

不同隔盐材料对滨海盐渍土水盐动态和树木生长的影响

王琳琳^{1,2}, 李素艳¹, 孙向阳¹, 张涛¹, 付颖¹

(1. 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2. 北京农学院 研究生处, 北京 102206)

摘要: [目的] 揭示不同隔盐材料对滨海盐渍土水盐动态和树木生长的影响, 为滨海地区盐渍土改良和沿海防护林营造等林业工程提供理论依据。[方法] 采用单因素方差分析及多重比较方法, 于 2010—2013 年在天津滨海重度盐碱地区的大田试验中, 开展了沸石、陶粒、蛭石和河沙 4 种隔盐材料对盐渍土 0—80 cm 土层水盐动态及 4 个树种(刺槐、国槐、香花槐和红叶臭椿)生长影响的研究。[结果] (1) 在树穴底部和侧壁铺设隔盐层可以明显降低土壤含盐量并显著增加土壤含水量。沸石处理(FS)能显著降低 0—80 cm 土体内盐分含量, 控盐效果明显优于其他处理。陶粒处理(TL)在 40—80 cm 土层有显著的降盐效果, 但其控盐效果比沸石差。蛭石处理(ZS)仅在 40—60 cm 土体内显著降低土壤含盐量。河沙处理(HS)中, 0—80 cm 土体内盐分含量虽低于对照, 但与对照之间无显著差异, 降盐效果最差; (2) 铺设隔盐层可显著降低土壤盐分离子含量, 其中对 Na^+ , Cl^- 和 SO_4^{2-} 这 3 种滨海盐碱地主要盐离子的去除效果排序为: $\text{FS} > \text{TL} > \text{ZS} > \text{HS}$; (3) 隔盐层材料能有效改善树种根区土壤物理性质, 提高各树种成活率和保存率, 并能明显促进植物生长, 其中沸石效果最佳。[结论] 可将沸石作为滨海地区 4 个树种造林时隔盐材料的最优选择。

关键词: 隔盐材料; 河沙; 水盐运移; 树木生长

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)04-0141-07

中图分类号: S156.4

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.028

Effects of Salt-isolation Materials on Soil Water and Salt Movement and Tree Growth of Saline Soil in a Coastal Region

WANG Linlin^{1,2}, LI Suyan¹, SUN Xiangyang¹, ZHANG Tao¹, FU Ying¹

(1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Department of Postgraduate, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract: [Objective] Assessing the effects of salt-isolation materials on soil water and salt movements in saline soil and on the growth of forestation four species (*Robinia pseudoacacia*, *Sophora japonica*, *Robinia pseudoacacia* cv. *Idaho*, *Ailanthus altissima*) in the coastal regions of Tianjin City. [Methods] We used four salt-isolation materials to restrict the water and salt movements in the saline soil: zeolite(FS), ceramsite (TL), vermiculite(ZS) and river sand(HS). The research was conducted from 2010 to 2013 at the Coastal Salt-tolerant Plant Science and Technology Park, Dagang, Tianjin City. One-way ANOVA and multiple comparison were used in the data analysis. [Results] (1) Salt-isolation interlayers could significantly reduce soil salt content and increase soil water content of tree planting site. FS treatment performed better than other treatments in reducing salt content and had the lowest salt content. The significant effect of TL treatment on salt content was only observed in the 40—80 cm soil layer, and it performed worse than FS. Relative to the control, ZS had no significant effects on salt content in the 0—40 cm and 60—80 cm layers. HS treatment also had no significant effects on salt content for the investigated soil profile. (2) Salt-isolation materials could significantly reduce soil salt content. FS performed best in reducing the major three salt ions of Na^+ , Cl^- and SO_4^{2-} , followed by TL, ZS and HS. (3) Salt-isolation materials could also effectively improve soil physical structure of the planting sites, increase tree planting survival rate and preserving rate, and enhance tree growth. On these points, FS was the best performer among the four salt-isolation materials. [Conclusion] Selecting FS as the salt-isolation materials is the best option in controlling soil water and salt movement and improving tree growth in coastal regions.

收稿日期: 2014-04-05

修回日期: 2014-05-09

资助项目: 林业公益性行业科研专项“林业废弃物基质化研制技术与应用”(201504205); 国家“十一五”科技支撑计划项目(2009BADB2B0504)

第一作者: 王琳琳(1983—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区呼伦贝尔市人, 博士, 助理研究员, 主要从事盐碱地生态治理方面的研究。E-mail: wanglinlin1006@126.com。

通信作者: 李素艳(1968—), 女(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 副教授, 主要从事土壤学和水土保持研究。E-mail: lisuyan@bjfu.edu.cn。

Keywords: salt-isolation materials; river sand; water and salt movement; tree growth

土壤盐渍化是限制土地资源优化利用的一个主要障碍。在长期的盐碱地改良过程中,研究者发现土壤盐分运移受到水分运行的支配^[1-3]。土壤水盐运动规律是了解盐碱土发生演变和防治土壤次生盐碱化的基础,研究并掌握盐碱土水盐动态变化规律,既可以对改良措施的科学性及实用性做出合理评价,又能进一步根据评价结果改进优化改良措施,进而达到改良盐碱土的目的^[4]。近年来,盐碱土改良主要以灌溉洗盐、地表覆盖、客土种植等工程改良措施和施加化学改良剂等化学改良措施为主^[5],也有研究者利用耐盐植物进行盐碱地改良^[6]。造成滨海地区盐碱地难以利用的最主要问题是由于土壤水分蒸发导致的地下水位上升^[7]。因此,解决滨海地区土壤盐渍化的关键就是有效阻断地下水位的上升并且促进重力水对土壤盐分的淋洗,以此减弱盐分随水分的上升,降低耕层土壤盐分含量。基于此,通过工程措施在滨海地区设置盐分隔离层作为一种有效的降盐措施被广泛应用。国内外研究^[8-10]结果表明,在土表下铺设沙子或秸秆作为隔盐层,可以显著降低土壤电导率,促进植物生长和代谢。但总体看来,有关土表下铺设隔层的研究多数为室内模拟。当前通过铺设隔盐层进行盐碱地改良的研究中,多以河沙作为有效的隔盐材料选择,且多数都只在树穴底部铺设隔盐层。沸石是一种具有很强吸附能力和离子交换能力的土壤改良材料,有保肥供肥改良土壤物理性质的作用;另外,沸石来源广泛,成本低廉,且无毒无害,是一种便于推广和利用的土壤改良剂^[11]。陶粒是一种轻质多孔的硅酸盐产品,具有较强的吸附能力和稳定的物理特性,常用于土壤的修复和改良^[12]。蛭石属硅酸盐黏土矿物,具有巨大的比表面积和较大的阳离子交换容量^[13],目前已被广泛的运用到土壤修复和去除各种水体污染中。刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、国槐(*Sophora japonica*)、香花槐(*Robinia pseudoacacia* cv. *idaho*)和红叶臭椿(*Ailanthus altissima*)为滨海地区常用的盐碱地植物改良材料,均具有一定的耐盐能力。但目前对这 4 种植物的研究多集中在盐胁迫及其耐盐机理上^[14-16],而对隔盐措施下 4 树种的生长特性研究较少。因此,本研究采用 3 种新型隔盐材料(沸石、陶粒、蛭石)和 1 种传统隔盐材料(河沙),在刺槐、国槐、香花槐和红叶臭椿树穴底部和侧壁铺设隔盐层,于 2010—2013 年研究大田中不同隔盐材料对滨海地区重度盐渍土 0—80 cm 土层水盐运移、土壤物理性质及 4 树种生长特性的影响,从而针对不同树种评估不同隔盐材料的控盐改土效果,以期为滨海地区盐渍土

改良和沿海防护林营造等林业工程提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于天津市大港区滨海耐盐碱植物科技园区(北纬 38°46',东经 117°13',海拔高度约 1.3 m),该区属于北半球暖温带半湿润大陆性季风气候,由于濒临渤海,受季风环流影响大,冬夏季风更替明显,四季分明,温差较大。全年平均气温为 12.3 °C,气温最高月份出现在 7 月(26 °C),气温最低月份出现在 1 月(-4 °C)。该区地处中纬度,日照时间长,年平均日照时数为 2 618 h,累计年太阳总辐射量 506.2 kJ/cm²,生理辐射总量 257.25 kJ/cm²,无霜期约 211 d。年平均降水量 593.6 mm,雨水集中在 6—9 月,占全年降水总量的 84%。年平均蒸发量 1 979 mm,是降水量的 3 倍多。

所选试验地造林前为弃耕裸荒地。试验区 0—100 cm 层土壤为粗粉质轻壤土,砂粒占 22.4%,粉粒占 68%,黏粒占 9.6%,平均容重为 1.54 g/cm³。地下水埋深变幅为 1.10~1.50 m。试验区地势低平,盐分表聚性明显,地表有盐霜或结皮,表层(0—20 cm)土壤全盐量为 8.74 g/kg,其中阳离子主要是 Na⁺ 离子,占全盐量的 27.5%;阴离子主要是 Cl⁻ 和 SO₄²⁻,分别占全盐量的 32.2%和 27.2%;pH 值为 7.75,电导率为 3.69 dS/m,按盐土分类为氯化物—硫酸盐土。

1.2 试验树种选择

选取刺槐、国槐、香花槐和红叶臭椿作为试验树种。其中刺槐、国槐和香花槐均属于豆科蝶形花亚科落叶乔木,红叶臭椿属于苦木科臭椿属中等落叶乔木。刺槐生长迅速,根系发达,适应性强,在含盐量 0.3% 以下的盐碱土上能正常生长发育,主根不发达,水平根系多集中在表土层 5—50 cm 内。国槐喜阳光,不耐阴湿而抗旱,对土壤要求不严,在含盐量 0.15% 左右的轻度盐碱地可正常生长。香花槐性耐寒,耐干旱,在中性及轻度盐碱土中可以正常生长。红叶臭椿喜阳光,耐干旱,主根不明显,侧根发达,耐中度盐碱土。

1.3 试验措施布设

试验共设置刺槐、国槐、香花槐和红叶臭椿 4 个种植区,在每个种植区内同时布设试验。试验共设置 5 个处理:(1)对照:不设置隔盐处理(CK);(2)沸石隔盐处理(FS);(3)陶粒隔盐处理(TL);(4)蛭石隔盐处理(ZS);(5)河沙隔盐处理(HS)。将盐碱水平一致的同一片种植区划分为 5 个区组(57 m×12 m),每个区组划分为 5 个小区(12 m×12 m),两

个相邻区组和小区间的距离分别为6和3 m。按照完全随机区组试验设计,将所有处理完全随机的分配到各个区组中去,每个小区为1个处理,每个处理重复5次。2010年4月,在4个树种种植区内的每个小区栽植9株2年生带根苗,相同树种苗木规格相似。株行距均为3 m×3 m,植穴规格1 m×1 m×1 m。栽植时先将树穴中0—100 cm的土壤按5个层次(0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm,80—100 cm)取出,然后分别在树穴底部和侧壁铺设沸石、陶粒、蛭石和河沙作为隔盐层,底部和侧壁隔盐

层厚度分别为20和10 cm,最后将土壤按原层次回填并植树。对照处理中不铺设隔盐层。试验布置完毕,立即对每个树穴进行灌溉,并于2010年4月到2010年6月每2周灌溉1次,灌溉定额均为5 L水。同时,在每个树种种植区四周开挖深度为1.00~1.50 m的排水沟。不同隔盐措施下各树种栽培管理措施一致。试验沸石、陶粒和蛭石均从当地矿产品加工厂购置,粒径分别集中在2~3,10~25和4~6 mm;河沙购自当地市场,统一过筛,粒径集中于0.5~0.8 mm。供试材料的盐分离子组成详见表1。

表1 隔盐材料盐分离子组成

材料	盐离子组成/(g·kg ⁻¹)						
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺
河沙(HS)	0.27	0.01	0.07	0.04	0.01	0.14	0.01
蛭石(ZS)	0.34	0.02	0.18	0.04	0.01	0.17	0.01
陶粒(TL)	0.46	0.01	0.13	0.04	0.01	0.15	0.01
沸石(FS)	0.21	0.01	0.02	0.01	0.01	0.13	0.01

1.4 土样采集与指标测定

于2010—2013年,每月在4个树种种植区的每个小区内随机选择3株树木,用内径为5 cm的不锈钢土钻在每个树穴内分4个土层(0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm)进行土样采集,每层重复取样3次,然后带回实验室进行土壤水分和盐分含量测定。土壤水分含量用烘干法测定,为质量含水量。土壤物理性质采用环刀法测定。将采集的土样烘干后磨碎,过1 mm筛,以1:5的土水比浸提,测定浸提液中的Na⁺,Ca²⁺,Mg²⁺,K⁺,CO₃²⁻,HCO₃⁻,Cl⁻和SO₄²⁻含量。Na⁺和K⁺采用火焰光度计测定,Ca²⁺,Mg²⁺采用EDTA滴定法,CO₃²⁻和HCO₃⁻用标准盐酸滴定法测定,Cl⁻采用AgNO₃滴定法测定,SO₄²⁻采用EDTA间接滴定法测定,盐分含量为8大离子的加和^[17]。每月在进行土样采集的同时进行各个树种树高的测定,并在每年的生长季前和生长季后

对所有树种进行基径的测定。

1.5 数据分析

采用单因素方差分析方法(one-way ANOVA)比较不同隔盐处理之间土壤水盐、物理性质和树木生长的差异;多重比较采用最小显著极差法(LSD)检验在方差分析中有差异的变量间的差异显著性。

2 结果与讨论

2.1 不同隔盐材料对土壤水盐动态的影响

设置隔盐层试验的初期,即2010年5—6月,各处理0—80 cm土体的盐分含量变化一致(图1),7—11月各处理之间的盐分含量变化存在明显差异但无显著规律。

2011年5月至2013年11月,各处理土壤盐分含量及其年变幅均明显小于对照,且沸石处理土壤盐分含量相较于其他处理始终保持最低水平。

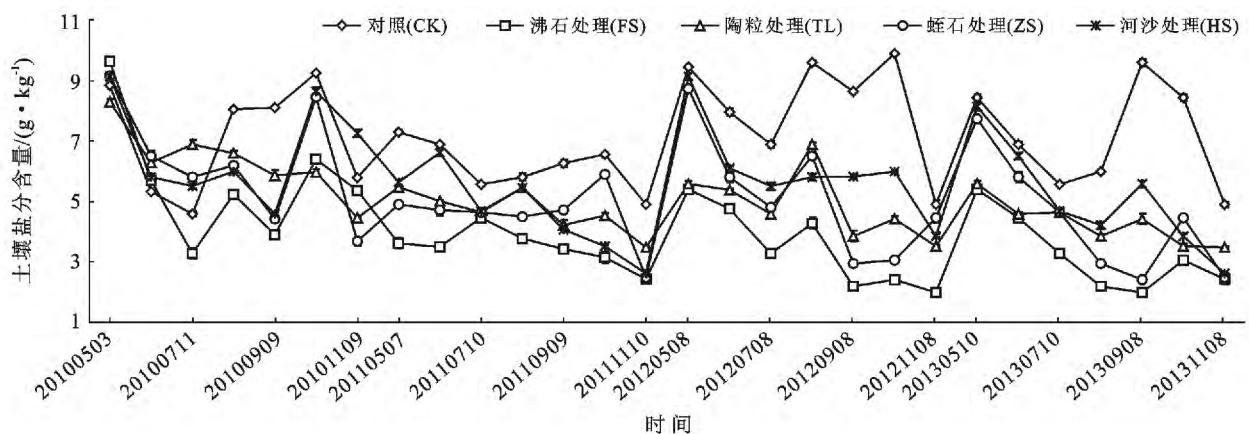


图1 隔盐处理对0—80 cm土体盐分动态变化影响

试验期内各处理的土壤水分含量变化规律基本一致(图 2)。由于土壤水分含量受蒸发量和降雨量的影响较大^[18],年内水分含量最大值均出现在 7—8

月。在设置隔盐层的第 1 a 即 2010 年,各处理土壤水分含量变化一致。2011—2013 年,各处理土壤水分含量均略大于对照。

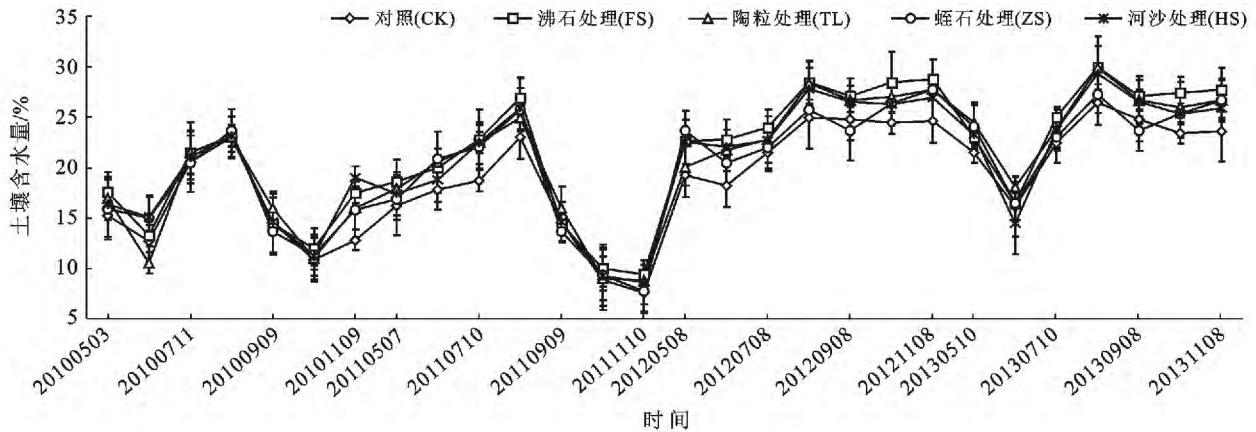


图 2 隔盐处理对 0—80 cm 土体水分动态变化影响

对 2010—2013 年各处理不同深度土壤盐分进行分析表明,隔盐措施可以有效控制土壤盐分含量(表 2)。FS 能显著降低土层(0—80 cm)盐分含量($p < 0.05$),0—80 cm 土体平均盐分含量比 CK 低 60.8%。TL 处理中 40—80 cm 土体内盐分含量显著低于 CK,控抑盐效果仅次于 FS。ZS 处理中仅 40—60 cm 土体含盐量显著低于 CK。HS 导致土体(0—80 cm)盐分含量略有下降,但各土层盐分含量与 CK 之间均无显著差异($p > 0.05$),控抑盐效果最差。

由表 2 可知,FS,TL 和 ZS 处理能显著增加 0—80 cm 土体平均含水量($p < 0.05$)。三者分别比 CK 增加了 15.5%,12%和 12%。

各处理下土壤水分含量均值大小为:FS>TL=ZS>HS>CK。采用 FS,TL 和 ZS 作为隔盐层材料,可以显著增加 0—20 和 40—60 cm 土层土壤含水量,为植物根系创造良好的土壤水分环境,从而为植物生长提供充足的水分。HS 对土壤水分含量无显著影响($p > 0.05$)。

表 2 各处理 2010—2013 年不同土层土壤盐分和水分累年均值

项目	土层/cm	CK	FS	TL	ZS	HS
盐分含量/ ($g \cdot kg^{-1}$)	0—20	6.90±0.25 ^a	2.88±0.35 ^b	6.09±0.35 ^a	6.21±0.32 ^a	6.33±0.30 ^a
	20—40	5.40±0.44 ^a	1.51±0.23 ^b	4.76±0.11 ^a	5.14±0.22 ^a	5.20±0.22 ^a
	40—60	6.90±0.35 ^a	3.25±0.23 ^b	4.29±0.27 ^b	4.62±0.13 ^b	5.28±0.40 ^{ab}
	60—80	6.27±0.19 ^a	2.15±0.22 ^b	4.05±0.24 ^c	5.63±0.23 ^a	6.06±0.33 ^a
	0—80 平均	6.48±0.21 ^a	2.54±0.20 ^b	5.06±0.11 ^a	5.40±0.12 ^a	5.72±0.21 ^a
水分含量/%	0—20	18.5±0.12 ^b	22.8±0.13 ^a	22.0±0.07 ^a	22.2±0.11 ^a	21.1±0.12 ^{ab}
	20—40	20.7±0.22 ^a	21.4±0.08 ^a	22.2±0.08 ^a	21.7±0.02 ^a	22.0±0.04 ^a
	40—60	21.3±0.13 ^b	25.5±0.11 ^a	23.9±0.12 ^a	23.8±0.02 ^a	23.1±0.12 ^a
	60—80	20.6±0.24 ^a	22.6±0.23 ^a	21.6±0.13 ^a	21.8±0.05 ^a	20.2±0.04 ^a
	0—80 平均	20.0±0.11 ^a	23.1±0.12 ^b	22.4±0.08 ^b	22.4±0.04 ^b	21.6±0.03 ^a

注:表中数值为平均值±标准差;同行具有不同字母表示处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

隔盐层材料质地无论较土壤质地或粗或细,都会对下渗水流起到阻碍作用^[19]。由于 4 种隔盐层材料的孔隙度均大于土壤孔隙度,根据土壤水动力学原理,孔隙度越大,水吸力越小,因此当水分下渗到土壤与隔层交界面时,入渗过程得到延迟,使得隔层上方土壤含水量较同层次对照高,同时使得隔层上方土壤盐分得到充分溶解,有助于隔层上方土壤盐分的充分淋洗。另外,隔盐层能够显著降低毛管水上升的高度

和速度,这是由于隔盐层阻断了土壤毛管孔隙的连续性,使得毛管水在隔盐层下界面发生停滞,从而减少盐分随水分的上升。而设置在树穴侧壁的隔盐层,又能同时抑制盐分随土壤水分的水平运移,使树穴内部土壤盐分含量进一步降低。另外,由于沸石、陶粒和蛭石 3 种隔盐材料本身的结构特征,使其均具有一定的保水功能,导致 0—80 cm 土层水分含量均显著高于对照。

2.2 不同隔盐措施对土壤盐分离子组成和分布的影响

隔盐措施实施 3 a 后,0—80 cm 土体的全盐量均显著低于对照($p < 0.05$,表 3),并且各处理之间也存在显著性差异,各处理盐分离子总量大小顺序为:CK > HS > TL > ZS > FS。FS 处理中,除 K^+ 和 HCO_3^- 含量与其他处理之间无显著差异之外,其他盐分离子含量均显著低于其他处理。TL 和 ZS 处理的土壤盐分离子中,除了 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量显著低于 HS 处理之外,其他盐分离子含量与 HS 处理均无显著性差异。另外,不同处理的土壤盐分离子中, Na^+ , Cl^- 和 SO_4^{2-} 所占的比重均最大,占盐分离子总量的 81.3% 以上, Ca^{2+} 次之, HCO_3^- , Mg^{2+} , K^+ 和 CO_3^{2-} 含量较少。以上结果表明,FS 处理去除土壤盐分离子

的能力最佳。这是由于沸石作为隔盐材料除了能有效降低土壤毛管水上升导致的土表聚盐并加速土壤洗盐外,其内部的空间结构也起到了极大的作用。沸石内部存在一定大小的晶格,可以吸附尺寸小于晶格直径的离子或分子,滨海盐土中富含的 Na^+ , Cl^- 和 Ca^{2+} 等都可以通过此孔道进入沸石内部被沸石吸附^[20-21]。

ZS 和 TL 处理对土壤盐分离子的去除能力仅次于 FS,这可能是由于虽然蛭石和陶粒本身具有较大的比表面积和吸附性能,但对离子选择吸附的能力较弱,因此对滨海盐土中占比重最大的 Na^+ , Cl^- 和 SO_4^{2-} 的去除作用显著低于 FS 处理,但其两者的降盐能力明显优于河沙。

表 3 不同隔盐处理土体盐分离子含量

处理	盐分离子含量							全盐量	$Na^+ + Cl^- + SO_4^{2-} /$ 全盐量	
	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-			CO_3^{2-}
CK	1.09 ± 0.01^a	0.02 ± 0.00^a	0.63 ± 0.01^a	0.18 ± 0.01^a	4.19 ± 0.00^a	0.97 ± 0.01^{ac}	0.32 ± 0.01^a	0 ^a	7.30 ± 0.01^a	85.6 ± 0.00^a
FS	0.72 ± 0.00^b	0.02 ± 0.00^a	0.29 ± 0.00^b	0.05 ± 0.01^b	1.44 ± 0.00^b	0.78 ± 0.04^b	0.22 ± 0.00^b	0 ^a	3.62 ± 0.04^b	81.3 ± 0.00^b
TL	0.91 ± 0.01^c	0.02 ± 0.00^a	0.52 ± 0.01^c	0.11 ± 0.00^c	2.64 ± 0.06^d	1.03 ± 0.04^a	0.23 ± 0.01^b	0 ^a	5.47 ± 0.07^c	83.8 ± 0.00^c
ZS	0.94 ± 0.02^c	0.02 ± 0.00^a	0.46 ± 0.00^d	0.11 ± 0.00^c	2.21 ± 0.03^c	0.90 ± 0.03^c	0.26 ± 0.01^c	0 ^a	4.90 ± 0.04^d	82.7 ± 0.00^d
HS	0.93 ± 0.01^c	0.02 ± 0.00^a	0.58 ± 0.01^e	0.13 ± 0.01^d	2.74 ± 0.03^d	1.01 ± 0.01^a	0.23 ± 0.01^b	0 ^a	5.64 ± 0.03^e	82.8 ± 0.00^d

注:CK 为对照,FS 为沸石处理,TL 为陶粒处理,ZS 为蛭石处理,HS 为河沙处理。下同。

2.3 不同隔盐措施对土壤物理性质的影响

0—40 cm 土层是植物根系分布相对密集的区域,该层次土壤的物理性状对植物的生长意义重大。对比分析刺槐、国槐、香花槐和红叶臭椿 0—40 cm 土层的物理性质,有利于探讨隔盐措施对不同树种根区土壤物理性质的改良效应。各处理 4 个树种的根区土壤容重均低于对照(图 3)。刺槐种植区中,FS 处理的土壤容重显著低于其他处理($p < 0.05$),其他处理与对照间差异不显著。国槐种植区内,FS 和 TL 处理显著降低土壤容重,其他处理与对照间无显著差异($p > 0.05$)。香花槐和红叶臭椿种植区内,各处理土壤容重略低于对照,但与对照间差异不显著。

刺槐区内,FS 和 TL 处理导致土壤毛管孔隙度显著高于 HS 和 CK,ZS 处理对土壤毛管孔隙度影响不显著,与其他处理间均无显著差异(图 3)。国槐区内,FS 处理的土壤毛管孔隙度显著高于 CK 和其他处理,而其他隔盐处理与 CK 间均无显著差异。隔盐措施对香花槐和红叶臭椿根区土壤毛管孔隙度影响较小,除 FS 处理使红叶臭椿根区土壤毛管孔隙度显著高于对照外,其他处理对香花槐和红叶臭椿根区土壤毛管孔隙度均无显著影响($p > 0.05$)。

刺槐种植区中各处理土壤非毛管孔隙度均有显

著性差异(图 3),其中 FS 处理下非毛管孔隙度最大,显著高于 CK 和其他处理;TL 处理次之,显著高于 HS 和 CK($p < 0.05$),而与 ZS 处理无显著差异。FS 和 TL 处理能够增加国槐根区土壤非毛管孔隙度,而 ZS 和 HS 却导致其略有下降。所有处理均能显著增加香花槐根区土壤非毛管孔隙度,按照其增加量大小排序为:FS > TL > ZS > HS。FS,TL 和 ZS 处理均能显著增加红叶臭椿根区土壤非毛管孔隙度,而 HS 处理对其影响不显著。

隔盐处理对各树种根区土壤总孔隙度的影响与毛管孔隙度类似(图 3)。FS 和 TL 处理能显著增加刺槐根区土壤总孔隙度,ZS 和 HS 处理土壤总孔隙度略高于 CK,但无显著差异($p > 0.05$)。国槐区内,FS 处理导致土壤总孔隙度显著高于 CK 和其他处理,而其他隔盐处理与 CK 间无显著差异。对于香花槐和红叶臭椿,除 FS 处理使红叶臭椿根区土壤总孔隙度显著高于对照外,其他处理对香花槐和红叶臭椿根区土壤总孔隙度均无显著影响($p > 0.05$)。

采用隔盐措施能导致刺槐、香花槐和红叶臭椿 3 个树种根区土壤容重降低和土壤总孔隙度的增加。有研究^[22]表明,土壤盐分含量与总孔隙度具有负相关性。FS 处理的盐分含量最低,在所有树种中具有最

大的总孔隙度,而且土壤总孔隙度越大,降水对可溶性 Na^+ 的淋溶作用越大,继而导致盐分含量降低,使土壤结构得到改善,降低土壤容重。而在国槐种植区,虽然隔盐处理均能降低土壤容重,但对土壤总孔隙度影响不大,除 FS 处理和 TL 处理能够增加土壤

总孔隙度以外,ZS 和 HS 处理反而使土壤总孔隙度略有下降,这个现象也存在于毛管孔隙度和非毛管孔隙度中。

基于以上分析,沸石可作为 4 树种隔盐材料的最优选择,陶粒次之。

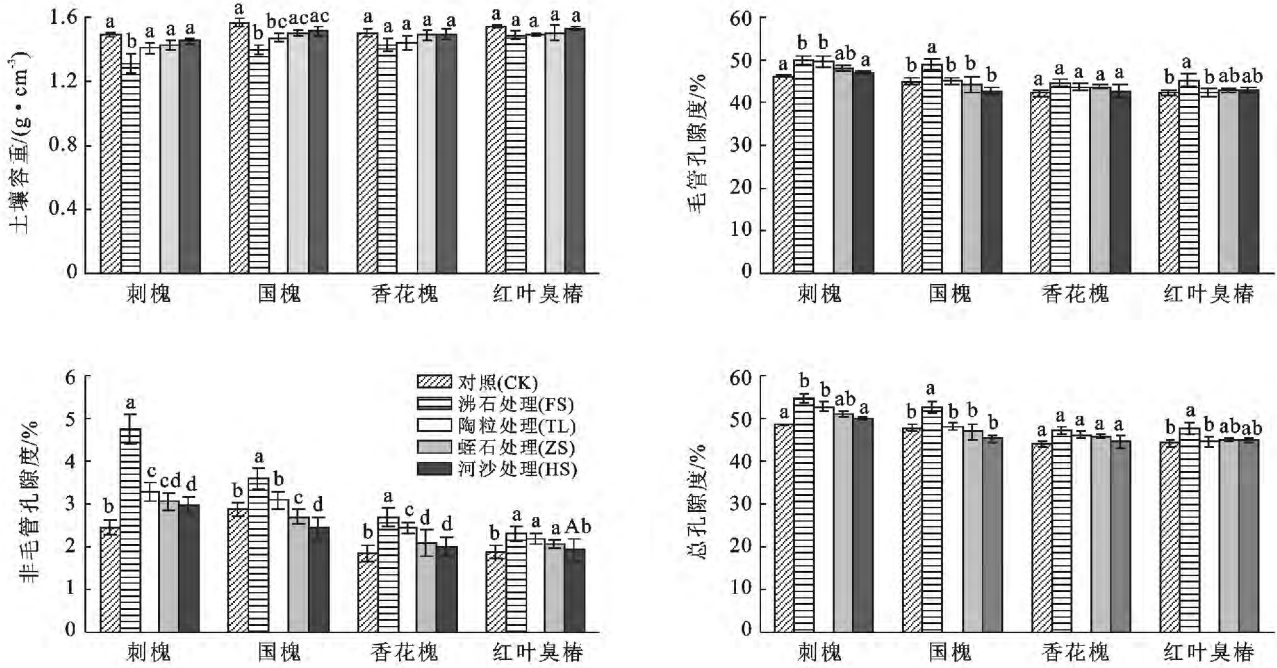


图 3 不同隔盐措施对土壤物理性质的影响

2.4 不同隔盐措施对植物生长的影响

2.4.1 不同隔盐措施对成活率和保存率的影响 隔盐措施布设 1 a 后(2011 年),4 树种成活率均在 81% 以上,隔盐措施对造林成活率影响不明显(表 4)。试验开始 3 a 后(2013 年),4 个树种保存率显著高于对照,各树种不同处理保存率由大到小顺序为:FS>TL

>ZS>HS>CK。

FS 处理下,4 树种保存率均显著高于其他处理 ($p < 0.05$),其中刺槐保存率最大达 95.2%;CK 处理中红叶臭椿保存率最低,仅为 39.3%。FS,TL 和 ZS 处理下,不同树种保存率由大到小均为:刺槐>国槐>香花槐>红叶臭椿。

表 4 不同隔盐处理下树种成活率与保存率

%

树种	2011 年 5 月成活率					2013 年 11 月保存率				
	CK	FS	TL	ZS	HS	CK	FS	TL	ZS	HS
国槐	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	74.2 ^d	93.8 ^a	87.1 ^b	80.2 ^c	77.4 ^c
香花槐	82.1 ^b	95.7 ^a	90.1 ^b	93.2 ^a	87.6 ^b	70.8 ^c	89.3 ^a	82.3 ^b	79.6 ^b	72.5 ^c
刺槐	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	75.4 ^c	95.2 ^a	90.2 ^b	86.4 ^b	73.2 ^c
红叶臭椿	81.2 ^b	91.4 ^a	88.3 ^a	90.2 ^a	85.3 ^b	39.3 ^d	70.6 ^a	65.2 ^b	55.6 ^c	43.2 ^d

2.4.2 不同隔盐措施对树高和基径的影响 隔盐处理 4 个生长季后 4 树种的树高、基径增长量均高于对照植株(图 4)。

FS 和 TL 处理对刺槐树高增长量影响显著,而香花槐树高增长量仅在 FS 处理下显著增加 ($p < 0.05$);各处理对国槐树高增长无显著影响,但却显著增加红叶臭椿树高增长量。FS 处理中,各树种基径

增长量均最大,且显著大于对照 ($p < 0.05$)。TL 处理均能显著增加除红叶臭椿外的其他树种的基径增长量 ($p < 0.05$)。与 CK 相比,ZS 和 HS 对树木基径生长无显著影响 ($p > 0.05$)。各个处理对各树种树高和基径影响各不相同,这除了与树种本身的特性有关以外,还说明应针对不同的树种选择隔盐材料以达到最佳的脱盐效果。

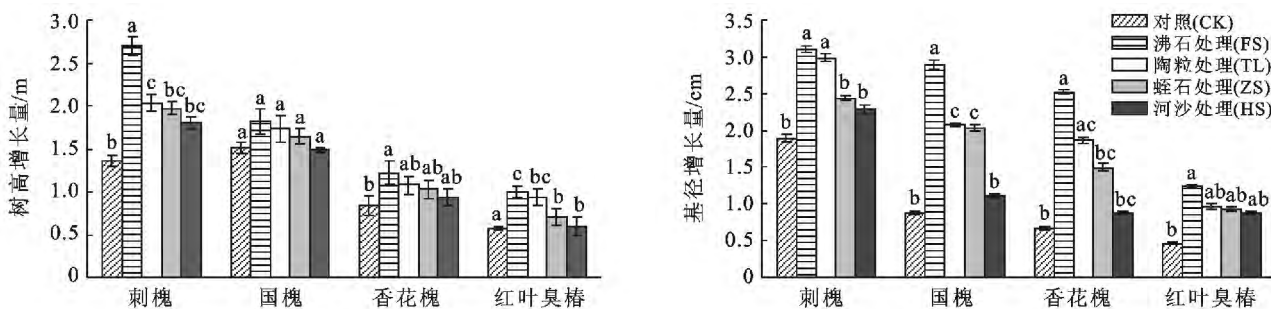


图 4 不同隔盐措施对树高和基径增长量的影响

3 结论

在树木种植穴底部和侧壁铺设隔盐层可以明显降低土壤盐分含量并显著增加树穴内部土壤水分含量。沸石隔盐处理能降低 0—80 cm 土体内盐分含量,控盐效果明显优于其他材料。陶粒处理在 40—80 cm 土层有显著的降盐效果,且控盐效果比沸石差。蛭石处理仅在 40—60 cm 土体内显著降低土壤含盐量。河沙隔盐处理中,0—80 cm 土体内盐分含量虽低于对照,但与对照之间无显著差异,降盐效果最差。隔盐处理显著降低 0—80 cm 土层中各盐分离子含量,且其主要盐分离子为 Na^+ , Cl^- 和 SO_4^{2-} , 为有针对性的降低盐分含量提供了理论依据。隔盐层材料能有效改善刺槐、国槐、香花槐和红叶臭椿根区土壤物理性质,提高各树种的成活率和保存率,并且明显促进植物生长,其中沸石效果最佳。因此可将沸石作为滨海地区 4 个树种造林时隔盐材料的最优选择。而对于其他隔盐材料,则需要根据不同树种的特性加以选择应用,使其达到最佳的降盐效果。

[参 考 文 献]

[1] Pflutschinger H, Engelhardt I, Piepenbrink M, et al. Soil column experiments to quantify vadose zone water fluxes in arid settings[J]. Environment Earth Science, 2011, 58(3): 694-710.

[2] Wu Lao, Skaggs T H, Shouse P J, et al. State space analysis of soil water and salinity regimes in a loam soil underlain by shallow groundwater[J]. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65(4): 1065-1074.

[3] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993:35-38.

[4] 张莉,丁国栋,王翔宇,等. 隔沙层对盐碱地土壤水盐运动的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(2):197-200.

[5] Barter-Lennard E G. Restoration of saline land through revegetation [J]. Agricultural Water Management, 2002, 53(3): 213-226.

[6] 刘广明,杨劲松,吕真真,等. 不同调控措施对轻中度盐碱土壤的改良增产效应[J]. 农业工程学报,2011,27(9):164-169.

[7] 赵永敢,逢焕成,李玉义,等. 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响[J]. 生态学报,2013,33(17): 5153-5161.

[8] Rooney D J, Brown K W, Thomas J C. The effectiveness of capillary barriers to hydraulically isolate salt contaminated soils[J]. Water, Air and Soil Pollution, 1998, 104(2): 403-411.

[9] 史文娟,沈冰,汪志荣,等. 蒸发条件下浅层地下水埋深夹砂层土壤水盐运移特性研究[J]. 农业工程学报, 2006,21(9):23-26.

[10] 刘玉涛,董智,李红丽,等. 不同隔盐措施对滨海盐碱地白蜡光合作用日变化的影响[J]. 水土保持研究,2011, 18(3):126-130.

[11] 马晨,马履一,刘太祥,等. 盐碱地改良利用技术研究进展[J]. 世界林业研究,2010,23(2):28-32.

[12] 翟鹏辉. 天津滨海土壤盐渍化特征与隔盐层处理技术的脱盐效应研究[D]. 北京:北京林业大学,2013.

[13] 赵杏媛,张有瑜. 黏土矿物与黏土矿物分析[M]. 北京:海洋出版社,1990:45-50.

[14] Saleem A, Ashraf M, Akram N A. Salt (NaCl)-induced modulation in some key physio-biochemical attributes in okra (*Abelmoschus esculentus* L.) [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2011, 197(4): 202-213.

[15] Moud A M, Maghsoudi K. Salt stress effects on respiration and growth of germinated seeds of different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars [J]. World Journal Agronomy Science, 2008, 32(4): 351-358.

[16] Ashraf M and Harris P J C. Photosynthesis under stressful environments: An overview [J]. Photosynthetica, 2013, 51(2): 163-190.

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2008:187-201.

[18] 王艳,廉晓娟,张余良,等. 天津滨海盐渍土水盐运动规律研究[J]. 天津农业科学,2012,18(2):95-97.

(下转第 151 页)

(3) 采用林木深根苗或普通苗在沙地超深栽时,苗木根系直接接触到水分含量较高的下层土壤,因此根系能够从土壤中吸收水分运输到地上部的需水部位,从而保证了植株的成活和生长。而常规造林时,因栽植较浅,在春末夏初时栽植层土壤水分一般无法满足苗木成活和生长需要,从而苗木死亡。因此,沙地土壤水分的时空分布特点有利于深栽苗木的成长而不利于浅栽苗木的生长。

(4) 与普通苗沙地超深栽相比,深根苗在无灌溉条件下也表现了很好的造林效果(表2—3)。其原因主要是因为深根苗在培育过程中生长发育出了强大发达的根系,有利于从土壤中摄取水分,而普通苗的根系则相对较弱。因此,在没有浇水条件的偏远沙地造林时,宜选用林木深根苗进行超深栽造林。

(5) 在无灌溉条件下,普通苗沙地超深栽的效果虽然劣于深根苗超深栽,但苗木的培育、运输成本较低,而且栽植后进行少量灌水其成活率就能达到或接近深根苗超深栽的水平。因此,在有浇水条件时,采用普通苗木进行超深栽也可以取得一定的造林效果。不过,普通苗超深栽在实际应用中存在一些局限性。适用于超深栽的树种仅限于具有较长主茎或在深栽后有发根能力的树种,如白榆、杨树等。

(6) 作为干旱半干旱沙地造林的一种新方法,采用林木深根苗或普通苗进行超深栽可极大提高造林成效,具有较为广阔的推广应用前景。今后,在进一步对苗木培育、运输、降低造林成本以及可操作性等相关技术进行研究、开发和集成配套的基础上,该造

林方法必将对加快沙地植被的建成速度、改善沙区生态环境发挥积极推动作用。

[参 考 文 献]

- [1] 王怀彪,潘鹏,高保山.毛乌素沙地樟子松抗旱造林关键技术研究[J].西北林学院学报,2009,24(6):70-73.
- [2] 冯长红,贺康宁,任宝俊,等.河北省京津风沙源区困难立地植被恢复主要模式与技术[J].辽宁林业科技,2009(1):52-56.
- [3] 李衍青,张铜会,刘新平,等.科尔沁地区不同类型沙地土壤水分变化分析[J].水土保持通报,2010,30(3):31-35.
- [4] 许浩,蒋齐,潘占兵,等.黄土丘陵区降雨、土壤水分和苗木成活率的关系[J].水土保持研究,2012,19(5):202-204.
- [5] 阿拉木萨,周丽芳.科尔沁沙地流动沙丘土壤水分空间变化特征分析[J].土壤,2011,43(3):392-397.
- [6] 王志,王蕾,刘连友,等.毛乌素沙地沙丘干沙层水分特征初步研究[J].干旱区研究,2006,23(1):89-92.
- [7] 稻永忍,森田茂纪,安萍,等.サウジアラビアの沙漠地域に持続可能な緑化システムを構築するプロジェクト:凍結濃縮法排水処理技術と深根苗移植栽培技術の開発と利用[J].根の研究(Root Research),2007,16(1):13-16.
- [8] 牛增,魏喜霞,俞国胜.科尔沁沙地机械化杨树深栽造林试验[J].林业机械与木工设备,2013,41(5):51-53.
- [9] 支恩波,李新利,李向军,等.不同育苗基质对白榆长根苗生长的影响[J].林业实用技术,2012(11):69-71.
- [10] 阿拉木萨,蒋德明,李雪华,等.科尔沁沙地典型人工植被区土壤水分动态研究[J].干旱区研究,2007,24(5):604-609.

(上接第147页)

- [19] 王文焰,张建丰.砂层在黄土中的阻水性及减渗性的研究[J].农业工程学报,1995,11(1):104-109.
- [20] Panayotova M. Use of zeolite for Cd²⁺ removal from wastewater[J]. Environment Science Health, 2000, 35(9): 1591-1601.
- [21] Shuai Ban, Vlugt T J H. Zeolite microporosity studied by molecular simulation[J]. Molecular Simulation, 2009, 35(12): 1105-1115.
- [22] Oo A N, Iwai C B, Saenjan P. Soil properties and maize growth in saline and nonsaline soils using cassava-industrial waste compost and vermicompost with or without earthworms[J]. Land Degradation and Development, 2013, 205(2): 1015-1026.