盐碱动态及杨树生长的影响

王文杰¹, 贺海升^{1,2}, 祖元刚^{1,*}, 赵修华¹, 杨磊¹, 关宇¹, 许慧男¹, 于兴洋¹

(1. 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; 2. 沈阳师范大学, 沈阳 110034)

摘要: 如何控制盐碱地继续朝向重度盐碱地发展并恢复森林等植被生态系统是国家科技攻关重点方向, 也是内陆碳酸钠型盐碱地改良研究的一个重点, 以聚马来酸酐 (HPMA) 和聚丙烯酸 (PAA) 两种高分子聚合物配合木焦油、木醋液等为降、阻盐碱剂, 对重度盐碱地进行改良, 以杨树生长情况以及不同层盐碱动态为指标判断其对重度盐碱地的改良效果。结果表明, (1) HPMA 与 PAA 的比较, 土壤改良剂聚马来酸酐 (HPMA) 在阻盐剂 (木醋液 + 木焦油 + 少量 PAA 与碱土形成的阻隔盐碱向表层运输的阻盐碱层) 阻隔下, 使盐碱地 pH 与盐分明显下降 (与对照相比 pH 下降 0.93、盐分下降 0.78%), 杨树生长速率较高 (株高生长速度是对照生长速度的 2.41 倍、基茎长速度是对照生长速度的 2.36 倍), 改良效果显著。土壤改良剂聚丙烯酸 (PAA) 与碱土混合在阻盐剂阻隔下, pH 与盐分变化较小 (与对照相比 pH 下降 0.23、盐分下降 0.63%), 杨树生长速率缓慢 (株高生长速度是对照生长速度的 1.43 倍、基茎长速度是对照生长速度的 1.07 倍), 较聚马来酸酐处理稍差。(2) 加覆膜剂与不加覆膜剂对比发现, 加覆膜剂后土壤表层 pH 值降至 8.87, 而其他土层 pH 值无明显变化, 覆膜剂对盐碱的作用主要体现在土壤深层与浅层之间的盐碱动态, 对深层盐分没有明显抑制作用。(3) 通过对不同改良方法根际土与远根土对比发现, 经 HPMA 和 PAA 处理后根际土壤盐分和 pH 值均较远根土降低, 说明种植杨树能够强化改良剂的效果。

关键词: 重度碳酸钠型盐碱地; HPMA 和 PAA 土壤改良剂; 盐碱地改良; 杨树

文章编号: 1000-0933 (2009) 05-2272-07 中图分类号: Q142, Q948, S718.5 文献标识码: A

Dynamics of soil alkali-salinity and growth of poplar saplings after kriliium-addition in heavy soda saline-alkali soil in field

WANG Wen-Jie¹, HE Hai-Sheng^{1,2}, ZU Yuan-Gang^{1,*}, ZHAO Xiu-Hua¹, YANG Lei¹, GUAN Yu¹, XU Hui-Nan¹, YU Xing-Yang¹

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

2 Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2272 ~ 2278.

Abstract: How to control the exacerbation saline-alkali soil and recover to forest vegetation has been recognized as an important project of national science and technology supporting program of China, which is also a key issue of the soda alkali land rehabilitation. By using kriliium of HPMA and PAA, as well as wood tar and vinegar as alkali-depressing and alkali-preventing agents, soil improvement experiments at heavy soda saline-alkali soil were carried out, and growth of planted poplar seedlings and the dynamic of soil pH and salt content were also monitored. We found following conclusions. Firstly, both addition of HMPA and PAA could improve the saline-alkali soil, and HPMA was better than PAA. HPMA addition together with the alkali-preventing agent (wood vinegar + wood tar + PAA spraying at soda alkali soil, then forming a compact layer to prevent salt and alkali movement from deep layer to surface layer) made soil pH and soil salt content sharply decreased 0.93 and 0.78%, respectively, and the height and diameter growth rates of poplar sapling were 2.41 times and 2.36 times higher than those at control. Comparing to the effect of HPMA, PAA addition made a 0.23 decrease in pH and 0.63% in soil salt content, and height and diameter growth rate of planted poplar were 1.43 and 1.07 times

基金项目: 国家十一五科技支撑计划资助项目 (2006BAD03A0306)

收稿日期: 2008-01-08; 修订日期: 2008-12-03

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

higher than those at control; Secondly, addition of film-topsoil agent could decrease the pH of surface soil to 8.87, but no changes found in other deep layers. The film-topsoil agent addition could change the exchange of salt between surface layer and deep layer of soil; thirdly, data of rhizosphere soil and non-rhizosphere soil indicates that the growth of poplar saplings could decrease soil salinity and pH value, and strengthen the effect of krilium (HPMA and PAA) addition.

Key Words: heavy soda saline-alkali soil; krilium of HPMA and PAA; Soil amelioration; poplar sapling

松嫩平原盐渍土分布十分广泛,是我国苏打盐渍化土壤的最大分布区,其地处半湿润半干旱区,具有广泛的闭流区和矿化度很高的无尾河,年降水量约 450mm^[1],达到了森林分布区的最低水平 400mm,但是由于盐碱化严重,目前仅在部分盐碱较轻的地区种植了杨树等本地树种,并形成森林景观,对当地的生态系统起到重要的生态保护功能。如何在占据 40% 以上的重度盐碱地进行造林已经纳入国家科技支撑计划的科技攻关范畴,目的在于研究出适合内陆盐碱地造林的新技术体系,尽快恢复森林的生态功能。目前,盐碱地改良仍是一个复杂的工程,国内外盐碱地治理技术研究很多^[2~8],内陆盐碱地区采取排水沟排盐,导致污染下游水源,造成下游土地次生盐渍化;生物改良措施中,只注重大面积种草,尚缺乏森林生态保护等功能。综合来看,各项措施多注重单一的技术运用,尚缺乏结合当地实际资源情况、传统方法和新型土壤改良剂相结合的成果。杨树木焦油和木醋液是我国松嫩盐碱地在杨树木炭生产过程中的废弃物,含有较高的有机酸和植物生长调节剂,直接施用降低重度盐碱地的 pH,有益于土壤改良。聚有机酸如聚马来酸酐(HPMA)和聚丙烯酸(PAA)具有阻垢和分散效果,常用于水垢处理,已有报道对使用这类阻垢分散剂能够有效改良土壤性质。农林废弃物等具有高有机质含量的物质施加在盐碱地中,能够增加肥力和改良土壤结构。鉴于此,本文将传统改良方法改土增肥、取沙压碱、种植树木盐碱地绿化为主要改良措施,与土壤改良剂(木醋液和木焦油以及聚有机酸 HPMA、PAA)相结合改良盐碱地,通过对不同深度盐碱动态、以及种植的本地树种杨树的生长状况来探讨适宜当地重度盐碱地营造杨树林的可行方法。

1 试验地自然概况

试验地设在黑龙江省大庆市大同区双榆树乡(E124°29', N45°59'),地处松嫩平原中部,年平均气温 2 ~ 6℃,年平均降雨量 300 ~ 600mm,年平均水面蒸发量 1200 ~ 1800mm,地下水埋藏一般较浅,约 1.5 ~ 2.5m。盐碱地面积 10537hm²,其中大部分为重度盐碱地。当地植被主要以柽柳和小青 × 黑杨,银中杨、防风、羊草等为主。

2 改良措施及试验方法

2.1 盐碱土改良措施

在实验样地分别挖深 80cm,长、宽 1m 的树穴,在树穴中按以下 3 种方法进行土壤混合回填,移栽荷兰杨幼苗,以裸地移栽荷兰杨为对照。其中方法 1 与方法 2 先用阻盐碱剂对样方四周和底部进行喷施,将取出盐碱土比例进行混和回填。方法 3 则采用回填改良土后覆膜剂表层喷涂。

降盐碱剂:聚马来酸酐(HPMA,浓度 50%)、聚丙烯酸(PAA,浓度 40%)用量为 25L/m³。

阻盐剂:65 份聚丙烯酸 + 20 份木焦油 + 15 份木醋液混合,主要用于喷施于树穴的底部和周围,与盐碱土形成厚约 5cm 的透性差、不返盐的阻盐碱层。

覆膜剂:65 份聚丙烯酸 + 35 份木醋液混合,主要用于喷洒于杨树树穴回填土的表面,使表面形成厚约 5cm 的透性差的土壤膜,阻止土壤深层盐分的上移。

方法 1:降盐碱剂(聚马来酸酐) + 阻盐剂。

方法 2:降盐碱剂(聚丙烯酸) + 阻盐剂。

方法 3:降盐碱剂(聚丙烯酸) + 覆膜剂。

2.2 试验方法

试验从 2006 年 7 月 23 日起到 2006 年 9 月 14 日为止,土壤指标及生长指标每周测定 1 次。土壤盐碱测

量采用 pH 计 (Sartorius PB-10) 和电导率仪 (雷磁 DDS-307) 利用电位法水土比 5:1 测定, 取土深度分别为表层 0cm, 30cm, 60cm 土壤, 每个样地至少采集 3 个重复进行测定。利用不同浓度 Na_2CO_3 含量与电导率关系绘制标准曲线 ($y = (x - 0.0868) \times 0.36$, y 代表盐百分含量; x 代表电导率), 杨树生物量测量采用千分尺和直尺测量基茎、叶片大小、株高、地下根长作为生长指标。其中杨树生长量测定 (树高和基径) 每个星期测定 1 次, 每次定株测定 4~5 株。在生长季末, 对种植杨树进行收割处理, 测定基茎、叶片大小、株高、地下根长, 重复 4~5 株, 同时收集根际土和非根际土进行 pH 值和电导率测定, 判断杨树栽植对环境的进一步改善功能。

2.3 数据处理方法

利用 3 种不同方法处理不同土层的土壤盐分、pH 值与监测时间绘制盐碱动态变化 (图 1), 同时将不同方法处理不同土层的盐分与 pH 值取平均绘制盐碱动态变化曲线 (图 2), 分析不同处理方法对盐碱动态变化的影响。将 0cm, 30cm, 60cm 土层盐分、pH 值通过统计分析软件 Spss 13.0 进行多重比较分析 (表 1), 比较不同处理方法对不同土层盐碱变化的影响。通过对基茎、叶片大小、株高、地下根长测量对比不同改良方法对植物生物量的影响 (图 3), 同时使用对数方程拟合株高、基茎与生长天数的关系, 其中斜率代表生长速率如 (图 4)。

3 实验结果与分析

3.1 不同改良方法对盐碱动态变化的影响

通过对不同改良方法盐碱动态变化监测 (图 1) 可以看出随着时间变化 pH 值变化平稳, 差异不显著; 而盐分随时间的变化呈波动性变化, 并且差异显著。将各土层 pH 与盐分取平均可以看出 (图 2), 改良方法 1 处

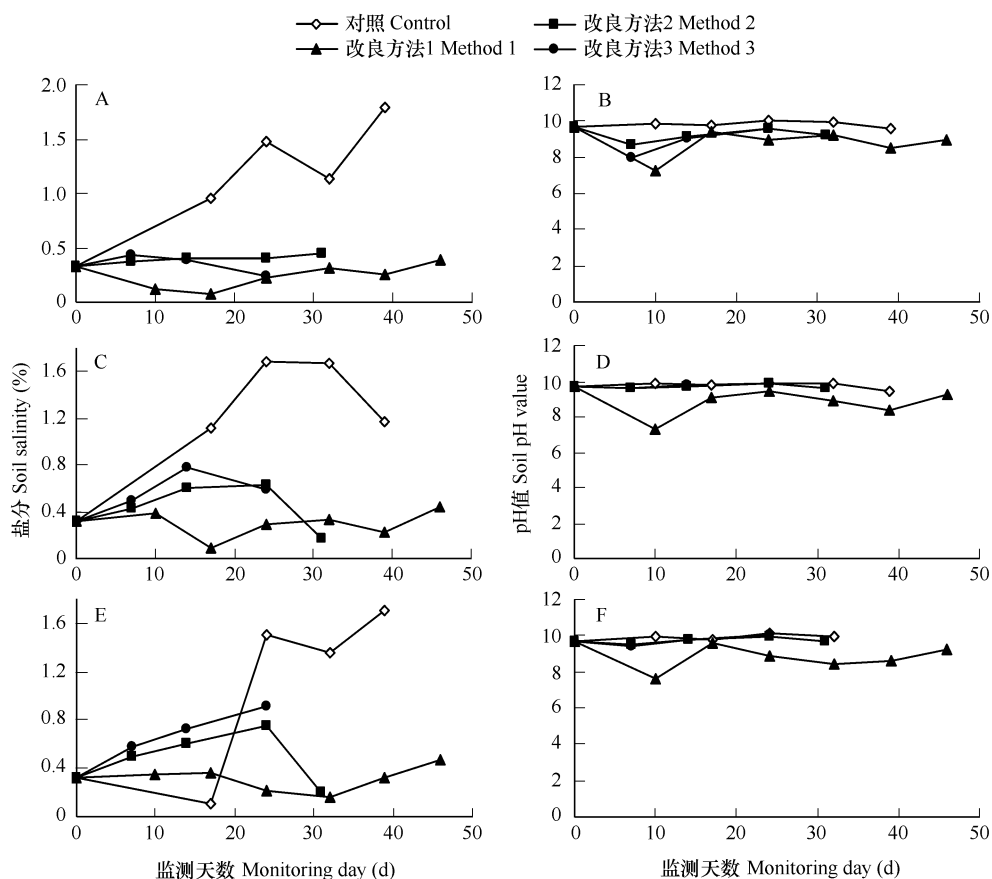


图 1 不同改良方法对不同土层盐碱动态变化的影响

Fig. 1 Soil alkali-salinity dynamics after treatment by different methods

A: 0cm 土层盐分, B: 0cm 土层 pH 值, C: 30cm 土层盐分, D: 30cm 土层 pH 值, E: 60cm 土层盐分, F: 60cm 土层 pH 值 A: 0cm surface soil salinity, B: 0cm surface soil pH value, C: 30cm soil salinity, D: 30cm soil pH value, E: 60cm soil salinity, F: 60cm soil pH value

理土壤 pH 值与对照相比平均下降了 0.93,改良方法 2 与改良方法 3 处理土壤 pH 值分别比对照低 0.23、0.27 (图 2)。对照平均盐分随时间变化呈上升趋势,可能由于深翻后没有铺设阻盐层,进而使深层土壤随地表蒸发造成反盐,而使盐分增高,改良方法 2 与改良方法 3 盐分变化也有上升趋势,但较对照缓慢,改良方法 1 盐分变化平缓。从三者结果来看,改良方法 1 盐分与对照对比平均下降了 0.78%,改良方法 2 与改良方法 3 分别比对照平均降低了 0.63%、0.56%。由图 2 整体可以看出随时间变化,pH 值变化不明显,而盐分随时间变化波动较大,但经过改良处理的 pH 与盐分均比对照低,说明改良起到了一定的效果。

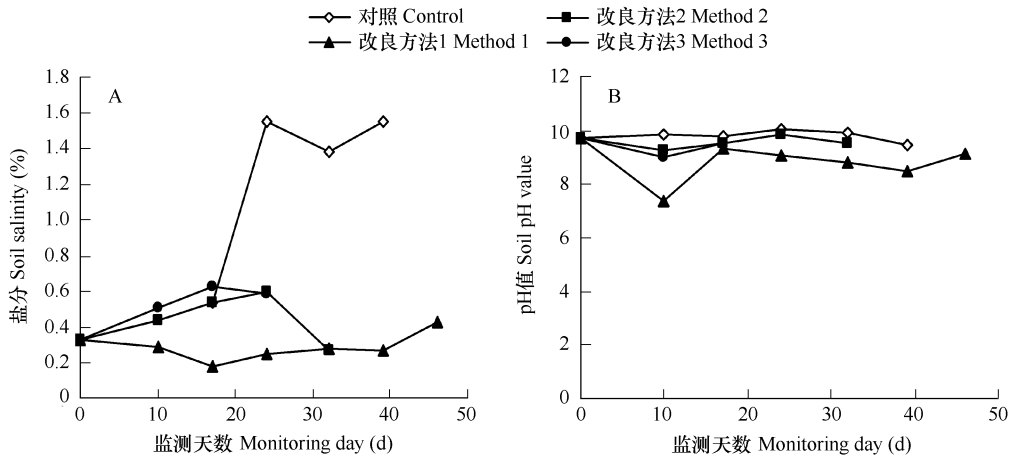


图 2 不同改良方法对盐碱动态平均值的影响
Fig. 2 Mean value of soil alkali-salinity after treatment by different methods
A: 土壤盐分平均值 Mean value of soil salinity, B: 土壤 pH 平均值 Mean value of soil pH value

表 1 不同土层下不同改良方法对 pH 和盐分的影响差异

Table 1 Differences in pH and soil salinity after treated by different ameliorating method			
土壤层和处理方法 Soil layer and treated method		pH 值 pH value	盐分 Salinity(%)
表层 Surfacerlayer(0cm)	改良方法 1 method 1	8.70(0.75) a	0.23(0.09) a
	改良方法 2 method 2	9.16(0.36) ab	0.41(0.03) a
	改良方法 3 method 3	8.87(0.73) ab	0.35(0.11) a
	对照 Control	9.83(0.19) b	1.34(0.37) b
中层 Middle layer(30cm)	改良方法 1 method 1	8.71(0.77) a	0.33(0.12) a
	改良方法 2 method 2	9.70(0.14) b	0.46(0.21) a
	改良方法 3 method 3	9.77(0.13) b	0.62(0.16) a
	对照 Control	9.77(0.2) b	1.41(0.31) b
深层 Deep layer(60cm)	改良方法 1 method 1	8.72(0.67) a	0.31(0.12) a
	改良方法 2 method 2	9.71(0.21) b	0.52(0.23) ab
	改良方法 3 method 3	9.74(0.27) b	0.74(0.17) ab
	对照 Control	9.83(0.24) b	1.52(0.17) b

括号内为标准误;纵列相同字母代表差异不显著($p > 0.05$),不同字母代表差异显著($p < 0.05$) Data in parenthesis are the standard error of the mean value; Different letters in the longitudinal row indicate the difference between the two treatment is significant ($p < 0.05$), or else the difference is not significant ($p > 0.05$)

不同土层 pH 值对比(表 1)可以发现,只有改良方法 1 的 pH 值与对照 pH 值差异显著($p > 0.05$);0 ~ 30cm 土层不同改良方法盐分均低于对照并达到显著差异($p > 0.05$),超过 60cm 土层下只有改良方法 1 盐分与对照盐分达到显著差异。即通过改良方法 1 与改良方法 2 对比,聚马来酸酐对 pH、盐分抑制作用明显。造成以上结果主要原因可能是:由于一方面土壤改良剂聚马来酸酐本身呈酸性,同时改善土壤结构,加速洗盐排碱过程;另一方面改变吸收性盐基成分,增加盐基代换容量,调节土壤酸碱度^[9]。表 1 所示,各土层间盐分

随深度增加盐分有上升趋势。实验中采用表土覆膜剂,理论上讲可以切断毛管上升水,防止土壤水分丢失,抑制土壤返盐,但改良方法 2 与采用土壤覆膜剂的改良方法 3 相比,改良效果不明显。从结果可以看出,改良方法 3 仅表层土壤 pH 值降至 8.87,而其他土层 pH 值无明显变化,并均未达到显著差异。而且土层深度增加盐分含量也呈现上升趋势(0cm 盐分为 0.35%,30cm 土层盐分为 0.62%,60cm 土层为 0.74%),只对表层土层盐分降低有影响,没有控制深层土层盐分的增加。这些结果说明聚丙烯酸在改良的持久性和有效性方面低于聚马来酸酐,其原因可能是由于聚丙烯酸在耕作、光照、机械等作用过程中降解较快^[10]。

3.2 不同改良方法对植物生长状况的影响

通过对移栽杨树生长状态测量发现改良方法 2 与改良方法 3 种植杨树无明显差异,因此图 3 和图 4 讨论中有关改良方法 3 中杨树各指标省略。从图 3 可以看出(以改良方法 1 与改良方法 2 为例),改良方法 1 株高比对照高出 28.11cm,比改良方法 2 高出 25.68cm;基茎比对照高出 0.34cm,比改良方法 2 高出 0.38cm。在叶片大小与地下根长改良方法 1 略小于改良方法 2,但均高与对照。

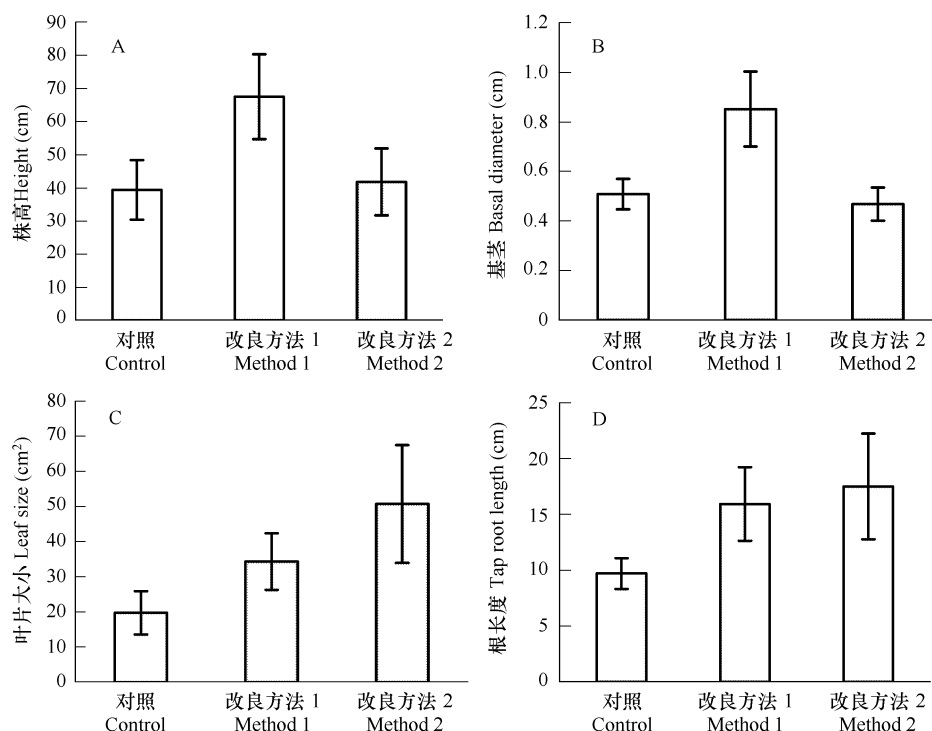


图 3 不同改良方法对植物生长状况的影响

Fig. 3 Influences on the poplar growth after treated by different methods

A: 株高 height, B: 基茎 basal diameter, C: 叶片大小 leaf size, D: 主根长度 tap root length

对株高与基茎随时间观测拟合生长方程(图 4),在株高方面,改良方法 1 生长方程为 $y = 18.886\ln(x) + 4.7511$ ($R^2 = 0.9571$),改良方法 2 生长方程为 $y = 11.24\ln(x) + 11.638$ ($R^2 = 0.9634$),对照为 $y = 7.8364\ln(x) + 13.324$ ($R^2 = 0.8868$);在基茎方面,改良方法 1 生长方程为 $y = 0.1984\ln(x) + 0.1926$ ($R^2 = 0.9527$),改良方法 2 生长方程为 $y = 0.0901\ln(x) + 0.254$ ($R^2 = 0.89$),对照为 $y = 0.084\ln(x) + 0.2384$ ($R^2 = 0.962$)。上述方程中斜率的大小反映了杨树生长速率的大小。通过生长速率方程可以看出,改良方法 1 株高生长速率(18.886)是对照(7.8364)的 2.41 倍,改良方法 2 株高生长速率(11.24)是对照的 1.43 倍,改良方法 1 基茎生长速率(0.1948)是对照(0.084)的 2.36 倍,改良方法 2 基茎生长速率(0.0901)是对照的 1.07 倍。可见,经改良方法 1 处理后,改良效果显著,具有较高的生长速率。

经过改良方法 1 处理后移栽杨树生长速率较快,这与改良方法 1 处理的土壤具有较低的 pH 值和盐分相一致。改良方法 1 影响土壤的物理、化学和生物性质、改善土壤保水和保肥能力^[11]。在改善保水性能方面,

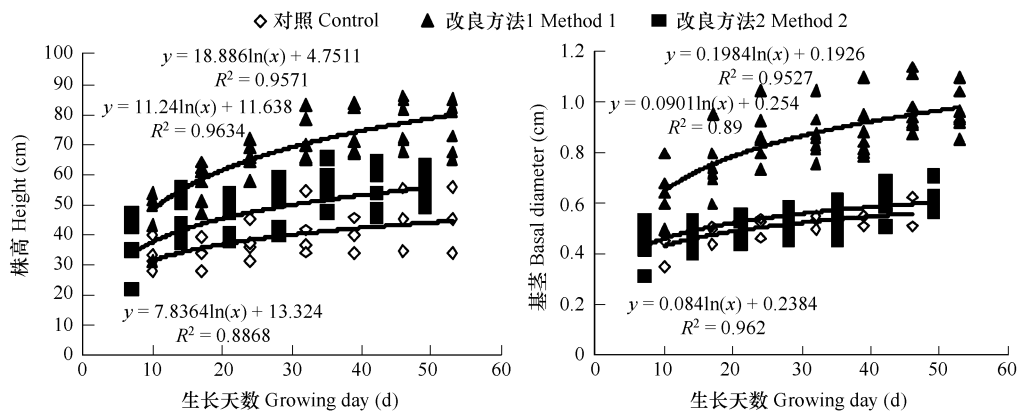


图4 不同改良方法对杨树株高(左)和基径(右)生长时间动态的影响

Fig. 4 Influences on the temporal-dynamics popular growth after treated by different methods

Left: height; Right: basal diameter

改善砂性土壤和粘土的不良结构性性质也很重要,它们能改变砂土的分散无结构状态和粘土的坚韧大块结构,使土壤的透水性、通透性、蓄水性和根系生长环境有所改善,改善土壤的有效持水量,使更多的水分为植物所利用。在保肥方面,因聚马来酸酐携带负电荷与粘土矿物一样具有吸附 K^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子使之免于流失,并在植物根系附近与 H^+ 离子交换后供植物利用^[11]。改良方法2以聚丙烯酸为降盐碱剂,聚丙烯酸在土壤中降解使得其降盐碱效果降低^[10],并导致植物生长速率缓慢。

3.3 种植植物对盐碱变化的影响

对不同改良方法处理后植物根际盐分与 pH 值比较(图5)可以发现,改良方法1根际土与远根土相比 pH 值降低 0.59,盐分降低 0.27%;改良方法2根际土与远根土相比 pH 值降低了 1.32,盐分降低 0.12%;对照根际土与远根土相比 pH 值降低 0.75,盐分降低 1.33%,可见,根际土壤盐分与 pH 值均小于远根土壤。可见,杨树的种植与生长,一方面可以反应改良效果显著,另一方面也对盐碱地改良进一步起到促进作用。其原因可能在于其根系分泌物中有机成分较多,促进碱性环境向酸性环境改变,另一方面,杨树的栽植能够破坏土壤毛管作用,通过抑制土壤蒸发达到控制土壤表层盐积碱^[12]。

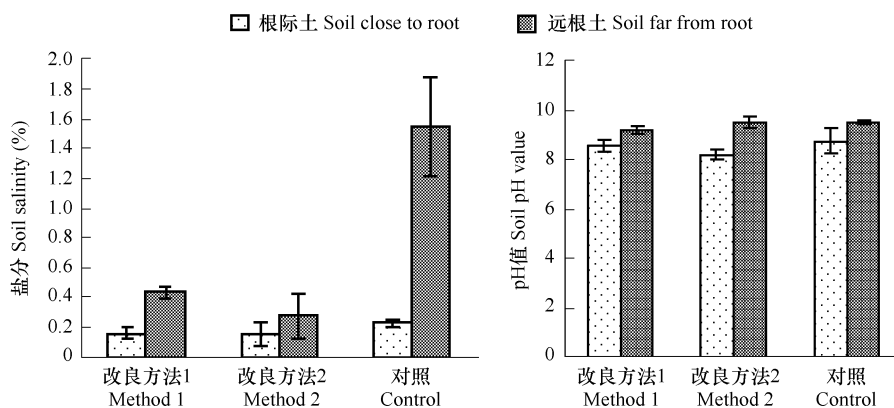


图5 不同改良方法处理后植物对根际土与远根土盐碱变化的影响

Fig. 5 Influences on the salinity (Left) and pH value (Right) of soil close to and far away from plant after treated by different methods

4 结论

(1) 经过3种改良方法处理的盐碱土盐分动态变化随时间呈波动性变化,而且差异明显,经过改良处理的盐碱土盐分明显低于对照,而 pH 变化平缓,无明显差异。整体可以看出,3种改良方法在降盐降碱方面有

所成效。通过 3 种改良方法比较可以看出,经改良方法 1(聚马来酸酐 + 阻盐剂)处理土壤后 pH 值比对照低 0.93,比改良方法 2(聚丙烯酸 + 阻盐层)低 0.7。比改良方法 3(聚丙烯酸 + 覆膜剂)低 0.66;改良后盐分比对照低 0.78%,比改良方法 2 低 0.15%。比改良方法 3 低 0.22%,即聚马来酸酐在降盐降碱有着明显效果。

(2)加覆膜剂与不加覆膜剂对比发现,其加覆膜剂后土壤表层 pH 值降至 8.87,而其他土层 pH 值无明显变化,随土层深度增加盐分含量呈现上升趋势,印证了盐分在土壤蒸腾作用下存在返盐现象。覆膜剂功能主要表现在土壤深层与浅层之间的盐碱动态,对深层盐分的增加无明显抑制作用。

(3)通过对杨树进行观测的结果可以看出,经过改良处理后杨树株高、基茎、叶片大小、地下根长、生长速率均高于对照杨树,不同改良方法比较可以看出,改良方法 1 在杨树生长状况方面均优于其他 2 种方法,说明改良方法 1 处理后所形成的较低的 pH 值和盐分,更适于杨树的生长。

(4)通过杨树根际土与远根土盐分与 pH 值对比,发现盐碱地在影响植物生长的过程中,植物自身也在改良盐碱地,不同改良方法处理下根际土壤 pH 值与含盐量均显著低于远根土壤。说明种植杨树能够强化改良剂的效果。

References:

- [1] Liu X T. Degeneration land remedy and the agriculture development in Songnen Plain. Beijing: Science Press, 2001. 60 — 135.
- [2] Xu K R, Bao D M. The study on effect of eliminate anion to amelioration of the saline and alkaline land. Gansu Agricultural Science and Technology, 1993, 4: 33 — 34.
- [3] Zhang R, Yan H J, Wei Y Q, *et al.* The effect of organic fertilizer in ameliorating Salinized soil. Soils and Fertilizers, 1997, 4: 11 — 14.
- [4] Guo J X, Jiang S C, Sun G. Comparative study on remedy ways of saline alkali grassland in Songnen Plain. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(4): 425 — 428.
- [5] Yan H J, Wei Y Q, Ma W P, *et al.* The impact on the effect of cultivate “thin fecund layer” to ameliorating Salinized soil. Soils and Fertilizers, 1992, 3: 5 — 8.
- [6] Wang J H, Yang Z H, Hu M G, *et al.* Research of the comprehensive technologies on transformation and utilization of saline land in arid areas. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(1): 64 — 66.
- [7] Shi W P, Yu R P, Miao C P, *et al.* The comparison on the effect of different material ameliorates alkali-affected soil. Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(2): 221 — 224.
- [8] Liu H J, Wang J H, Hu M G, *et al.* Mulching effect of *Pyrus* yard on saline soil in arid area. Journal of Desert Research, 1999, 19(4): 411 — 416.
- [9] Long M J, Zheng F S. Review on the study of polymer soil amendments. Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(5): 199 — 202.
- [10] Zhu Y L, Liu J, Wang Y Q. Summary of soil structure conditioners utilization. Journal of Soil Water Conservation, 2001, 15(6): 140 — 142.
- [11] Zhang Z G, Huang B J, Huang H P. Carbon cycle and soil amelioration in south China karst terrain: principles and review. Carsologica Sinica, 2002, 21(1): 7 — 13.
- [12] Yao R J, Yang J S, Liu G M. Characteristics and agro-biological management of saline-alkalized land in northeast China. Carsologica Sinica, 2006, 38(3): 256 — 262.

参考文献:

- [1] 刘兴土. 松嫩平原退化土地整治与农业发展. 北京: 科学出版社, 2001. 60 ~ 135.
- [2] 许克荣, 鲍德敏. 排阴离子对改良盐碱地的效果研究. 甘肃农业科技, 1993, 4: 33 ~ 34.
- [3] 张锐, 严慧峻, 魏由庆, 等. 有机肥在改良盐渍土中的作用. 土壤肥料, 1997, 4: 11 ~ 14.
- [4] 郭继勋, 姜世成, 孙刚. 松嫩平原盐碱化草地治理方法的比较研究. 应用生态学报, 1998, 9(4): 425 ~ 428.
- [5] 严慧峻, 魏由庆, 马卫萍, 等. 培育“淡化肥沃层”对盐渍土改良效果的影响. 土壤肥料, 1992, 3: 5 ~ 8.
- [6] 董振国, 鲁全国. 黄淮海盐碱土改良技术. 生态农业研究, 1999, 7(3): 46 ~ 49.
- [7] 石万普, 俞仁培, 苗春蓬, 等. 不同物料改良碱化土壤作用的比较. 土壤学报, 1997, 34(2): 221 ~ 224.
- [8] 刘虎俊, 王继和, 胡明贵, 等. 干旱区盐渍化土地梨园覆草效应研究. 中国沙漠, 1999, 19(4): 411 ~ 416.
- [9] 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.
- [10] 朱咏莉, 刘军, 王益权. 国内外土壤结构改良剂的研究利用综述. 水土保持学报, 2001, 15(6): 140 ~ 142.
- [11] 张之淦, 黄保健, 黄海澎. 碳循环与岩溶土壤改良——原理与综述. 中国岩溶, 2002, 21(1): 7 ~ 13.
- [12] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明. 东北地区盐碱土特征及其农业生物治理. 土壤, 2006, 38(3): 256 ~ 262.