

# 盐渍土地区植穴结构设计与效果评价

文科军,许光耀,吴丽萍\*,张克鹏,孙海洋

(天津城建大学 环境与市政工程学院,天津 300384)

**摘要:**通过  $U_{12}(2 \times 3^5)$  均匀试验设计方法,建立以耐盐树种、覆膜材料比、果胶含量、填料种类、填料厚度和填料布设方式为因子的树木植穴结构控制(PHCC)基本单元,探究其在盐渍土环境下对穴内外土壤全盐量的控制程度与因果关系。结果表明,PHCC 各因素在 0~40 cm 的深度范围内对穴内全盐量的影响次序为填料种类>填料厚度>耐盐树种>覆膜材料比>果胶含量>填料布设方式;对穴外则为耐盐树种>覆膜材料比>填料厚度>果胶含量>填料布设方式>填料种类;当确定最佳 PHCC 组合为火炬树种,PVA:PAM 比 5:5,0.1%果胶含量,填料加草炭+牛粪,厚度 7 cm,底部+周围布设时,可使穴内 0~40 cm 土层全盐量比对照组低  $(88.86 \pm 5.65)\%$ ,穴外全盐量比试验前原土降低  $(45.6 \pm 2.38)\%$ 。

**关键词:**植穴结构;盐渍土;回归分析

中图分类号:S728.5      文献标志码:A      文章编号:1001-7461(2016)05-0148-06

## Structure Design and Result Evaluation of Planting Hole in Saline Soil Area

WEN Ke-jun,XU Guang-yao,WU Li-ping\*,ZHANG Ke-peng,SUN Hai-yang

(School of Environmental and Municipal Engineering,Tianjin Chengjian University,Tianjin 300384,China)

**Abstract:**Through the methodology of uniform experimental design  $U_{12}(2 \times 3^5)$ , a basic unit of planting hole composition control (PHCC) was established based on examining relative factors to explore their degrees of controlling over total salt content inside and outside the hole in saline soil as well as their causal relationships. The results showed that in the depth of 0—40 cm soil layer, the influence order of the impacts of the factors on total salt content inside the hole was types of filler>thickness of filler>salt-tolerant tree species>ratio of film mulching>pectin content>emplacing manners, while outside the hole, the order was salt-tolerant tree species> ratio of film mulching> thickness of filler>pectin content types> emplacing manners> types of filler. When the salt-tolerant tree species was *Rhus typhina*, other factors were PVA:PAM, 5:5; pectin content, 0.1%; filler types, peat and cow dung; the thickness of filter, 7 cm. When the filters were emplaced on the bottom and around, the salt content was  $(88.86 \pm 5.65)\%$  less than the control group inside the hole, and outside the hole, the salt content reduced  $(45.6 \pm 2.38)\%$  compared to the control soil.

**Key words:**planting hole structure; saline soil; regression analysis

张新时院士指出,生态系统修复除积极恢复重建自然的生态系统外,还要主动运用人工设计生态方案<sup>[1]</sup>。在寒冷盐渍土区通过植树实现生态重建,创建适宜人类的生产、生活环境,首先须突破盐碱

Na<sup>+</sup>对耐寒园林乔木持续性胁迫这一世界性难题。由于盐渍土涉及空间范围广、水盐干扰与异质性突出,许多非生物(理化<sup>[2-3]</sup>和水利<sup>[4-5]</sup>改良)、生物(植物<sup>[6]</sup>与微生物改良<sup>[7]</sup>)的生态重建方法很难精准控

收稿日期:2015-12-03    修回日期:2016-01-24

基金项目:天津市科技计划项目(12ZCZDSF01900);天津科技支撑计划重点项目(08ZCGYSF02500);科技部中小企业技术创新基金(13C26211200349)。

作者简介:文科军,男,教授,维也纳博士后,研究方向:污染水土修复与资源化利用。E-mail:wenkejun@126.com

\*通信作者:吴丽萍,女,教授,博士,研究方向:污染水土修复与资源化利用。E-mail:wlpzr1106@126.com

制,导致这些方法可靠性较差,目的性不强。故此,基于微宇宙理论<sup>[8]</sup>,结合恢复生态学的人为设计与自我设计理论,提出植穴结构控制(planting hole composition control,PHCC)理念<sup>[9]</sup>,即将树木植穴的生态结构作为生态重建及技术组装的基本单元,通过人为控制措施满足穴内树木群落的初期生存条件,再利用自然的自我设计,逐步完善其生物与非生物的结构冗余(嗜盐微生物富集、活性官能团增加等),即将树木植穴的生态结构作为生态重建及技术组装的基本单元,先探明单体 PHCC 各因素与其内外盐渍土环境的全盐量控制的相互作用机制,再着眼设计与组装整个绿地生态布局,以解决重建过程中存在的空间尺度难确定、生态结构不完整等问题。

本研究围绕 PHCC 内外全盐量控制,力求减轻初值树木的盐胁迫压力。运用均匀试验的方法,研究 PHCC 结构因子(耐盐树种、覆膜材料比、果胶含量、填料种类、填料厚度和填料布设方式)与土壤全盐量的因果关系,以获取最佳组装方式,为盐渍土地区 PHCC 生态组装提供服务。

## 1 试验装置与研究方法

### 1.1 试验装置

根系是植物与环境接触的重要界面,根系感受逆境信号后产生相应的生理变化<sup>[10-11]</sup>。PHCC 可通过填料层改善植穴袋下部的土壤结构与肥力,切断毛管水的上升运动,阻止盐随水浸入袋内。保水覆膜材料可截留上方的补水加速盐分随重力水沉降,减少盐分对植株的胁迫,促进植物根系生长。

在温室内采用土柱模拟试验法,开展本试验研究。土柱用 60 cm×60 cm×120 cm 的钢化玻璃制成,2 侧距表层土以下各设 5 个直径 5 cm 的监测孔,平时用橡胶塞加蜡密封。为模拟盐渍土及地下水在毛管水作用下水盐动态运移的相似性,土柱底部装有 20 cm 厚的鹅卵石(粒径为 5~9 cm)层,作为地下水层,其上铺一层阻止盐渍土下落的透水无纺布,将采自天津滨海新区航母公园重度盐渍土壤,依照滨海盐土实际容重 1.42 g/cm<sup>3</sup> 填装至柱顶,然后挖出大小为 30 cm×30 cm×35 cm(长×宽×深)的植穴,依据试验方案(表 3)铺设植穴袋,移入带土球的设定植物,最后在穴内添加校园绿地土并踩实。试验共设 12 个试验组合和 1 个对照土柱,试验装置见图 1。土壤理化性质见表 1。为确保稳定的地下水位,测量补水下渗的淋溶量,及由于毛管水作用而蒸发和树木的蒸腾所消耗的水量,在地下水位线 20 cm 处布设排水管,统一配装 1 个马利奥特瓶,供试地下水(表 2)。

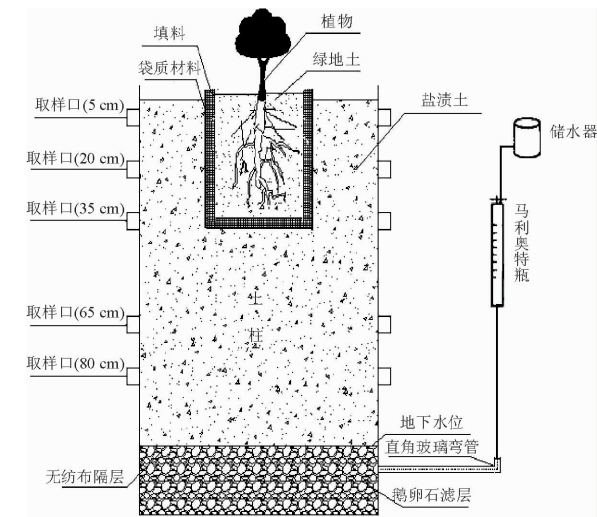


图 1 试验装置

表 1 PHCC 内外剖面土壤水盐盐量及理化指标

Table 1 Water and salt content, physicochemical index of soil inside and outside the hole

PHCC 剖面分层/cm	含水率 /%	全盐量 /(g·kg <sup>-1</sup> )	电导率 /(ms·cm <sup>-1</sup> )	pH
0~10	5.98	30.10	8.02	8.26
10~30	9.22	18.70	4.53	8.26
30~40	9.13	21.40	5.48	8.28
40~70	3.73	30.90	9.79	8.26
70~90	3.92	39.60	13.68	8.16
校园绿地土	6.42	2.40	0.42	8.12

### 1.2 试验设计

将前期研究所确定的最佳麻袋布材料<sup>[12-13]</sup>浸泡于不同比例混合的聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)和聚丙烯酰胺(polyacrylamide hydrogel, PAM)溶液中覆膜,自然干燥后再涂覆果胶制成载体边缘材料,后经裁减,缝制成袋后装入填料,待绿化造林时移入树木。PVA、PAM 是常用的土壤保水剂、土壤改良剂<sup>[14-15]</sup>,可有效抑制土壤盐分的积累。果胶(Pectin)具有较强的凝胶作用,与 PAM 等物质混合后不易脱落<sup>[16]</sup>。填料为牛粪、草炭等生物质材料,是常用的生态肥料。试验选用的乡土园林树木火炬(*Rhus Typhina*)、国槐(*Sophora japonica*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*),是天津盐渍土壤造林绿化中最常用的耐盐碱园林乔木,可在土壤含盐量为 0.2%~0.5%时正常生长<sup>[17]</sup>。

运用均匀试验 U<sub>12</sub>(2×3<sup>5</sup>)设计与数理统计的分析方法<sup>[12]</sup>,将人为设计 PHCC 结构因子(不同的耐盐树种、覆膜材料比、果胶含量、填料种类、填料厚度和填料布设方式)作为自变量,安排于 12 个试验土柱中(表 3),及各 PHCC 内外剖面全盐相对动态

迁移量作为因变量(表 4),运用 SPSS 软件建立两者的回归方程,以表征各自变量对其内外土壤各层全盐量的影响机制与构效关系,并从 486 种 PHCC 的

排列组合中筛出控制盐含量最强的组合参数类型,为盐碱地实施 PHCC 组装造林提供参考。

表 2 供试地下水的盐分种类与含量

Table 2 Type and content of salt in test groundwater

盐分种类	MgCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	矿化度
浓度/(mol·L <sup>-1</sup> )	3.49×10 <sup>-2</sup>	3.04×10 <sup>-2</sup>	4.50×10 <sup>-2</sup>	1.26×10 <sup>-1</sup>	2.36×10 <sup>-1</sup>
质量浓度/(g·L <sup>-1</sup> )	3.32	4.32	5.00	7.36	20.00

表 3 PHCC 的 U<sub>12</sub>(2×3<sup>5</sup>)均匀试验因素及试验方案

Table 3 Design of U<sub>12</sub>(2×3<sup>5</sup>)uniformity experiment

组序	耐盐树种			覆膜材料比			果胶	填料种类			厚度	布设方式	
	X <sub>1</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>3</sub> /%	X <sub>4</sub>	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>5</sub> /cm	X <sub>6</sub>	X <sub>6</sub>
1	火炬	0	0	2:8	0	1	0.5	草炭	0	0	7	底部周围	1
2	火炬	0	0	2:8	0	1	1.0	牛粪	1	0	4	底部周围	1
3	火炬	0	0	5:5	1	0	0.5	混合	0	1	1	底部	0
4	火炬	0	0	5:5	1	0	1.0	草炭	0	0	7	底部	0
5	国槐	0	1	8:2	0	0	0.1	牛粪	1	0	4	底部周围	1
6	国槐	0	1	8:2	0	0	1.0	混合	0	1	1	底部周围	1
7	国槐	0	1	2:8	0	1	0.1	牛粪	1	0	7	底部	0
8	国槐	0	1	2:8	0	1	1.0	混合	0	1	4	底部	0
9	白蜡	1	0	5:5	1	0	0.1	草炭	0	0	1	底部周围	1
10	白蜡	1	0	5:5	1	0	0.5	牛粪	1	0	7	底部周围	1
11	白蜡	1	0	8:2	0	0	0.1	混合	0	1	4	底部	0
12	白蜡	1	0	8:2	0	0	0.5	草炭	0	0	1	底部	0

注:试验设计中含有多个定性变量,故须利用虚拟变量将其转变为定量变量,以便回归分析。表中 X<sub>1</sub> 代表耐盐树种,其中 X<sub>11</sub>、X<sub>12</sub> 为其 2 个虚拟变量;X<sub>2</sub> 代表覆膜材料中聚乙烯醇与聚丙烯酰胺的质量百分比,X<sub>21</sub>、X<sub>22</sub> 为 PVA:PAM 配比的两个虚拟变量;X<sub>3</sub> 代表麻袋布中的果胶用量;X<sub>4</sub> 代表填料种类,其中混合填料的质量比为 1:1,X<sub>41</sub>、X<sub>42</sub> 代表其 2 个虚拟变量;X<sub>5</sub> 为填料厚度;X<sub>6</sub> 代表填料的布设方式。

1.3 试验数据采集与处理

试验段为 2013 年 4 月—2014 年 10 月,共计进行 18 个月,为减少对土壤的扰动,并快捷测得 12 种 PHCC 试验组合内的 3 个土层测点(5、20、35 cm)与 PHCC 外 5 个土层测点(5、20、35、55、80 cm),及 1 组对照土柱(无 PHCC,穴内仅为校园土)对应测点的同步土壤全盐量,用 WET 土壤水分/温度/电导率速测仪(英国)测得电导率,经电导率与全盐量曲线获取全盐量。每 30 d 采集 1 次,每次各点位重复测取 5~6 个值,并以 3 个相近值的均值作为各点位全盐量的时间序列表征值。因其全盐量属随时间推移而动态变化的时间序列值,为求得一项能反映 PHCC 内外各层次在整个检测期内的全盐量变化,即具有动态变化的代表性因变量,作为正交回归分析的特征值,故需计算时序平均值,即将时间序列数据转化为序时平均数以消除这种差异性,其计算方法略。

2 结果与分析

2.1 PHCC 袋内阻盐与袋外改盐成效

为综合评价 PHCC 对穴内外作用层(0~40 cm)内全盐量总体的控制成效,需对本范围 3 个测

点(5、20、30 cm)全盐量进行加权平均。为直观看出不同 PHCC 袋的阻盐成效,用 PHCC 袋内外各测点全盐量测试值相对于对照土柱相对应测点的全盐量测试值减少的百分数,用 Y 表示,即由公式  $Y = \frac{C \text{ 对照点同步全盐量} - C \text{ 试验各点全盐测试值}}{C \text{ 对照点同步全盐量}}$  ×

100% 获得,Y 值越大说明阻盐(穴内)、改盐(穴外)效果越好(表 4)。

2.2 PHCC 阻/改盐成效回归分析

为综合评价 PHCC 各因素对袋内阻盐与袋外改盐成效,及影响的显著性与主次顺序,需将标准化后的表 3 各变量作自变量,以 Y<sub>i</sub> 作因变量,在建立二者回归方程的基础上,用 t 值检验予以评估,探究其构效关系与各自变量的贡献率(表 5、表 6)。

1)依据树种(X<sub>1</sub>)的各标准偏相关系数大小就可判断各树种对穴内外全盐量的影响成效。在穴内的影响排序:火炬树(X<sub>00</sub> = 0) > 国槐(X<sub>01</sub> = -0.296) > 绒毛白蜡(X<sub>10</sub> = -0.802)。因火炬树属专性拒盐植物,根系浅且发达,耐水湿,耐盐碱能力强,可在土壤含盐量 0.6%~0.8%、pH>8 条件下自然分蘖快繁。在 3 树种中他虽对穴内 0~40

cm 范围内全盐量影响居首,但是对全盐量降低的贡献率为零,整体呈极显著的负相关性;在穴外排序:国槐( $X_{01}=0.881$ )>火炬树( $X_{00}=0$ )>绒毛白蜡( $X_{10}=-0.151$ )。因国槐属豆科、兼性中度耐盐、根系发达的深根性树种,在土壤含盐量 0.4%~0.5%, $\text{pH}<8$  盐碱地能正常生长<sup>[17]</sup>,而且在盐碱环境易生成根瘤菌,故对降低全盐量的贡献率呈极显著的正相关且居首。

表 4 PHCC 袋内外的  $Y_i$  值

Table 4 $Y_i$ of soil inside and outside of the planting hole												%
组序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
穴内	69.8	56.6	66.8	66.5	58.4	59.4	58	59.4	55.7	57.9	59.2	38.9
穴外	34.1	32.5	35.8	28.1	39.1	40.2	43.9	46.2	36.1	28	23.1	25.9

表 5 PHCC 袋内外阻盐、改盐成效的回归方程与相关系数及  $F$  值检验

Table 5 Regression analysis prediction equations of PHCC's salt barrier, $R^2$ and it's ANOVA												
位置	回归预测方程										$R^2$	$F$ 值/显著性
穴内	$Y=0.589-0.062X_{11}-0.023X_{12}+0.028X_{21}-0.03X_3-0.024X_{41}+0.047X_{42}+0.051X_5+0.033X_6$										0.974	51.8***
穴外	$Y=0.344-0.011X_{11}+0.064X_{12}+0.04X_{21}+0.049X_{22}-0.013X_3-0.009X_{41}-0.024X_5+0.009X_6$										0.988	111***

注: $F_{0.05}(8,3)=8.85,F_{0.01}(8,3)=27.5$ ;当  $F_{0.01}>F>F_{0.05}$  时,显著(\*\*),当  $F>F_{0.01}$  时,极显著(\*\*\*).

表 6 PHCC 各因子阻盐、改盐成效的标准偏回归系数与  $t$  值的显著性检验

Table 6 Standardized coefficients, $t$ -value and significance of salt barrier effect with PHCC factors									
位置	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_3$	$X_{41}$	$X_{42}$	$X_5$	$X_6$
$Y_{穴内}$	-0.802	-0.296	0.357	—	-0.395	-0.304	0.611	0.656	0.424
$t$ 值	-11.8***	-4.14**	6.32***	—	-6.62***	-4.42**	8.88***	10.7***	7.54***
$Y_{穴外}$	-0.151	0.881	0.551	0.677	-0.174	-0.13	—	-0.329	0.131
$t$ 值	-3.017*	18.6***	11.9***	13.5***	-4.31**	-3.5**	—	-7.66***	3.56**

注:—表示不显著,未进入方程; $t_8(0.1)=1.86,t_8(0.05)=2.31,t_8(0.01)=3.36$ ,当  $t(0.1)<t<t(0.05)$  时较显著(\*),当  $t(0.05)<t<t(0.01)$  时显著(\*\*),当  $t<t(0.01)$  时极显著(\*\*\*)。

2)依据覆膜材料比( $X_2$ )的各标准偏相关系数大小判断各比值对穴内外全盐量的影响成效。在穴内: $5:5(X_{01}=0.357)>8:2(X_{00}=0)>2:8(X_{10}=0.551)>8:2(X_{00}=0)$ 。聚乙烯醇(PVA)具有良好的粘接性和成膜性,及在亲水性纤维素上易覆膜的特点<sup>[14]</sup>;聚丙烯酰胺(PAM)是常用的土壤改良剂,具增强土壤活性基团络合性与高吸收容量性<sup>[15]</sup>。结果显示,在穴内以两者参半的混合比具有最大的阻盐性。如提高 PVA 含量,虽可发挥较好的阻盐功能,但由于其易溶于水,在土壤潮湿环境中易流失与脱落,致使对盐的拦截降低。若 $<1/2$  值,则不显著;在穴外以提高 PAM 比例,显示出对穴外土壤盐含量最大的控制成效,随着其含量的减少,控制成效下降。据此得出 PHCC 的最佳覆膜材料比穴内为 5:5、穴外为 2:8。

3)果胶在 PHCC 中主要起着胶凝化和乳化稳定、微生物培养基的作用。结果表明,PHCC 袋内外的控盐效果与果胶用量呈负相关,其标准偏相关系数分别为-0.395、-0.174。说明果胶含量越多,控盐效果越差。这与果胶属带负电的亲水胶体,遇水溶胀且在碱性介质中又不稳定,其含量越高富集盐离子越多有关<sup>[16]</sup>。故选定 0.1% 果胶浓度作为

PHCC 袋的最佳结构参数。

4)依据填料种类( $X_4$ )的各标准偏相关系数得出不同填料类型对穴内外全盐量的影响成效。在穴内:混合( $X_{01}=0.611$ )>草炭( $X_{00}=0$ )>牛粪( $X_{10}=-0.304$ );穴外:混合( $X_{01}=0$ )>草炭( $X_{00}=-0.13$ )>牛粪( $X_{10}=0.131$ ),显示出各  $X_4$  对穴内外全盐量影响次序的一致性。因草炭含有大量的游离腐殖酸与腐殖酸盐,具有良好的团聚体结构,在参与土壤离子交换反应与阳离子交换量、改善土壤结构、调节 pH 值与保水肥性方面虽具明显优势<sup>[18]</sup>,但因其量的有限性及微生物活力的衰落,使其对穴外全盐量控制居第二位。牛粪虽含有多种营养元素,但因纯牛粪无充分腐熟,其优良的有机肥特性并未显现,相反,则因其发酵生虫、放热、释放甲烷等所产生的负作用大于正效应<sup>[19]</sup>,致使对穴内外全盐量影响均最小;而将草炭与牛粪混合,则显示明显的优势互补性。一方面在穴内总量限定下减少了牛粪量与负作用产生量,另一方面利用牛粪富含多种营养元素,激活草炭衰落的微生物,提升了理化物质含量,化解来自未腐熟牛粪的部分负作用,提速牛粪腐熟后对穴内全盐量控制的正影响力<sup>[20]</sup>。

5)填料厚度( $X_5$ )与穴内阻盐作用为正相关(0.656),与穴外控盐作用负相关(-0.329),说明在

穴内随填料厚度的增加,阻断底部的毛管垂直交换和周边水平渗透作用最大,控制全盐量成效在升高,而对穴外的控制力因土壤体量大,又不在控制范围内,则恰恰相反。

6)填料布设方式( $X_6$ )以底部+周围对穴内(0.424)和穴外(0.131)的贡献份额为最优。在穴内这种方式不但阻断了底层盐分随毛管水上移的垂直交换作用,也防止了周边水盐向穴内的渗漏。而在穴外则因灌溉只有重力水由穴内向穴外单向淋溶流动,而无回流作用,故这一结果也就成为自然。

### 2.3 预测方程的运用

为综合评价最优组合下各组分( $i$ )对 PHCC 袋内外控盐的贡献大小( $P_i$ ),需结合其变量  $X_{ij}$ 、 $X_{ik}$  及其在回归方程中的系数  $a_{ij}$ 、 $a_{ik}$  予以评价,其计算公式为: $y_i=X_{ij}\times a_{ij}+X_{ik}\times a_{ik}$ ,结果见表 7。

由表 7 可以看出,最优 PHCC 袋各组分在

0~40 cm 的深度范围内对穴内全盐量的影响次序为填料种类>填料厚度>耐盐树种>覆膜材料比>果胶含量>填料布设方式;对穴外则为耐盐树种>覆膜材料比>填料厚度>果胶含量>填料布设方式>填料种类。

因 PHCC 是以减少  $\text{Na}^+$  对其内耐寒园林乔木的持续性胁迫为宗旨,故以穴内最佳控制参数作为 PHCC 的最优组装模式。依据 2.3 的计算结果与分析,得到 PHCC 的最优组装模式为:耐盐树种为火炬,覆膜材料比 PVA:PAM 为 5:5,果胶用量为 0.1%,填料种类为牛粪+草炭,厚度为 7 cm,布设方式为底部+周围。

根据表 5 的穴内回归方程,可得最优 PHCC 组装模式下相对于对照点全盐量减少的百分数,其置信区间为 95%(表 8)。

表 7 最优组合 PHCC 各结构贡献

Table 7 Contribution of each factor under the optimal combination of PHCC

结构		耐盐树种	覆膜材料比	果胶	填料种类	厚度	布设方式
穴内	组合	火炬	5:5	0.1%	混合	7 cm	底部周围
	贡献/%	5.75	3.79	3.38	7.99	5.98	3.16
穴外	组合	国槐	2:8	0.1%	混合	1 cm	底部周围
	贡献/%	9.41	3.93	0.47	0.61	2.82	0.86

表 8 PHCC 最优结构下植穴内外土壤全盐量的预测值

Table 8 Predictive value of total salt content under the optimal combination of PHCC

取样点	$Y_i/\%$			全盐量/( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )		
	下限	上限	均值	下限	上限	均值
穴内	83.23	94.50	88.86	3.03	0.994	2.01
穴外	30.17	36.01	33.09	12.63	11.56	12.09

## 3 讨论

树木种类对植穴袋内外全盐量控制极为重要。树木是土壤水分利用的主体,由于不同树种的光合效率、蒸腾作用、水分的代谢和遮荫能力不同,对其周围小气候效应和土壤蒸发抑制力的影响程度差异性也很大,这势必反应在穴内外土壤水分的差异上<sup>[10]</sup>。而土壤中盐随水来,盐随水去,水分迁移必然影响盐分迁移。

PHCC 以保水材料 PVA、PAM 覆膜,以果胶辅助覆膜,二者对植穴阻盐作用贡献较小,这可能是与试验中仅用作边缘材料制备,用量较小有关。

由表 7 可以看出,填料种类对穴内作用居于首位,填料用以改善植穴袋下部的土壤结构与肥力,切断毛管水的上升运动,是阻止盐随水浸入袋内的最重要结构。填料厚度会影响官能团离子交换量与持水量,进而其与周边的盐水的交换。填料越厚,越不

易被吸湿水饱和,对毛管水阻断作用越强。填料布设方式对穴内阻盐贡献最小,说明盐分迁移垂直方向较水平方向更强。

## 4 结论

在寒冷盐渍土区植树,首先应立足于穴尺度的植穴结构控制(PHCC)的生态重建,再着眼设计与组装整个绿地生态结构布局。经 PHCC 各结构因子对其内外 0~40 cm 土层全盐量作用研究,发现其组装模式的改良空间,理论成效显著并可行。

在 0~40 cm 的深度范围内各结构因子对穴内全盐量的影响次序为填料种类>填料厚度>耐盐树种>覆膜材料比>果胶含量>填料布设方式;对穴外则为耐盐树种>覆膜材料比>填料厚度>果胶含量>填料布设方式>填料种类。当确定 PHCC 袋对穴内的最优组分为火炬树、PVA:PAM 为 5:5、果胶 0.1%、填料为牛粪+草炭、厚度为 7 cm、布设

方式为底部+周围时,其穴内 0~40 cm 范围内的土壤全盐量比对照组低( $88.86\pm5.64\%$ );而穴外土壤全盐量比对照组降低( $33.09\pm3.08\%$ ),比试验前原土降低( $45.6\pm2.38\%$ )。

参考文献:

[1] 张新时. 关于生态重建和生态恢复的思辨及其科学涵义与发展途径[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 112-118.  
ZHANG X S. An intellectual enquiring about ecological restoration and recovery, their scientific implication and approach [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 112-118. (in Chinese)

[2] TEWARI S, ARORA N K. Talc based exopolysaccharides formulation enhancing growth and production of *Helianthus annuus* under saline conditions[J]. Cellular and Molecular Biology 2014, 60(5): 73-81.

[3] CI J, ZHANG Y F. Application of stabilizer to improvement the saline soil in Lor Nur Lacustrine[J]. Advanced Materials Research, 2014, 912: 53-56.

[4] ARAGUEES R, MEDINA E T, CLAVERIA I. Regulated deficit irrigation, soil salinization and soil sodification in a table grape vineyard drip-irrigated with moderately saline waters[J] Agricultural Water Rmanagement, 2014, 134(5): 84-93.

[5] ABD EL-MAGEED, TAIA A, SEMIDA, *et al.* Effect of deficit irrigation and growing seasons on plant water status, fruit yield and water use efficiency of squash under saline soil[J] Scientia Horticultural, 2015, 186(21): 89-100.

[6] SADEGHI A, KARIMI E, DAHAJI P A, *et al.* Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2012, 28(4): 1503-1509.

[7] BENCHERIF K, BOUTEKRABT A, FONTAINE J. Impact of soil salinity on arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity and microflora biomass associated with *Tamarix articulata* Vahl rhizosphere in arid and semi-arid Algerian areas[J] Science of The Total Environment, 2015, 533(11): 488-494.

[8] 孔繁翔. 环境生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 131-136.

[9] 文科军, 吴丽萍. 盐渍土壤造林用植穴袋的制作方法[P]. 中国专利: 200910068031. X. 2009-03-05.

[10] 史家辉, 王新英, 刘茂秀, 等. NaCl 胁迫对胡杨幼苗叶主要渗透调节物质的影响[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(6): 6-11.  
SHI J H, WANG X Y, LIU M X, *et al.* Effect of NaCl Stress on main osmotic adjustment substances in the seedling leaves of *Populus euphratica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(6): 6-11. (in Chinese)

[11] 陈松河, 黄全能, 马丽娟, 等. NaCl 胁迫对竹类植物形态和生长活力的影响[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(3): 84-87.  
CHEN S H, HUANG Q N, MA L J, *et al.* Effect of NaCl stress on morphology and growth potential of five bamboo species[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(3): 84-87. (in Chinese)

[12] 文科军, 杨栩, 吴丽萍. 植穴控制体对盐渍土水分运移的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 32-37.  
WEN K J, YANG X, WU L P. Influence of planting hole control body on water movement of saline soil[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): 32-37.

[13] 文科军, 王瑞梅, 吴丽萍. 盐渍土植穴结构控制对海棠生长量的影响[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(1): 1-5.  
WEN K J, WANG R M, WU L P. Influence of saline soil planting hole composition control and environment conditions on crabapple growth[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2014, 42(1): 1-5. (in Chinese)

[14] 邱运仁, 张启修, 吴振东. 改性 PVA 超滤膜的制备与性能研究[J]. 膜科学与技术, 2001, 21(5): 25-28.

[15] 赵秀芳, 李娅莉, 赖羽寒, 等. 聚丙烯酰胺对天津滨海吹填土导水性能的影响研究[J] 中国农学通报, 2015, 31(7): 201-205.  
ZHAO X F, LI Y L, LAI Y H, *et al.* Effects of PAM application on the hydraulic conductivity of dredger fill in Tianjin coastal area[J]. Chinese Aricultural Science Bulletin, 2015, 31(7): 201-205. (in Chinese)

[16] 谢明勇, 李精, 聂少平. 果胶研究与应用进展[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 1-14.  
XIE M Y, LI J, NIE S P. A review about the research and applications of pectin[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(8): 1-14. (in Chinese)

[17] 王二林. 天津滨海盐生植物[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.

[18] 秦玲, 康文怀, 李嘉瑞, 等. 草炭及其改良土壤对氮、磷、钾的吸附特性[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(1): 20-24.  
QIN L, KANG W H, LI J R, *et al.* Nitrogen phoshorus and potassium adsorption characteristics of peat, sandy soil, loamy soil and their mixture[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2009, 29(1): 20-24. (in Chinese)

[19] 赵洪颜, 李杰, 刘晶晶, 等. 沼液堆肥化与牛粪的发酵特性及腐熟进程[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11): 2272-2276.  
ZHAO H Y, LI J, LIU J J, *et al.* Fermentation process and maturation characteristics for biogas slurry and cattle manure compost[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(11): 2272-2276. (in Chinese)

[20] 韩小霞. 土壤结构改良剂研究综述[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(19): 110-112.