

# 天津市滨海盐碱地刺槐种植区水盐动态变化规律

付颖, 李素艳, 孙向阳, 王琳琳, 张薇, 张涛, 张骏达

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

**摘要:** [目的] 通过对滨海地区盐碱土水盐动态变化规律的研究, 为该地区的土壤利用以及植树造林提供科学依据。[方法] 以天津大港地区刺槐林土壤为研究对象, 研究不同土层的土壤水盐年份变化和盐分离子分布特征。[结果] 试验地土壤全年含水量变化范围在 11.9%~28.8%; 含盐量变化范围在 4.2%~18.4%。春(3—5 月)秋(9—11 月)季节土壤含水量低, 含盐量高, 土壤盐分含量随土层深度增加逐渐降低; 夏季(6—8 月), 土壤含水量高, 含盐量低, 土壤盐分含量随土层深度的增加逐渐升高。pH 值在 7.37~8.39 之间, 土壤中  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  和  $Cl^-$  春季表层土壤(0—10 cm)含量最高, 分别为 0.04, 4.27, 2.69, 1.04 和 10.03 g/kg。除  $SO_4^{2-}$  和  $HCO_3^-$  外, 其他盐分离子在春季变异系数(29.99~162.98)明显大于夏秋季节(2.87~88.13)。[结论] 不同土层的土壤含水量和含盐量随当地降雨量呈明显的季节性变化; 试验地区土壤属于碱性土壤, 随季节变化不明显;  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  和  $Cl^-$  与含盐量变化趋势保持一致,  $SO_4^{2-}$  和  $HCO_3^-$  随季节变化没有明显的规律性; 春季各盐分离子在土壤中分布极为不均。

**关键词:** 水盐运动; 含水量; 含盐量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0028-06

中图分类号: S156.41

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.071

## Soil Water and Salt Dynamic Variation in *Robinia Pseudoacacia* Planting Area of Coastal Saline-Alkali Area in Tianjin City

FU Ying, LI Suyan, SUN Xiangyang, WANG Linlin, ZHANG Wei, ZHANG Tao, ZHANG Junda

(Academy of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** [Objective] The purpose of this study is to investigate the dynamic variation of soil water and salt in coastal saline-alkali area in Tianjin, and provide scientific basis for soil utilization and forest planting. [Methods] We took the *Robinia pseudoacacia* soil in Dagang district of Tianjin City as a case study, to study the annual variation of soil water and salt and salt ions distribution characteristics in different soil layers. [Results] The annual soil water content varied from 11.9%~28.8%, while salt content varied from 4.2%~18.4%. In spring(March to May) and autumn(September to November), soil water content was the lowest while salt content was the highest. Soil salt content increased with the increase of soil depth. Soil pH value ranged from 7.37 to 8.39. The content of  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  and  $Cl^-$  was the highest in the top layer (0—10 cm) in spring, and it was 0.04, 4.27, 2.69, 1.04 and 10.03 g/kg, respectively. Except for  $SO_4^{2-}$  and  $HCO_3^-$ , the coefficient variation of salt ions(29.99~162.98) in spring was greater than that in summer(2.87~88.13). [Conclusion] Soil water and salt content in different soil layers show an obvious seasonal variation along with local rainfall. Soil in the study area belongs to alkaline soil, and there is no significant seasonal change in soil pH value. Variations in  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  and  $Cl^-$  are consistent with soil salt content, while there is no significant seasonal variation in  $SO_4^{2-}$  and  $HCO_3^-$ . The distribution of salt ions is extremely uneven in spring.

**Keywords:** water and salt movement; water content; salt content

天津滨海盐碱新区位于华北平原的东北部, 东临渤海<sup>[1]</sup>, 盐碱地分布广泛, 拥有盐碱地总面积达  $4.93 \times 10^5$   $hm^2$ , 占全市土地总面积的 42.3%, 其中以滨海新区(塘沽、汉沽和大港)最为严重<sup>[2]</sup>。由于土

收稿日期: 2014-06-23

修回日期: 2014-08-04

资助项目: 国家科技基础性工作专项“标准规范及数据库构建”(2014 FY120700); 林业科技支撑项目(2009 BADB2 B0504)

第一作者: 付颖(1990—), 女(汉族), 山东省潍坊市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤生态。E-mail: momoyingying5@163.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, 主要从事土壤与植物营养。E-mail: lisuyan@bjfu.edu.cn。

壤盐碱化严重,导致该地区植被稀少,生态环境脆弱,已严重影响了该地区的农林业以及种植业的发展,并对人类的身体健康和生态环境造成了现实的极大危害<sup>[3-4]</sup>。

土壤的水盐动态变化规律是治理土壤盐碱化的理论基础,国内外对土壤的水盐动态变化已做过大量研究<sup>[5-6]</sup>,但是降水和气温作为天津滨海地区水盐动态的主要影响因素与其密切相关。天津滨海地区受季风气候的影响,雨量在年内分配极度不均,呈现明显的春旱夏涝、涝后又旱的现象,致使土壤中水盐运行频繁,蒸发积盐和淋溶脱盐过程交替发生,气候因素使土壤水盐状况呈现明显的季节变化<sup>[7]</sup>。为了探索天津滨海地区水盐动态变化规律,本文对天津大港地区刺槐林地土壤的水盐动态进行观测,拟在探讨各离子的季节分布变化规律,以期为该地区的土壤改良、生态环境建设以及农林业的发展提供科学的理论依据。

## 1 研究区概况

试验在天津市大港区进行,该地地处渤海湾的滨海淤泥质滩涂地区,属北半球暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均降雨量为 593.6 mm,而年平均蒸发量达 1 900 mm,约为降雨量的 3 倍,降雨主要集中在 6—9 月。年平均气温为 12.3 °C,每年的 12 月至次年的 2 月平均气温在 0 °C 以下,1 月份最低,平均气温为 -3.9 °C。该地区为海河水系冲积与海相沉积相互作用下形成的滨海低平原,地势低洼(大沽高程 2.5 m),地下水位高(距地面 0.5~1.0 m),矿化度大(70~1 089 g/L),土壤含盐量高,1 m 土体中平均含盐量 4.73%,最高可达 7% 以上,为 Na—Cl 型的滨海盐土,土壤质地黏重,通气透水性差,植被稀少,农业产量低,生态环境脆弱<sup>[8]</sup>,是中国盐碱地的典型代表,研究天津滨海地区的盐碱地水盐动态具有代表意义。

受季风气候的影响,天津的降水主要集中在夏季,春秋冬季为干旱季节,特别是冬春季节,经常出现持续无降水现象,导致冬春连旱<sup>[9]</sup>。试验地区年(2012 年)降水量为 850.3 mm,降水主要集中在夏秋季节,6—9 月降水量较高,占全年总降水总量的 79.3%,春季降水占 9.2%,秋季降水占 11.5%,7 月出现强降雨天气,降水总量达到 357 mm,占总降水量的 53%。天津地区从 5 月出现持续高温天气,最高气温出现在 8 月,最高可达 33.5 °C;12 月至翌年 1 月平均气温偏低,多数气温达到零下,此时容易出现冻土现象,各离子活动微弱,因此本试验选取 3—11

月作为研究对象(图 1)。降雨和温度都会对土壤中水盐变化起关键性作用,降水将土壤表层的盐分向下淋洗,并使地下水位迅速抬高,底部的盐分随地下水位上移,使底层土壤含盐量升高,而随着温度的升高,蒸发量逐渐增大,使盐离子随蒸发的水分子向表层土壤积聚。

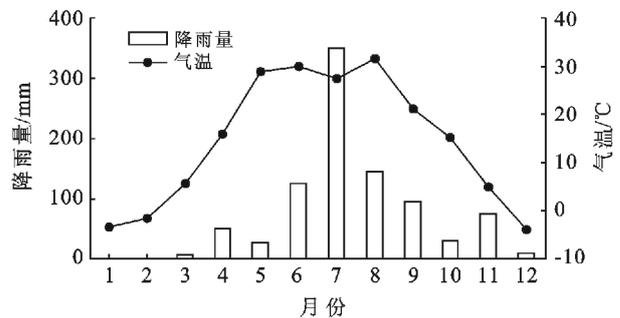


图 1 刺槐林地降水量及气温年动态变化

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

试验树种为耐盐碱乔木刺槐(*Robinia pseud-acacia* L.),于 2010 年春季栽植,植株行距为 3 m×3 m,翌年用同龄苗补植,利用自然降水,保持试验地的自然状态,目前(2012 年)刺槐生长指标见表 1。

表 1 刺槐林生长指标

项目	成活率/%	树高/m	胸径/cm	地径/cm
平均值	70.80	3.22	3.54	4.41

### 2.2 研究方法

2012 年 5—11 月间,在刺槐林地内设置取样点,每月中下旬在同一取样点挖掘土壤剖面,剖面深度为 80 cm,共设置 5 个层次:0—10,10—20,20—40,40—60 和 60—80 cm 分层采集土样,测定土壤的含水量、含盐量以及各盐基离子含量,通过对土壤含水量和化学性质的分析测定,研究不同层次土壤的水盐动态变化规律。

用烘干法测定土壤含水量。土壤化学性质的测定:采集的土壤样品经自然风干后过 1 mm 筛,按 5:1 的水土比浸提后,用 EDTA 络合滴定法测定  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$ ,用火焰光度计法测定  $K^{+}$  和  $Na^{+}$ ,用  $AgNO_3$  滴定法测定  $Cl^{-}$ ,用双指示剂—中和滴定法测定  $HCO_3^{-}$ ,用 EDTA 间接法测定  $SO_4^{2-}$ ,用电导率仪测定土壤的 EC 值,用 pH 计测定土壤的 pH 值<sup>[10]</sup>。以上测定均重复 3 次。

### 2.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 软件进行数据分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 刺槐林土壤水盐年内动态变化

3.1.1 试验地土壤含水量年内动态变化 通过对试验地刺槐林土壤的含水量的年内动态变化研究发现(图 2):不同的土层之间的高峰期不同,0—20 cm 的土壤含水量高峰期出现在降水量最大的 7 月,最高达 28.8%,最低值出现在 11 月为 11.9%;20—80 cm 的土壤含水量高峰期分别出现在 5 和 10 月,分别为 26.0%和 28.1%,最低值出现在 11 月为 14.7%。总的来说,20—80 cm 的土壤含水量高且稳定,0—20 cm 土壤的含水量随时间波动大。这与试验地地区的气候特征以及土壤的组成特性有关,表层土壤疏松,受降水影响比较大,水分补充快,散失也快,而底层土壤受气温和降雨影响较小,随季节性变化不明显。图 2 中反映出表层土壤的含水量主要受降雨和蒸发量的控制,而深层土壤含水量则同时受到降雨量和地下水位的多层控制。

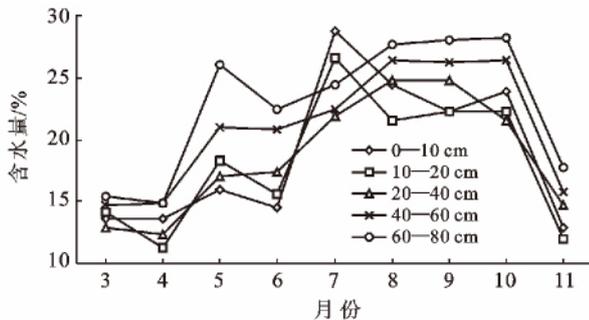


图 2 刺槐林各土层土壤含水量年内动态变化

3.1.2 试验地区盐分含量年动态变化 土壤的含盐量与土壤含水量变化密切相关<sup>[11]</sup>。0—20 cm 土壤含盐量在 5 和 10 月出现 2 个高峰期,分别为 18.4%和 12.8%,最低值出现在 6 月为 5.4%;20—80 cm 的土壤含盐量最高值出现在 8 月为 9.1%,最低值出现在 5 月为 4.2%。春(3—5 月)秋(9—11 月)季节土壤盐分含量随土层深度的增加而降低,表层土壤积盐严重,夏季(6—8 月)土壤中的盐分被雨水向下淋洗,土壤含盐量随土层深度的增加而增大(图 3)。总的来说,土壤中各土层盐分含量夏季低于春秋季节,表层土壤(0—20 cm)含盐量季节变化比较明显。

综上所述可得,土壤中盐分含量随土壤水分含量呈现出明显的季节性变化,有“盐随水来,盐随水去”的特点<sup>[12]</sup>。土壤含盐量随含水量变化主要分为以下 4 个阶段:第 1 阶段(3—6 月),该时期内土壤严重缺水,气温开始回升,在太阳辐射和风力作用下,土壤中

水分蒸发强烈,导致盐分残留在土壤表层,该时期为土壤含盐量最高峰时期<sup>[13]</sup>,盐分随土层深度的增加而减少;第 2 阶段(6—9 月),该时期随着降雨的增加,土壤含水量达到最高,而土壤含盐量却随着雨水的淋洗降至最低,盐分随土层深度的增加而增大。到 8 月随着降水的开始减少,气温达到全年中最高,地表水分蒸发快,地下水位高<sup>[14]</sup>,盐分离子随着水分子的蒸发从底层土壤被带到上层土壤,使表层土壤的盐分得到补充,含盐量有小幅增加。第 3 阶段(9—11 月),气温逐渐降低,仍有少量的降水,此时气候干燥,水分蒸发使盐分向上层聚积,盐分随土层深度的增加而减少。第 4 阶段(11—2 月),此时降水量基本为零,气温急剧下降,土壤冻结,内部各项活动减弱,土壤含水量含盐量基本不变<sup>[7]</sup>,因此本文不做赘述。总的来看,表层土壤受气温和降水影响比较显著,水分和盐分含量随季节波动明显;而深层土壤水分与盐分含量随季节变化不明显,这可能与底层土壤受地下水位影响以及根系活动的影响有关。

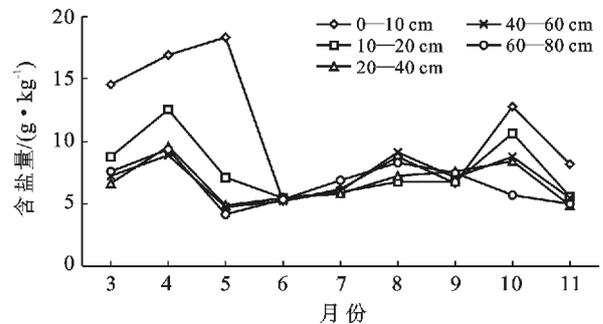


图 3 刺槐林各土层土壤含盐量年内动态变化

#### 3.2 刺槐林土壤中各盐分离子以及 pH 值年分布规律

##### 3.2.1 试验地区各盐分离子以及 pH 值年动态变化

Na 作为盐碱地中主要的盐分离子,K,Ca,Mg 作为土壤中的大量营养元素,其含量变化直接影响植物的生长情况<sup>[15]</sup>。对土壤中主要盐分阳离子分布特征分析:土壤中  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  含量在各层土壤中变化趋势相似,在 0—10 cm 土层中季节变化比较明显,春季(3—5 月)各离子含量明显高于其他季节, $\text{Na}^+$  在 5 月达到年最高值 4.27 g/kg,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  在 4 月达到年最高值 2.69 和 1.04 g/kg;在 10—80 cm 土层中各离子含量随季节变化不明显,分别在 8 和 10 月有小幅上升趋势。 $\text{K}^+$  作为土壤中含量最少的组分在不同季节中各土层含量变化比较明显,变化趋势基本一致,峰值分别出现在 5 和 9 月,为 0.04 和 0.03 g/kg,同期表层土壤(0—10 cm)含量高于底层土壤(10—80 cm)(图 4)。总的来看, $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  和

$Mg^{2+}$  含量变化与盐分含量变化趋势一致,春季(3—5月)气温回升,土壤水分蒸发严重,各离子在地表强烈积累;夏季(6—8月)随着降雨量的增多,离子被淋洗,土壤中各离子含量降低,到 8 月随着土壤中水分

的增加,一些矿物质得到释放的,使土壤中各离子含量有所增加;秋季(9—11月)随着降雨的减少,气候干燥,地下水位抬高<sup>[14]</sup>,土壤中盐分随着土壤水分蒸发量逐渐升高。

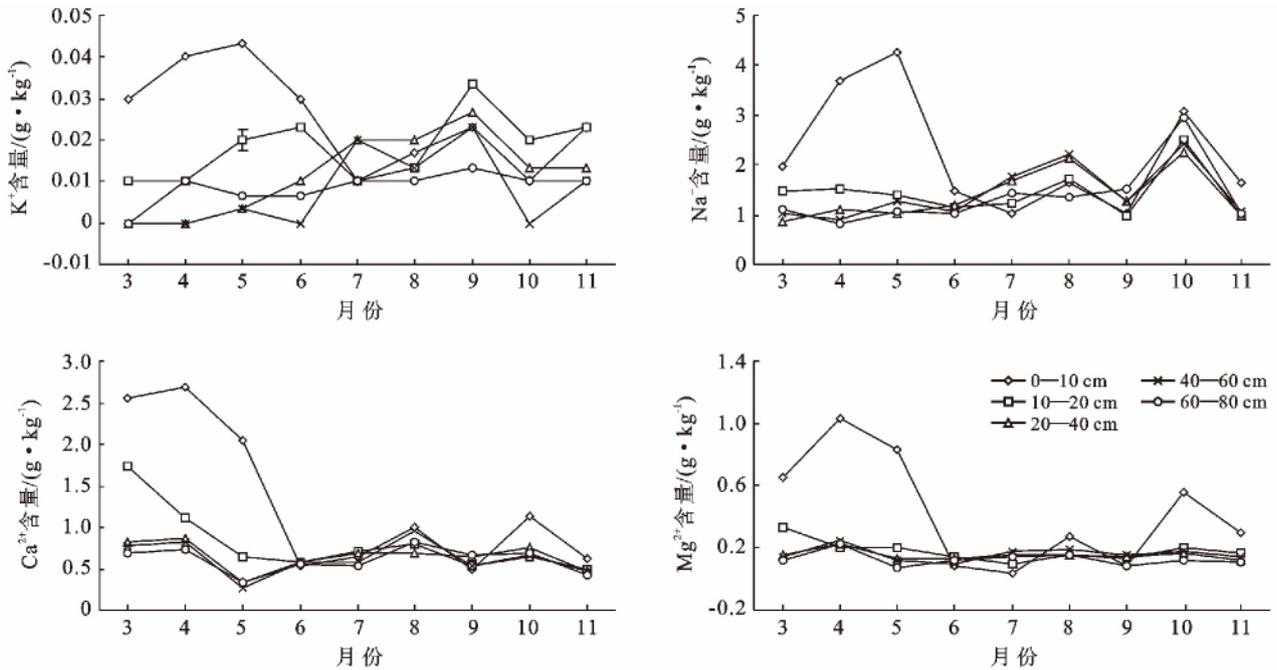


图 4 0—10 cm 刺槐林土壤阳离子含量年内动态变化

土壤阴离子分布随季节变化也表现出一定的规律性:土壤中  $Cl^-$  含量在 0—10 cm 土层随季节变化最为明显,在 3—6 月含量显著高于其他土层,在 4 月达到最高值 10.03 g/kg;6—11 月变化平稳,7 月达到最低值 1.83 g/kg,10 月有小幅上升。10—80 cm 土层中  $Cl^-$  含量变化趋势基本一致,各土层之间差异不显著,随季节变化不明显。 $SO_4^{2-}$  在各土层中随季节变化趋势基本一致,受季节影响变化明显,分别在 5 和 10 月出现高峰值 3.01 和 3.41 g/kg;总体表层土壤中含量高于底层土壤,这可能与刺槐林的根系活动有关,刺槐为浅根系乔木,根系对养分离子的吸附和释放都直接影响根系范围内离子的浓度<sup>[16]</sup>。 $HCO_3^-$  含量相对较小,同期各土层差异不显著,变化没有明显的规律性,在 3—9 月随季节变化不明显,而在 10 月出现显著升高,最高值达到 1.30 g/kg。可能因为土壤溶液中各离子之间相互作用, $HCO_3^-$  与水作用生成  $CO_3^{2-}$  与  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  作用生成沉淀导致<sup>[17-18]</sup>(图 5)。

试验地土壤的 pH 值偏高,集中在 7.5~8 之间,属于碱性土壤,pH 值随季节变化不明显,同期各土层之间差异不显著,最高值出现在 6 月,土壤 pH 值为 8.39,最低值出现在 5 月,pH 值为 7.37(图 5)。

3.2.2 试验地区各盐分离子的空间变异系数 土壤各离子含量的变异系数在一定的程度上可以反应出土壤剖面中各盐分离子在不同土层内的变化程度。离子含量的变异系数越大,说明该离子在土壤剖面中分布越不均匀,反之则分布越均匀<sup>[19]</sup>。从分析结果显示, $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  和  $Cl^-$  变异系数在春季(3—5 月)明显高于其他季节,且  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  的变异系数最高值分别为 162.98, 104.98, 116.13, 表现出强变异性。说明春季离子在土壤中分布极为不均,由前文分析可得,春季表层土壤(0—10 cm)各离子含量明显高于其他土层。 $SO_4^{2-}$  变异系数在各月份之间变化不大,在 5 和 10 月达到较高值为 69.81 和 44.51,说明  $SO_4^{2-}$  在土壤中的分布和迁移性都较弱。 $HCO_3^-$  的变异系数最小,最小值出现在 4 月为 1.88,最高值出现在 10 月为 38.29,变化没有明显的规律性(表 2)。

对比不同季节各离子在垂直剖面的变异系数,3—5 月各离子的变异系数明显高于其他月份,说明春季各离子在土层中连续性差,表层土壤盐分积聚严重,造成离子在土壤各土层中分布不均,这与本文各离子分布分析研究结果一致。6—9 月随着降雨增多,淋溶作用增强,各离子的迁移运动比较强烈,使得

各离子在各土层之间的分布变的均匀。在 10—11 月份经过盐分的蒸发后,地下水对深层土壤的盐分有了一定的补给,使得各离子在不同土层中分布相对

均匀。综上所述,我们可以针对不同季节的各离子在土壤剖面中的分布变化特征有针对性的对盐渍土进行改良。

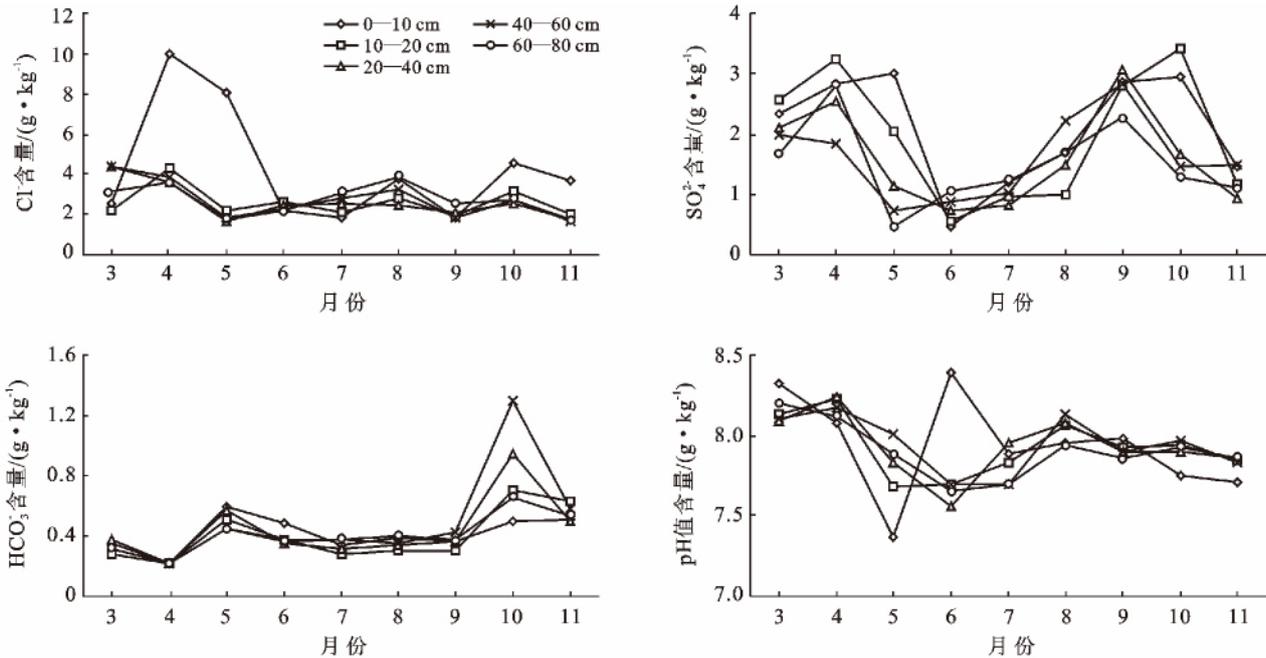


图 5 0—10 cm 刺槐林土壤阴离子含量和 pH 值年内变化

表 2 土壤盐分离子的变异系数

离子	变异系数/%									
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	
K <sup>+</sup>	162.98	136.93	111.49	88.13	39.12	25.91	30.11	67.75	42.70	
Na <sup>+</sup>	34.04	74.87	76.33	14.21	21.52	18.86	18.01	13.31	24.80	
Ca <sup>2+</sup>	69.74	65.81	104.98	2.87	11.41	14.22	13.18	26.59	15.68	
Mg <sup>2+</sup>	79.66	93.30	116.13	20.70	44.76	26.34	27.14	71.75	47.24	
Cl <sup>-</sup>	29.99	54.33	88.47	7.66	20.46	19.25	13.58	25.85	37.92	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15.95	19.59	69.81	31.43	16.41	27.10	10.89	44.51	19.12	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.76	1.88	13.52	13.48	12.38	11.52	11.97	38.29	10.41	

## 4 结论

通过对试验地区春夏秋 3 季土壤含水量和含盐量变化规律分析,得出试验地各土层年含水量变化范围在 11.9%~28.8%;含盐量变化范围在 4.2%~18.4%,含水量和含盐量随降雨量呈现明显的季节性变化,表层土壤(0—20 cm)水盐含量受降水影响变化最为明显;不同土层中土壤的含盐量随土壤含水量变化呈现出一定的规律性:春(3—5 月)秋(9—11 月)季,气候干燥少雨,土壤含水量低,在土壤的蒸发作用下表层土壤反盐严重,土壤盐分含量随土层深度的增加逐渐减小,夏季(6—8 月)随着雨水的增多使盐分向下淋洗,地下水位抬高,土壤中含水量增大含盐量减小,土壤盐分含量随土层深度的增加而增大。降水

直接影响表层土壤中的水分含量和各层次中盐分离子分布,大大降低了土壤盐分含量,促进刺槐林的生长。

对土壤 pH 值以及各盐分离子分布特征分析得出,试验地区土壤为碱性土壤,pH 值随季节变化不明显;K<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>,Ca<sup>2+</sup>,Mg<sup>2+</sup>和 Cl<sup>-</sup>随水分淋洗迁移性比较强,在土壤垂直剖面含量随季节变化比较明显,与土壤盐分变化规律保持一致,春季(3—5 月)表聚现象严重;SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>在各层土壤中随季节变化没有一定的规律性。对各盐分离子不同时期在土壤剖面中的变异系数分析,除 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>外,其他盐基离子在春季变异系数大(29.99~162.98),表现出强变异性,说明春季各盐分离子分布极为不均。

本文对研究区域内各土层空间、季节的土壤水盐

变化规律进行的研究与前人研究结果基本保持一致,并初次对滨海盐碱地不同盐基离子的具体季节的分布和变化规律做了探究,可作为该地区植树造林,改良滨海地区盐渍土的初步依据。但是在天津滨海地区造林除要充分考虑季节因素,选择根系范围深的林木外,植树造林时最好还要考虑到地下水的影响,根据不同季节盐分特征进行综合治理,在旱季土壤返盐作用强烈的时节,做好排盐措施,在汛期要做好排水防涝措施。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 曹涌,徐海清,张根发,等. 直辖市、计划单列市农业土地资源潜力开发研究[M]. 北京:中国农业出版社,1999:57-64.
- [2] 蒋德勤,天津市土壤普查办公室,天津市土肥所,等. 天津土种志[M]. 天津:天津科学技术出版社,1990:52-67.
- [3] 张征云,孙貽超,孙静,等. 天津市土壤盐渍化现状与敏感性评价[J]. 农业环境科学学报,2006,25(4):954-957.
- [4] 欧阳志云,王效科,苗鸿,等. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报,2000,20(1):9-12.
- [5] 李毅,王文焰,王全九,等. 等温与非等温条件下水盐运动特征的比较[J]. 水土保持学报,2004,18(6):16-20.
- [6] 殷小琳,丁国栋,张维城. 降雨及隔盐层对滨海盐碱地水盐运动的影响[J]. 水土保持科学,2011,9(3):40-44.
- [7] 张妙仙. 土壤水盐动态预测及调控[M]. 北京:科学出版社,2012:20-54.
- [8] 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[J]. 中国园林,2009,25(9):7-10.
- [9] 段丽瑶,刘爱霞,史王君. 1918—2010年天津降水指数变化特征[J]. 气候变化研究进展,2012,8(3):171-177.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [11] 李利,何兴元,张希明. 准噶尔盆地盐渍土壤水盐动态及其对植被影响[J]. 辽宁工程技术大学学报,2007,26(2):296-299.
- [12] 李朝生,晓晖,于春堂,等. 放牧对黄河低阶地盐化草场土壤水盐空间异质性的影响[J]. 生态学报,2006,26(7):2402-2408.
- [13] 支欢欢,杨敏生,董宇,等. 天津滨海地区盐碱土季节动态变化[J]. 土壤学报,2010,47(1):187-191.
- [14] 尹建道,吴春森,杨进军,等. 盐碱地近 30 a 研究历程的分析与思考[J]. 天津农业科学,2005,11(1):1-4.
- [15] 高彦花. 渤海湾盐碱地土壤水盐动态及耐盐植物改良盐渍土研究[D]. 山东泰安:山东农业大学,2011.
- [16] 曹帮华,吴丽云,宋爱云,等. 滨海盐碱地刺槐(*Robinia pseudoacacia*)混交林土壤水盐动态[J]. 生态学报,2008,3(28):939-945.
- [17] 古丽格娜. 哈力木拉提,于田. 绿洲土壤盐分动态变化特征分析[J]. 新疆农业科学,2008,45(3):541-546.
- [18] 俞仁培. 对盐渍土资源开发利用的思考[J]. 土壤通报,2001,32(专辑):138-140.
- [19] 张红,杨建锋,章光新,等. 苏打盐渍土剖面盐分动态变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2007,4(21):117-12.
- [12] 吴煜禾,张洪江,王伟,等. 重庆四面山不同土地利用方式土壤水分特征曲线测定与评价[J]. 西南大学学报:自然科学版,2011,33(5):102-108.
- [13] 张杰,高鹏,孙会敏,等. 鲁中南山地典型植被土壤颗粒与土壤水分特征曲线的分形学特征[J]. 中国水土保持科学,2013,11(1):75-81.
- [14] 国家标准局. GB7845—87, 森林土壤颗粒组成(机械组成)的测定[S]. 北京:中国标准出版社,1987:141-151.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,2000:108-109.
- [16] 华孟,王坚. 土壤物理学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993:120-125.
- [17] 张志明,孙向阳. 北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):51-55.
- [18] 张小泉,毕树峰. 太行山北部中山幼林地土壤水分的研究[J]. 林业科学,1994,30(3):193-200.

(上接第 27 页)