

滨海盐碱土改良新工艺条件下杨树林土壤特性的研究

张 凯^{1,2}, 杨永利^{1*}, 张 清¹, 张福锁², 张金龙¹

(1.天津泰达园林建设有限公司, 天津 300457; 2.中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要:研究了滨海盐碱土改良新工艺条件下杨树林土壤的理化特性。结果表明,在养护管理措施相同的条件下,杨树林新工区土壤平均含水率为 20.36%,显著高于对照区域杨树林的 16.21%;新工区土壤容重均值为 $1.36 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,显著低于对照区域的 $1.46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。新工区土壤 pH 为 7.86,比对照区域土壤 pH 值低 0.23,而全盐含量为 $1.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著低于对照区域的 $2.67 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。聚类分析结果表明,新工区土壤中的盐分以 NaCl 和 Na_2SO_4 为主,而对照区域杨树林土壤盐分以 NaCl 为主;新工区土壤有机质含量为 $17.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效氮含量为 $20.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷含量为 $63.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别是对照区的 1.42 倍、4.31 倍和 1.32 倍。上述试验结果表明,滨海盐渍土改良新工艺条件在保持杨树林土壤水分、养分和疏松程度以及防止土壤返盐碱方面,全面优于对照区域,相应的表现为杨树成活率高,年生量较大,长势良好。研究结果可为滨海重盐碱地区深根性树种的大面积栽植提供理论依据。

关键词:盐碱土;杨树林;土壤理化性质;滨海地区

中图分类号:S156.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)07-1413-10 doi:10.11654/jaes.2013.07.019

Soil Physicochemical Properties of Poplar Plantation Stand Under the New Technique of Saline-alkali Soil Reclamation in Coastal Area

ZHANG Kai^{1,2}, YANG Yong-li^{1*}, ZHANG Qing¹, ZHANG Fu-suo², ZHANG Jin-long¹

(1.Tianjin TEDA Landscape Construction Limited Company, Tianjin 300457, China; 2.College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Soil physicochemical properties of poplar plantation stand under the new technique of saline-alkali soil reclamation in coastal area were investigated. The results show that the average soil moisture content of the new technique-used area was 20.36% which was significantly higher than that in the control (16.21%) under the same amount of water supply. Soil bulk density of the new technique-used area averaged $1.36 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, significantly lower than the control ($1.46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$). The mean soil pH in the new technique-used area was 7.86, lower by 0.23 than the control. Total salt content was $1.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ in the new technique-used area, significantly lower than the control ($2.67 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). The cluster analysis showed that NaCl and Na_2SO_4 were the main soil salinity in the new technique-used area, while NaCl was the main soil salinity in the control. The mean concentrations of soil organic matter, available nitrogen and available phosphorus content in the new technique-used area were $17.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $20.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $63.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively, which were 1.42, 4.31 and 1.32 times as high as the control. In a word, compared with the traditional technique, the new technique of saline-alkali soil reclamation was more efficient on the aspects of maintaining soil moisture and nutrients, keeping soil loosening and preventing the soil salinization. Thus higher survival rate and annual growth of poplar plants was found in the new technique-used area. This study could provide a theoretical basis and reference for planting deep-rooted trees in the coastal heavy saline areas.

Keywords: saline-alkali soil; poplar plantation; soil physicochemical property; coastal area

中国拥有面积为 3600 万 hm^2 的盐渍土^[1-2],合理开发利用这片土地进行农业、生态等建设,无疑具有

重大的意义^[3]。毛白杨和 107 速生杨作为优良的造林绿化树种,历年来受到园林和林业工作者的重视^[4-5]。特别是速生杨作为一种主根和侧根发达的深根性树种,如何在滨海重盐碱浅潜水地区成功地实现大面积栽植,丰富该地区的绿化树种,提高该地区的生态品质,一直是一个世界性的疑难问题^[6-7]。与国槐、白蜡等树种相比,杨树在本地区的栽植对地下水位的高低,

收稿日期:2012-11-02

基金项目:国家科技支撑计划项目(2009BAC55B03)

作者简介:张 凯(1981—),男,天津人,博士,在站博士后,主要从事盐碱地土壤特性、生物地球化学循环研究。

E-mail:zhangkai1008@163.com

* 通信作者:杨永利 E-mail:yb6658@126.com

控制土壤返盐碱的程度以及土壤的理化性质等方面的要求更加严格。目前,从地下基础工程方面来看,“浅潜水暗管排盐方法”专利技术的应用^[8-12],已成功地解决了土壤返盐碱问题。但是,从土壤理化性质的角度出发,传统的客土改良技术在杨树林营建方面并没有取得非常好的效果。一直以来,本地区杨树长势普遍不好,常出现成活率不高,生长量偏低,小老头树偏多等现象。

科研人员综合利用近30年工程、水利、化学、生物等领域取得的技术手段和行道树适生技术研究成果^[13],对传统的“客土改良技术”进行合理改良,使得种植土及客土结构更加适合本地区特殊生境下杨树的生长,并大规模应用于滨海重盐碱地杨树林建植工程当中,一次性种植成功我国滨海重盐碱地区最大规模的杨树林(475 200 m²),目前这些杨树长势良好,成活率高达98%。本文就是在此基础上对新工艺条件下的杨树林土壤理化性质及生长量进行全方面的调查,并与采用传统土壤改良措施的杨树林土壤进行对比,试图总结适合杨树在本地区生长的一些规律,从而为深根性树种在地下水位高的重盐碱地区栽植提供很好的借鉴作用和理论数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

位于天津市滨海新区汉沽区的泰达现代产业区(117°79'E,39°21'N)是滨海重盐碱浅潜水的典型代表地区。原始地貌为海积平原,海拔高程1~2.5 m,坡

降0.1‰,地下水位0.5~1.5 m,常引起海水倒灌;原始状态下,0~100 cm土体全盐含量达到39.5 g·kg⁻¹,地下水矿化度高达70~100 g·L⁻¹。本区太阳辐射量(5.1~5.6)×10⁹ J·m⁻²·a⁻¹,年均温12.3℃,年均降水589 mm,蒸发量达1931 mm,属于暖温带半干旱季风气候。

本试验选取天津泰达现代产业区汉北路至汉蔡路段绿化面积为475 200 m²的防护林带作为研究对象(下文中称为杨树林新工区)。该区域种植的植被,乔木以2009年10月栽植的毛白杨和107杨为主,灌木为大叶黄杨,地被植物使用的是蛇莓、五叶地锦、二月兰、紫花苜蓿、波斯菊等。

调查的土壤分为土坨土、种植穴土和改良客土3种类型,其中土坨土指的是为了保证杨树的根系不受损伤,随着杨树苗一起起运过来的原生长地的土壤,新工区及对照区域杨树土坨土的规格皆为以树干与地面的交点为圆心,半径60 cm的半球形;种植穴土指的是杨树栽植前,提前挖好的半径为120 cm,深度为100 cm的树穴在栽入杨树苗后往树穴中回填的土,这部分土壤是按照客土:山皮砂:腐熟牛粪:草炭=4:2:1:1(体积比)进行掺拌;整个杨树林新工区除土坨土和种植穴土区域,剩下的区域按照客土:山皮砂:草炭=3:1:1(体积比)进行改良(下文中称为改良客土),改土的深度为100 cm。种植穴土和改良客土中所掺拌的客土指的是从外面购入的土壤,其平均含盐量为0.29%,pH为8.49。对照区域选取与这片杨树林相邻绿化区域,植被以同一时间栽种的规格相同的107杨为主,改土技术则是目前绿化工作中普遍采用的土壤

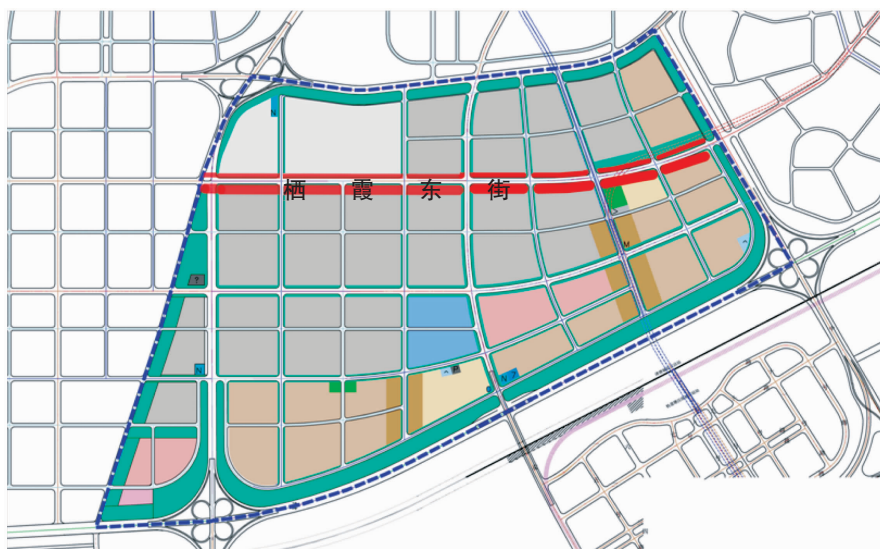


图1 泰达现代产业区杨树林地理位置概况(图中红色区域为试验区)

Figure 1 Location of poplar plantation in the TEDA modern industrial area(the red part is the experimental site)

改良措施,即仅在表层 0~30 cm 土壤中,按照购入的客土与掺拌腐熟牛粪或者草炭土 4:1 的体积比进行掺拌。新工区与对照区域采用了相同的“浅潜水暗管排盐方法”,即 1 m 土体以下为炉渣垫层及回填层,其下覆盖波纹塑料盲管作为排水通道(图 2),管的内径为 60 mm,盲管铺设间距为 8 m,孔隙大小为 $0.001 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ 。

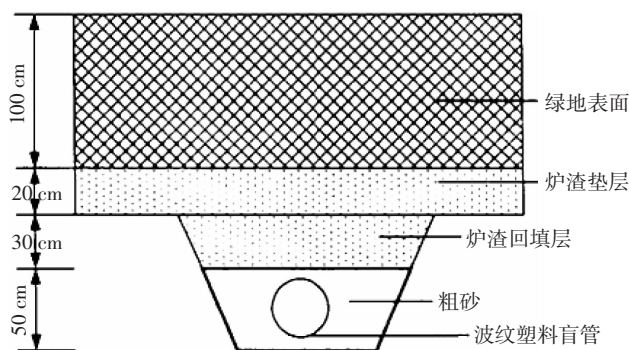


图 2 杨树林新工区与对照区域土壤剖面图

Figure 2 Soil profile of the new technique-used area and the control

试验区地下水位和地下水的矿化度月动态变化情况如图 3 所示,全年地下水的平均深度在 1 163.91 mm,地下水的矿化度均值为 $2\,793.39 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

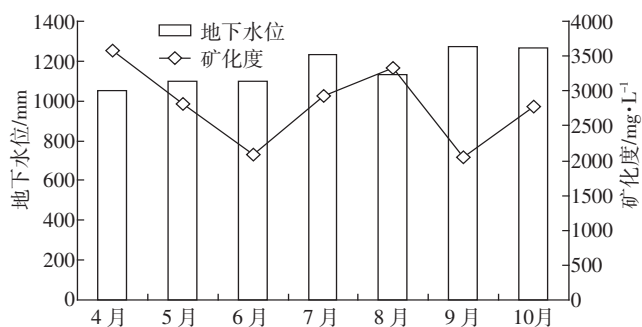


图 3 试验区地下水位与矿化度月动态变化(2012 年)

Figure 3 Monthly changes of water table and salinity in 2012

杨树林新工区与对照区域采取相同的灌水策略,其中调查取样年份(2012 年)生长季节的灌溉次数、灌溉量和年降雨量如表 1 所示。

1.2 取样和测定指标

2012 年 10 月,选取泰达现代产业区的西山路和老汉北路之间的面积为 $3400 \text{ m} \times 99 \text{ m}$ 的杨树林新工区作为试验样地。东西方向共设 3 个取样点,南北方向按不同的地被植物类型共设 5 个取样点,共计 15 个样点。在每个取样点,按照杨树的土坨土各取 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土样 5 个,混合成一个样本

表 1 杨树林新工区与对照区域灌溉管理及年降雨量(2012 年)
Table 1 Irrigation management of the new technique-used area and the control and annual rainfall in 2012

	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	总计
灌溉次数	2	1	2	1	0	1	7
灌溉量/mm	86.2+79.1	79.6	75.4+68.8	101.9	0	63.7	554.7
年降雨量/mm	704.9						

(土坨土的深度只有 60 cm);种植穴土壤以及改良客土区域分 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 5 层,每层各取土样 5 个混合成一个样本,用于土壤化学指标的测定。各样地挖取土壤剖面一个。在土壤剖面的各个层次取新鲜土样置于铝盒中,并封口带回实验室用于含水率的测定;在土壤剖面的各个层次用 100 cm^3 容重圈取自然状态的新鲜土样,密封后用于土壤容重的测定(图 4 和图 5),并利用土壤剖面观察杨树根系生长状况。测定的指标包括:土壤容重,土壤含水量,土壤紧实度,土壤全盐含量,pH 值,8 大离子,速效 N、P,有机质。每木检尺测定树木的胸径及年枝生长量(2011 年 10 月至 2012 年 10 月)。

1.3 样品处理

所采集的土壤样品晾晒于瓷盘内,置室内通风处

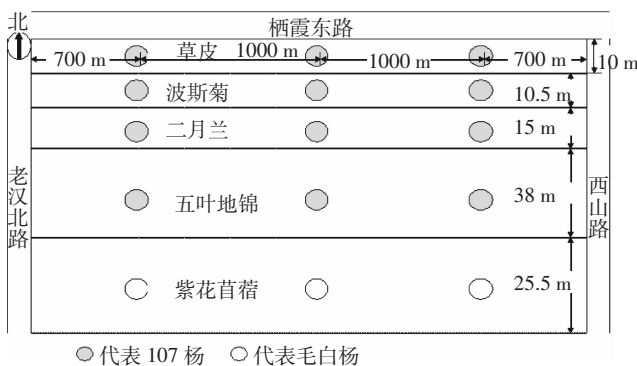


图 4 天津泰达现代产业区杨树林采样点示意图

Figure 4 Sample collection sites of poplar plantation in the TEDA modern industrial area

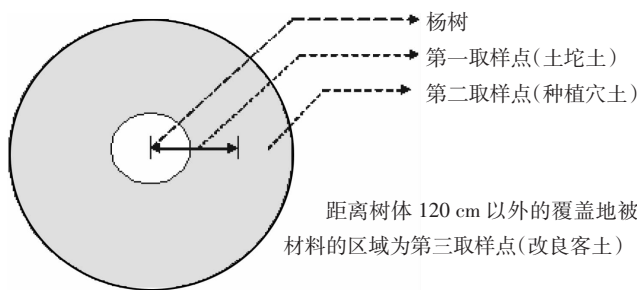


图 5 天津泰达现代产业区杨树林取样示意图

Figure 5 Sample collection method of poplar plantation in the TEDA modern industrial area

自然风干,弃去土壤中的侵入体和新生体,用硬木质器具碾细,过 100 目筛,装入具内塞的瓶内,供理化分析用。

1.4 指标测定

紧实度使用 SC-900 土壤紧实度仪进行测定;电位滴定法测定土壤中碳酸根及碳酸氢根离子;低温外热重铬酸钾氧化-比色法测定土壤有机质含量;土壤有效 P 采用 Bray II 法提取,紫外分光光度法测定;速效氮使用 FOSS 公司的 FIAstar 5000 流动注射分析仪测定。用原子吸收法测定 K、Na、Ca、Mg 等养分含量,所用的设备是北京普析通用仪器有限公司的 TAS-990AFG 型原子吸收分光光度计。用 Extech II 型电导仪和 pH 计测定土壤溶液电导率和 pH 值。

1.5 数据处理

使用 Excel 2003、SPSS 13.0 等软件对数据进行计算和单因素方差分析,对于新工区与对照区域土壤的各个指标进行了独立样本的 t 检验,用以分析两处土壤的差异性大小, $P<0.05$ 表示在 5% 的水平上,指标间的差异显著。

2 结果与分析

2.1 泰达现代产业区杨树林土壤物理性状

土壤是树木生长水、肥、气、热等条件的供给者,是决定种植在其上的树木生长状况的关键因素^[14]。

研究表明,在养管措施相同的条件下,杨树林新工区土壤平均含水率为 20.36%,显著高于对照区域(CK)杨树林的 16.21% ($P<0.05$)。说明新工艺条件下的土壤具有更好的保水性能,能够保证土壤的水分供给维持在更为合理的水平上。杨树林新工区的土壤容重的平均值为 $1.36 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,显著低于对照区域杨树林土壤容重 $1.46 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ($P<0.05$),进一步说明杨树林新工区改良后的土壤更为疏松,更加有利于杨树根系的生长和土壤透性的增加(表 2)。

图 6、7 和 8 反映的是试验区杨树林土壤紧实度状况,从 3 个图中可以看出,不论是土坨土壤、种植穴

表 2 杨树林新工区与对照区域土壤含水率与容重

Table 2 Soil moisture content and bulk density of the poplar plantation in the new technique-used area and the control

采样区		样本数	最小值	最大值	平均值	变异系数
新工区	含水率/%	195	16.47	24.24	20.36	10.66
	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	195	0.9	1.59	1.36	14.36
CK	含水率/%	65	12.88	20.97	16.12	18.33
	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	65	1.35	1.62	1.46	5.43

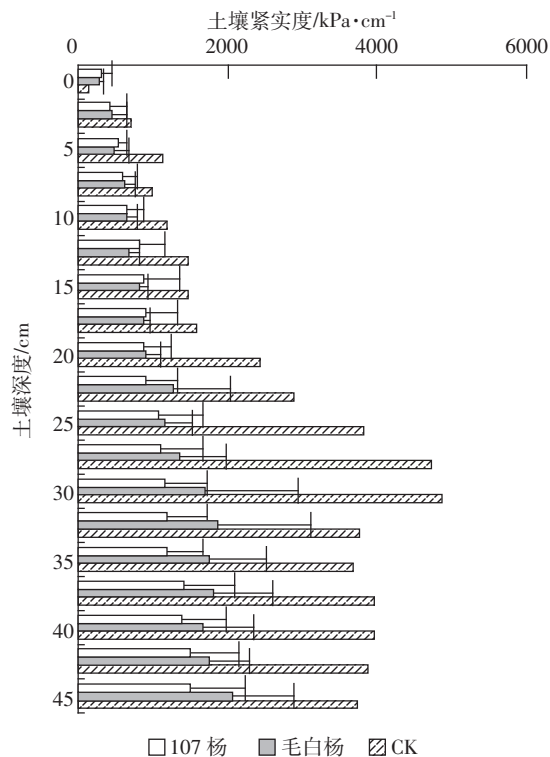


图 6 杨树林土坨土紧实度

Figure 6 Residential soil compaction of the poplar saplings

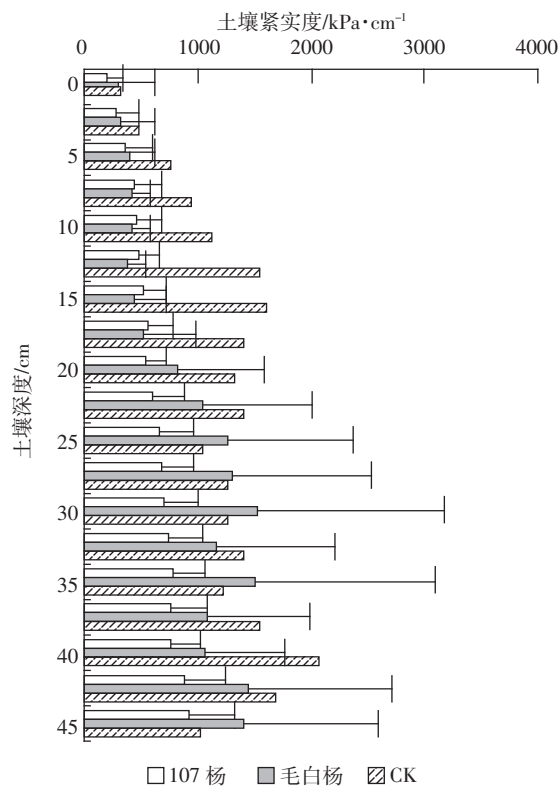


图 7 杨树林种植穴土壤紧实度

Figure 7 Soil compaction in the planting hole of the poplar plantation

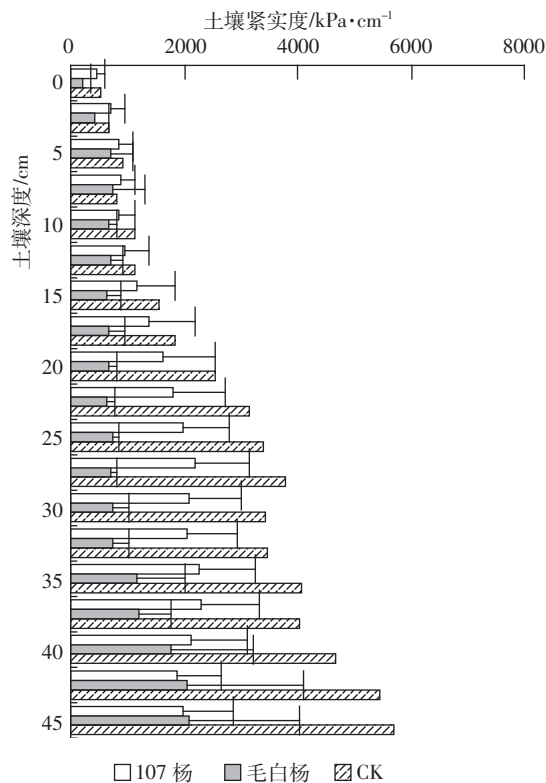


图 8 杨树林改良客土紧实度

Figure 8 Improved new soil compaction of the poplar plantation

土壤还是改良客土均呈现出表层(0~30 cm)土壤的紧实度低于下层土壤的趋势,且不同调查地点的土壤紧实度变异程度比较大。杨树林新工区的土坨土、种植穴土和改良客土的紧实度分别为 1 555.86、597.34、1 239.40 $\text{kPa}\cdot\text{cm}^{-1}$,皆显著低于对照区域杨树的 2 751.63、1 235.53、2 651.32 $\text{kPa}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($P<0.05$),说明杨树林新工区改良的土壤更为疏松,更加有利于杨树根系的生长和土壤透性的增加。值得一提的是,从原生长地随杨树根系带过来的土坨土,在不同的种植穴土和改良客土的条件下,经过杨树一段时间的生长,其原本相近的紧实度状况产生了较大的差异。这可能是由于杨树的根系生长状况不同,造成土壤疏松状况也产生差异。

2.2 泰达现代产业区杨树林土壤 pH 和盐分状况

通过对比杨树林新工区与对照区域土壤 pH 以及全盐这两个指标可以看出(图 9),杨树林新工区土壤 pH 为 7.86,比对照区域土壤 pH 值低 0.23;而杨树林新工区土壤全盐含量为 1.96 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著低于对照区域的 2.67 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($P<0.05$)。

杨树林新工区土壤阳离子以 Na^+ 为主, Na^+ 含量占到整个阳离子含量的 49.87%, 且随着土层深度的增加, Na^+ 含量呈现出逐渐增加的趋势, 在底层 90~100

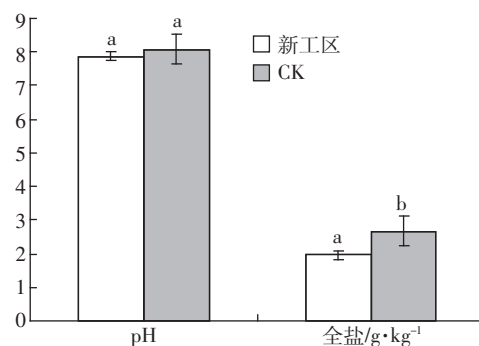
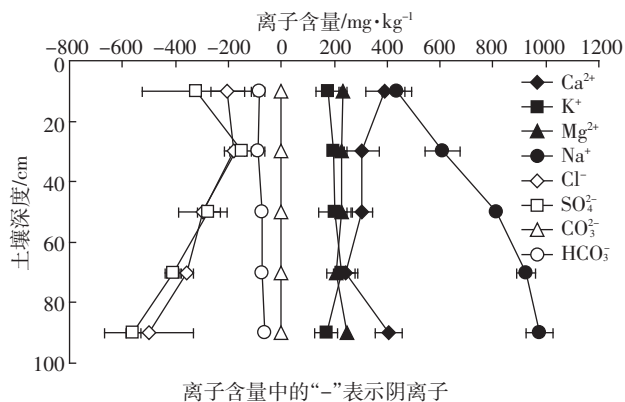
柱体上不同字母表示差异显著 $P<0.05$ 。下图同
plantation in the new technique-used area and the control

图 9 杨树林新工区与对照区域土壤 pH 与全盐含量

Figure 9 Soil pH value and total salt content of the poplar

cm 土层土壤中, Na^+ 含量达到了 975.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 是表层 0~10 cm 土层土壤中 Na^+ 含量 (436.67 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 的 2.23 倍; Ca^{2+} 在杨树林新工区土壤中呈现出一定的表聚现象, 其在表层 0~10 cm 土层土壤中的含量达到了 393.33 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 而后随着土层的加深, 呈现出逐渐下降的趋势, 但是在底层 90~100 cm 土层土壤又急剧上升, 达到了 405.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。新工区土壤中的阴离子以 SO_4^{2-} 和 Cl^- 为主, 两种离子含量占整个阴离子总量的 92.37%, 且两种离子含量的变化趋势相似, 皆为稍有表聚现象, 而后含量急剧下降, 10~20 cm 土层土壤中的含量达到最低, 然后随着土层深度的增加, 呈现出一定的上升趋势(图 10)。

与新工区相似, 对照区域杨树林土壤阳离子也以 Na^+ 为主, Na^+ 含量占到整个阳离子含量的 54.79%, 且随着土层深度的增加, Na^+ 含量呈现出逐渐增加的趋势, 在底层 90~100 cm 土层土壤中, Na^+ 含量达到了 988.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 而表层 0~10 cm 土层土壤中 Na^+ 含量为 792.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其变异系数达到了 8.07; 对照区土



离子含量中的“-”表示阴离子

图 10 杨树林新工区土壤盐分分布

Figure 10 Soil salt distribution of the poplar plantation in the new technique-used area

壤中的阴离子也以 SO_4^{2-} 和 Cl^- 为主, 两种离子含量占整个阴离子总量的 90.17% (图 11)。

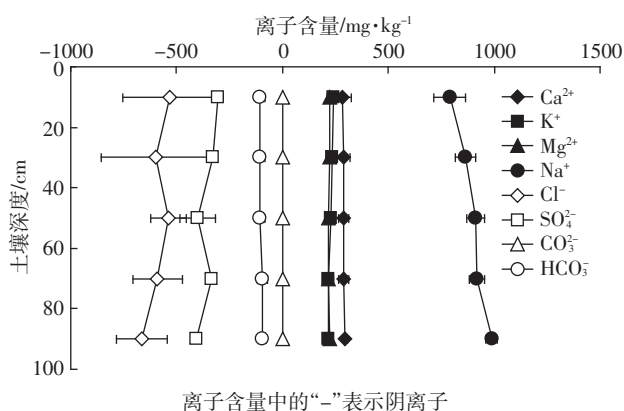


图 11 对照区域土壤盐分分布

Figure 11 Soil salt distribution of the poplar plantation in the control

通过对比两处杨树林土壤盐基离子的均值发现, 杨树林新工区土壤中的阳离子含量显著低于对照区域, 特别是占阳离子比重最大的 Na^+ 含量, 新工区为 $752.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 显著低于对照区域的 $895.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 阴离子也表现出了相似的规律, 其中新工区土壤中 $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ 含量为 $648.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而对照区域为 $940.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是新工区的 1.45 倍。

研究土壤盐分中离子与离子之间的运移关系, 可以为盐渍化土壤的预防和改良提供科学依据^[1]。试验结果表明, 杨树林新工区土壤 K^+ 与 Ca^{2+} 存在极显著负相关关系, 也就是说两个离子之间存在拮抗关系; 而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 之间, 以及 Na^+ 和 Cl^- 之间则存在极显著正相关关系 (表 3)。

对于对照区域杨树林土壤来说, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 之间、

表 3 杨树林新工区土壤各盐分离子相关矩阵

Table 3 Correlation coefficients between various salt ions of the poplar plantation in the new technique-used area

	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-
Ca^{2+}	1							
K^+	-0.79**	1						
Mg^{2+}	0.85**	-0.73**	1					
Na^+	-0.22	0.13	0.06	1				
Cl^-	-0.06	0.29	0.1	0.75**	1			
SO_4^{2-}	0.23	0.02	0.26	0.43	0.64*	1		
CO_3^{2-}	0	0	0	0	0	0	1	
HCO_3^-	0.38	-0.46	0.4	-0.34	-0.58*	-0.46	0	1

注: * 表示显著性水平 $P < 0.05$; ** 表示显著性水平 $P < 0.01$ 。下表同。

Na^+ 和 SO_4^{2-} 之间、 HCO_3^- 与 K^+ 和 Mg^{2+} 之间存在极显著正相关关系。 Na^+ 与 K^+ 存在极显著负相关关系, 也就是说土壤中随着 Na^+ 含量的增加, K^+ 含量呈现出逐渐降低的趋势 (表 4)。

表 4 对照区域杨树林土壤各盐分离子相关矩阵

Table 4 Correlation coefficients between various salt ions of the poplar plantation in the control

	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-
Ca^{2+}	1							
K^+	-0.27	1						
Mg^{2+}	0.68**	0.31	1					
Na^+	0.2	-0.70**	-0.16	1				
Cl^-	0.29	0.17	0.4	-0.15	1			
SO_4^{2-}	0.21	-0.4	-0.16	0.68**	0.14	1		
CO_3^{2-}	0.05	0	0	-0.24	0.22	-0.43	1	
HCO_3^-	0.23	0.67**	0.73**	-0.38	0.36	-0.25	0.13	1

本研究依据最短距离法对杨树林新工区和对照区域土壤的水溶性盐分离子 8 个量化指标之间的关系进行聚类分析 (R 型聚类)。研究结果表明, 按照距离系数阈值为 5.0 作为分类标准, 杨树林新工区土壤阳离子主要是 Na^+ , 阴离子则为 Cl^- 和 SO_4^{2-} , 而对照区域的则以 Na^+ 和 Cl^- 为主。也就是说杨树林新工区土壤盐分多是 NaCl 和 Na_2SO_4 , 而对照区域土壤盐分则以 NaCl 为主 (图 12)。

2.3 泰达现代产业区杨树林土壤养分状况

研究结果表明 (图 13), 杨树林新工区土壤有机质、速效氮及速效磷含量分别为 17.53 、 20.48 、 $63.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 皆显著高于对照区域杨树林土壤的 12.32 、 4.75 、 $48.31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($P < 0.05$)。

对于不同类型的新工区杨树林土壤来说, 土坨土的有机质含量最低, 为 $16.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 显著低于改良客土的 $18.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和种植穴土的 $18.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($P < 0.05$); 种植穴土的速效氮及速效磷含量最高, 分别为 25.30 、 $50.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 皆显著高于土坨土的 16.36 、 $37.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($P < 0.05$)。由此可见, 在杨树林新种植工艺条件下, 种植穴土壤和改良客土经过人工改良, 其养分含量已经全面超过其在原栽培地的土壤条件 (图 14)。

2.4 泰达现代产业区杨树林生长状况调查

2.4.1 杨树胸径生长特征

图 15 反映的是 107 杨树林、毛白杨林和对照杨树林胸径 (DBH) 的大小比较, 通过对比发现, 毛白杨的胸径显著大于 107 杨和对照区域 ($P < 0.05$), 其中对照区域杨树的胸径最小。这说明, 在泰达现代产业区

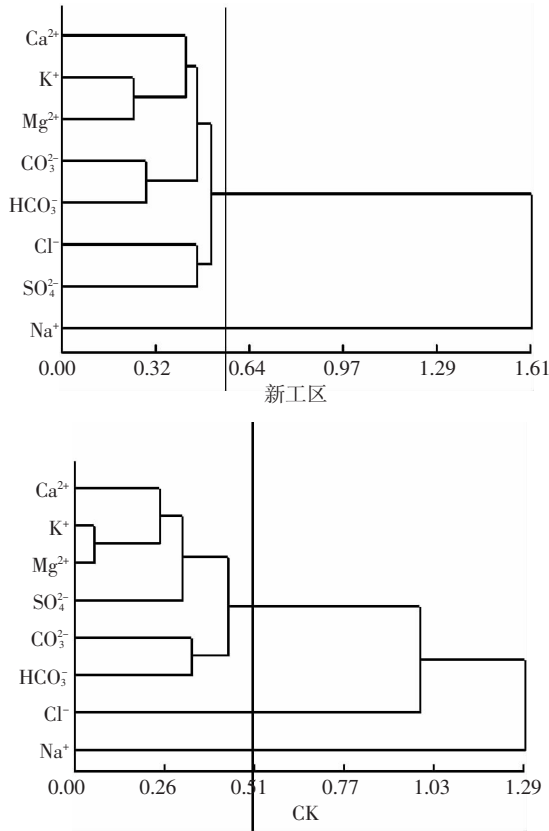


图 12 杨树林新工区和对照区域土壤盐分聚类分析龙骨图

Figure 12 Dendrogram of clustering analysis for the soil salts of the poplar plantation in the new technique-used area and the control

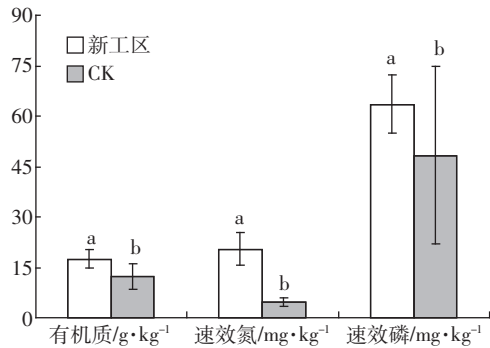


图 13 杨树林新工区与对照区域土壤养分含量

Figure 13 Soil nutrient concentrations of the poplar plantation in the new technique-used area and the control

杨树林营造新工艺条件下, 杨树的横向生长更为迅速。

2.4.2 杨树年枝生长量

图 16 反映的是 107 杨树林、毛白杨林和对照杨树林年枝生长量 (2011 年 10 月至 2012 年 10 月) 的大小比较, 通过对比发现, 107 杨的年枝生长量显著大于毛白杨和对照区域 ($P < 0.05$), 达到 2.26 m。而毛

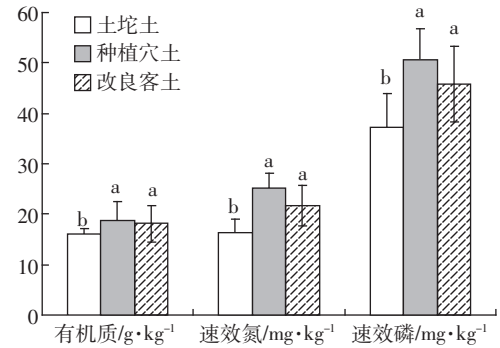


图 14 杨树林新工区不同类型土壤养分含量

Figure 14 Comparison of the mean nutrient concentrations of soil under the different types of the poplar plantation in the new technique-used area

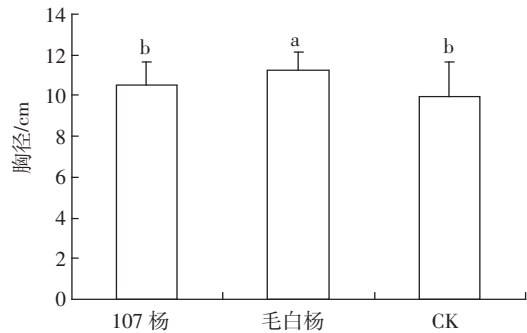


图 15 不同杨树林树木胸径对照图

Figure 15 Comparison of the mean DBH of different types of poplar plantation

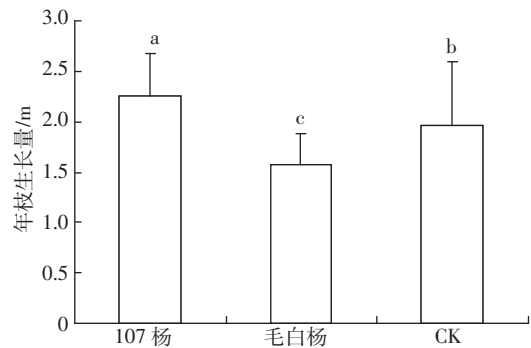


图 16 不同杨树林年枝生长量对照图

Figure 16 Comparison of the annual branch growth of different types of poplar plantation

白杨的年枝生长量最小, 仅为 1.57 m。这说明, 在泰达现代产业区杨树林营造新工艺条件下, 同样是 107 杨, 枝生长比对照区域更为迅速。而毛白杨枝生长量较为缓慢则可能与毛白杨将吸收的营养更多的用于树干的增粗生长有关。

2.4.3 杨树根系生长状况

通过对土壤剖面的观察发现, 不论是新工区还是

对照区,杨树主要水平根系的年均生长量约32 cm。土体表层20 cm的须根分布较多。水平支柱根平均分布的临界深度皆在60 cm土层内,极少数扎地根可穿透炉渣层。与新工区相比,对照区域杨树根系更为粗壮,且缺少须侧根系。

3 讨论

多年来,许多学者试图通过各种手段和技术,进行盐渍土壤的改良,以丰富盐滩绿化树种,提高植物多样性并取得了一定的效果^[13,15]。但随着研究的深入,在如何更加合理有效的利用资源,由传统的仅仅依靠经验的改良方法向理论化、系统化、精细化的更高水平发展方面提出了更高的要求。泰达现代产业区杨树林建设工程就是在对本地区30多年绿化经验全面总结和提炼的基础上,因地制宜,因树种制宜,精确推算的改良盐渍土方式的一次大规模的应用。本文所涉及的研究则是对这种新工艺条件下,决定树木生长的最关键因素之一——土壤理化性质的跟踪研究,以探讨杨树短期生长受人工土壤配方的影响。

土壤的保水性能与疏松程度是保证植物生长的重要条件^[14,16]。与对照区域相比,采用新工程工艺之后,杨树林土壤在保持土壤水分及维持土壤疏松程度上的效果更加显著。在浇水量相同的条件下,杨树林新工区土壤保水性能比对照区域提高了25.60%,土壤疏松程度也比对照区域提高了6.85%。种植穴土的客土:山皮砂:腐熟牛粪:草炭=4:2:1:1(体积比)以及改良客土的客土:山皮砂:草炭=3:1:1(体积比)的配比方式更能为杨树生长提供适生条件。

土壤pH是其基本性质之一^[20-21],它直接影响土壤中元素的存在状态、转化、迁移和有效性,也影响土壤中微生物的数量、组成和活性^[14,22]。与传统改土工艺相比,新工艺条件下的土壤更适合杨树的生长。杨树林新工区土壤pH比对照区域土壤低0.23;而杨树林新工区土壤全盐含量比对照区域低0.71 g·kg⁻¹。

研究表明,未经过工程措施改良的盐渍土壤表聚性强、剖面分布呈典型的漏斗型,即土壤剖面中盐分含量表层最高,向下层迅速减少^[23]。本实验的研究结果与此恰恰相反,不论是杨树林新工区还是对照区域,盐分的剖面分布呈典型的倒漏斗型。这可能是因为盐渍土控制与改良过程中,为了防止因地下水位过高而产生的返盐碱现象的发生,在地下铺设了淋层,人为切断了种植土壤与地下水之间的联系,土壤的毛细吸附作用得到削弱,这个时候灌溉水的淋溶作

用占到主导地位,使得表层土壤中的盐分不断向下层土壤转移。因此,盐分离子基本上呈现出底层土壤高于表层的现象。

本研究结果表明,新工区土壤中的盐分以NaCl和Na₂SO₄为主,而对照区域杨树林土壤盐分以NaCl为主。这一结果与汪珊等^[24]报道的土壤全盐量的衰减主要取决于Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻的结论相吻合。一般说来^[25],盐分对植物的危害力大小的顺序为:碳酸盐>氯化物>硫酸盐。这表明,杨树林新工艺在控制土壤盐碱向减少对植物伤害的方向演变更加明显。

土壤肥力及土壤保持养分的能力是评价土壤性质的重要指标^[17-18]。如果土壤保持养分的能力较差,不仅不能满足植物生长的需要,还会造成养分的大量流失,甚至造成水体的污染。研究表明^[19],造成水体污染的氮和磷因土壤养分流失的贡献率占到30%~90%。本试验研究结果表明,采用新栽植工艺的杨树林土壤在保持土壤肥力方面显著高于对照区域。这可能是由于在同样浇水条件下,新工区土壤的保水性能更加突出,这在一定程度上可以减少浇水的频率以及浇水量,因此,因灌溉水的淋溶作用而损失的土壤养分相对较少。

研究表明^[4,6-7],杨树根系有着极其明显的趋水性、向肥性和疏松性。本实验中对新工区及对照区杨树根系的观察结果表明,树木的营养吸收根大部分分布在土壤的表层。这一方面可能是由于受人为养管措施的影响,表层土壤的水分条件较下层土壤更为优越,另一方面可能是由于改土工艺的应用,使得表层土壤中的盐分离子含量较底层土壤低。与新工区相比,对照区域杨树根系更为粗壮,须根较少,则可能是因为对照区域土壤更为紧实,通气条件不如新工区。由此可见,新工区土壤在保证杨树水肥等条件的基础上,可以有效的控制杨树根系纵向生长,从而避免了地下矿化度过高的水分对杨树根系的伤害。

4 结论

上述试验结果表明,天津泰达现代产业区杨树建植工程工艺示范区杨树的种植土理化指标全面优于对照区域的种植土,使新栽杨树的成活率高,年生长量较大,长势更好。因此,在相同的客土来源以及采取相同的浅潜水暗管排盐技术的前提下,种植穴土的理化性质是影响杨树生长的关键因素。实践证明,杨树由于自身的树种特性,传统的表层土壤掺拌改土措施不能满足其生长的要求,而种植穴土按照客土:山皮

砂:腐熟牛粪:草炭=4:2:1:1(体积比)进行掺拌,以及考虑到杨树速生特点,对种植穴以外区域的土壤按照客土:山皮砂:草炭=3:1:1(体积比)进行改良的新改土工艺更适合杨树的生长。这种栽植新工艺的实施能为滨海重盐碱地区深根性树种的栽培提供很好的理论依据和借鉴作用。

参考文献:

- [1] 郭全恩,王益全,郭天文,等. 半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究[J]. 土壤, 2009, 41(4): 664-669.
GUO Quan-en, WANG Yi-quan, GUO Tian-wen, et al. Correlation of soil salt ions in orchard in semiarid saline regions[J]. *Soils*, 2009, 41(4): 664-669.
- [2] 张建锋. 中国盐碱地造林绿化的理论与实践[M]//刘小京, 刘孟雨. 盐生植物利用与区域农业可持续发展. 北京: 气象出版社, 2002: 221-225.
ZHANG Jian-feng. Theory and practice of saline land afforestation[M]//Liu Xiao-jing, Liu Meng-yu. The utilization of halophytes and sustainable development of regional agricultural. Beijing: Meteorological Press, 2002: 221-225.
- [3] 王雪梅,塔西甫拉提·特依拜,柴仲平,等. 新疆典型盐渍化区离子特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(12): 183-187.
WANG Xue-mei, Tashpolat Tiyp, Chai Zhong-ping, et al. Analysis on the characteristics of ions in the typical salinification area of Xinjiang[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(12): 183-187.
- [4] 郭淑英,马书燕,何新红. 欧美 107 杨盐碱地造林技术实验研究[J]. 造林与经营, 2011(10): 14-15.
GUO Shu-ying, MA Shu-yan, HE Xin-hong. Experimental study of afforestation technology in the saline land of *Populus xeuramericana* cv. 'Neva'[J]. *Silviculture and Management*, 2011(10): 14-15.
- [5] 王良桂,张焕朝,朱强根,等. 苏北杨树人工林连栽林地土壤氮素矿质化原位研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(6): 69-73.
WANG Liang-gui, ZHANG Huan-chao, ZHU Qiang-gen, et al. In situ study on soil nitrogen mineralization in successive rotation stands of poplar plantation in north Jiangsu province[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2009, 33(6): 69-73.
- [6] 吕士行,吕志英,徐锡增,等. 盐胁迫对杨树无性系生理特性及高生长的影响[J]. 南京林业大学学报, 1994, 18(4): 13-18.
LV Shi-xing, LV Zhi-ying, XU Xi-zeng, et al. The effect of NaCl on height growth of poplar seedlings, free proline and K^+ , Na^+ , Cl^- accumulation in leaves[J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 1994, 18(4): 13-18.
- [7] 曹福亮,方升佐. 耐盐杨树新无性系的筛选-杨树新无性系耐盐水平的综合评定[J]. 江苏林业科技, 1994(3): 1-6.
CAO Fu-liang, FANG Sheng-zuo. The selection of salt-tolerant new poplar clones: integrative evaluation on tolerance of the clones to salt[J]. *Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology*, 1994(3): 1-6.
- [8] 郭元裕. 农田水利学[M]. 3版. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 195-208.
- [9] GUO Yuan-yu. Farmland water conservancy[M]. 3rd ed. Beijing: China Water Power Press, 1997: 195-208.
- [9] Rao K V G K, Leeds-Harrison P B. Desalinization with subsurface drainage[J]. *Agricultural Water Management*, 1991, 19(4): 303-311.
- [10] Ritzema H P. Drainage principles and applications[M]. 3rd ed. Wageningen: ILRI Publication, 2006: 589-597.
- [11] 张金龙,张清,王振宇,等. 排水暗管间距对滨海盐土淋洗脱盐效果的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 85-89.
ZHANG Jin-long, ZHANG Qing, WANG Zhen-yu, et al. Effect of subsurface drain spacing on elution desalination for coastal saline soil[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(9): 85-89.
- [12] 张金龙,张清,王振宇. 天津滨海盐碱土灌排改良工程技术参数估算方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 52-55.
ZHANG Jin-long, ZHANG Qing, WANG Zhen-yu. Estimating method of irrigation and drainage engineering technical parameters for coastal saline-alkali soil reclamation in Tianjin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(8): 52-55.
- [13] 黄明勇,张民胜,张兴,等. 滨海盐碱地地区城市绿化技术途径研究-天津开发区盐滩绿化 20 年回顾[J]. 中国园林, 2009(9): 7-10.
HUANG Ming-yong, ZHANG Min-sheng, ZHANG Xing, et al. Research on urban landscape technologies in Coastal salt-alkali region: A review of salt-alkali coast landscaping in TEDA[J]. *Chinese Garden*, 2009(9): 7-10.
- [14] 崔晓阳,方怀龙. 城市绿地土壤及其管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 157-167.
CUI Xiao-yang, FANG Huai-long. Urban soil management [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2001: 157-167.
- [15] 邹桂梅,苏德荣,黄明勇,等. 人工种植盐地碱蓬改良吹填土的试验研究[J]. 草业科学, 2010, 27(4): 51-56.
ZOU Gui-mei, SU De-rong, HUANG Ming-yong, et al. Effect of planting Suaeda salsa on improvement of dredger filled soil[J]. *Pratacultural Science*, 2010, 27(4): 51-56.
- [16] Fynn R W S, Morris C D, Kirkman K P. Plant strategies and trait trade-offs influence trends in competitive ability along gradients of soil fertility and disturbance[J]. *J Ecol*, 2005, 93: 384-394.
- [17] Aerts R, Chapin F S. The mineral nutrition of wild plants revisited: A re-evaluation of processes and patterns[J]. *Adv Ecol Res*, 2000, 30: 1-67.
- [18] Aerts R, de Caluwe H, Beltman B. Is the relation between nutrient supply and biodiversity co-limited by the type of nutrient limitation?[J] *Oikos*, 2003, 101: 489-498.
- [19] 张福锁. 协调作物高产与环境保护的养分资源综合管理技术研究与应用[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 6-7.
ZHANG Fu-suo. Research and application of integrated nutrient management technology for the coordination of crop yield and environmental protection [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2008: 6-7.
- [20] Paul K I, Black A S, Conyers M K. Development of nitrogen mineralization gradients through surface soil depth and their influence on sur-

- face soil pH[J]. *Plant Soil*, 2001, 234:239–246.
- [21] Kyveryga P M, Blackmer A M, Ellsworth J W, et al. Soil pH effects on nitrification of fall-applied anhydrous ammonia[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2004, 68:545–551.
- [22] 董惠英, 蒋炳仲, 杨喜田, 等. 城市新建绿地系统的土壤剖面、养分特征及与植物生长的关系[J]. 河南农业大学学报, 2005, 3(1):35–39.
- DONG Hui-ying, JIANG Bing-shen, YANG Xi-tian, et al. Soil characters of section and nutrient and their relationship with plant growth in new urban greening system [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2005, 3(1):35–39.
- [23] 张小由, 龚家栋, 周茂先. 额济纳三角洲土壤盐分分布特征分析[J]. 中国沙漠, 2004, 4(24):442–447.
- ZHANG Xiao-you, GONG Jia-dong, ZHOU Mao-xian. Analysis on characters of soil salinity in Ejin delta[J]. *Journal of Desert Research*, 2004, 4(24):442–447.
- [24] 汪 珊, 张宏达, 汪 林. 宁夏青铜峡灌区水土盐量的衰减和积聚进程分析[J]. 水利学报, 2005, 36(3):1–8.
- WANG Shan, ZHANG Hong-da, WANG Lin. Analysis on the process of deduction and accumulation of salinity in phreatic water and soil in irrigation area[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2005, 36(3):1–8.
- [25] 龙怀玉, 张万钧, 黄明勇, 等. 天津滨海园林绿化中土壤盐分的演变规律[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(5):45–48.
- LONG Huai-yu, ZHANG Wan-jun, HUANG Ming-yong, et al. Soil salt evolvement regulations of seashore soil in Tianjin under landscape greening[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2000, 22(5):45–48.