

芦苇不同生育期盐碱土离子含量动态变化研究

张露, 韩霁昌, 马增辉, 陈田庆, 师晨迪, 魏静

(陕西省土地工程建设集团 陕西地建土地工程技术研究院

国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 西安 710075)

摘要:研究芦苇不同生育期盐碱土离子含量的动态变化,为生物措施治理盐碱土壤的应用提供参考。自制水泥圆柱装置,0.8 m(内径) \times 0.98 m(高度)20个,用陕西定边盐碱土进行填装,一排10个装置分别种植芦苇,另一排10个装置不种植任何作物,采用土钻在芦苇各生育期取每个装置0—20 cm土样,分别测定了芦苇出苗期、展叶期、开花期、成熟期和枯黄期盐碱土pH,电导率, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} 的含量。芦苇在整个生长阶段能促进盐碱土壤的pH值降低0.65个单位,电导率总体下降756.55 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Ca^{2+} 含量减少138.70 mg/kg, SO_4^{2-} 含量减少115.35 mg/kg, Cl^- 含量减少57.76 mg/kg, HCO_3^- 含量减少57.76 mg/kg, Na^+ 含量减少55.58 mg/kg, CO_3^{2-} 含量减少31.66 mg/kg, Mg^{2+} 含量减少26.93 mg/kg, K^+ 含量减少12.65 mg/kg。盐碱土上种植芦苇比不种植芦苇的土壤pH,电导率, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} 含量均有所降低,芦苇可能存在富集盐分的能力,在一定程度上能改良陕西定边土壤的盐碱化状况。

关键词:芦苇;盐碱化;pH;电导率;盐基离子

中图分类号:S151.9⁺3; S156.4⁺9

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)04-0038-05

Study on Dynamic Change of Ion Contents of Saline-Alkali Soil During Different Reed Growth Stages

ZHANG Lu, HAN Jichang, MA Zenghui, CHEN Tianqing, SHI Chendi, WEI Jing

(Shaanxi Land Construction Group, Shaanxi LCG Land Project Technology Institute, Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering the Ministry of Land and Resources of China, Xi'an 710075, China)

Abstract: It provides a reference for the application of biological measures to control saline soils to study the dynamic change of ion contents of saline-alkali soil during different reed growth stages. Using the saline-alkali soil in Dingbian County, Shaanxi Province to pack the cement column device [0.8 m(φ) \times 0.98 m(h), 20 numbers], and planting reeds in 10 columns in a row, not planting any plants in 10 columns in another row, using soil auger to collect 0—20 cm soil sample at each reed growth stage in every column, then saline-alkali soil indexes of potential of hydrogen, electrical conductivity, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} content were measured during reed seedling, leafing, flowering, maturity and withering period, respectively. The results showed that reed could make that the pH lower 0.65 units, the electrical conductivity overall declined 756.55 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Ca^{2+} content decreased 138.70 mg/kg, SO_4^{2-} content decreased 115.35 mg/kg, Cl^- content decreased 57.76 mg/kg, HCO_3^- content decreased 57.76 mg/kg, Na^+ content decreased 55.58 mg/kg, CO_3^{2-} content decreased 31.66 mg/kg, Mg^{2+} content decreased 26.93 mg/kg, K^+ content decreased 12.65 mg/kg during throughout growing stage. The potential of hydrogen, electrical conductivity, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} contents of saline-alkali soil with planting reeds decreased more than not planting reeds. The reed capability to enrich salinity might exist, to a certain extent, and can improve the situation of soil salinization in Dingbian County, Shaanxi Province.

Keywords: reed; salinization; potential of hydrogen; electrical conductivity; base ion

土壤盐碱化是当今世界上土地荒漠化与土地退化的主要类型之一^[1],制约着耕地有效利用和农业持续发展^[2],据统计全球约有 $9.52 \times 10^9 \text{ km}^2$ 盐碱化土地^[3-4],现已成为一个世界性的生态问题。我国是受盐碱化影响较为严重的国家^[5],盐碱地面积约为 $3.6 \times 10^5 \text{ km}^2$,占全国可利用土地面积的 4.88%^[6],其中以东北、内蒙古和西北内陆的盐碱化最为严重,占全国盐碱地面积的 69.03%^[7-9]。近些年,工程措施^[10-12]、化学措施^[13-14]改良盐碱土已取得一定的成效,也有研究者利用生物措施,研究耐盐植物,如有学者对紫花苜蓿进行耐盐生理及盐碱胁迫研究表明紫花苜蓿有一定的耐盐性^[15-17],且在其种子萌发期抗逆性较强,可通过在复杂盐碱逆境下快速的根系生长,来确保植株的成活^[18]。蔺吉祥等人通过培育,筛选了一些耐盐新品种,指出山苜2号在松嫩平原的盐碱地治理上已获得了很好的区域性试验评价^[19]。肖克飏等研究指出耐盐植物能明显降低惠农县盐碱地耕层的土壤盐分,其盐分降低顺序为怪柳>苇状羊茅>油葵^[20];有研究者也指出大岛野路菊、牡蒿、矾菊等植物对盐碱胁迫受害症状表现较轻,耐盐性强^[21-22]。目前研究主要集中在植物的耐盐性上^[23-26],而对耐盐植物各生长阶段离子含量的动态变化研究尚且不足。所以,本研究在室内模拟条件下,研究分析耐盐植物芦苇(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud)在各生长阶段盐碱土盐分的动态变化趋势,旨在为盐碱地的科学治理提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域选在陕西省定边县盐碱化地区,该区域气候为典型的温带半干旱大陆性季风气候,年平均降雨量 316.9 mm,春季多风,夏季干旱,秋季阴雨,冬季严寒。该地区日照充足,年均气温 7.9℃,年平均日照 2 743.3 h,太阳总辐射热能每年为 576.95 kJ/cm²,完全能满足作物对光能的需要 $\geq 0^\circ\text{C}$ 的年平均积温为 3 566℃,年平均蒸发量 2 490.9 mm,是降雨量的 7.9 倍,年平均无霜期 141 d,绝对无霜期 110 d。该研究区域地势宽广平坦,地下水位高,一般小于 10 m^[27],土壤盐碱化严重,经背景值的测定,其 pH 平均为 9.81,电导率平均为 1 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$,有机质平均含量 2.74 g/kg,含盐量平均为 13.26 g/kg,对农作物生长十分不利。

1.2 试验方案

1.2.1 试验土柱设计 试验装置建立在陕西富平国

土资源部退化及未利用土地重点实验室外,为 2 排 \times 10 个水泥装置组成,装置内径 0.8 m,外径 0.96 m,高 0.98 m,两个土柱间间距 1.2 m。从试验区陕北定边县堆子梁镇分 10 cm 每层运来 0—60 cm 盐碱土,控制每个装置容重为 1.30 g/cm³,根据装置体积计算所需土的质量,按原土的剖面构型进行分层预装 60 cm 盐碱土,根据陕西定边盐碱地区实际情况,兼顾试验要求,其中第一排 10 个装置用根移栽法将每个均种植芦苇 30 株,并对各生育期的芦苇生长状况及生物量进行观测记录,在其生长幼苗期需根据实地出苗情况进行间苗,确保每个装置中芦苇的种植密度及长势基本相同,第二排 10 个装置则不种植任何作物,作对比处理。对每个模型均做防渗处理,是一个相对独立的系统,并控制每个试验装置的土壤水分状况,确保盐分总量平衡。

1.2.2 测定方法 在芦苇各生长阶段出苗期(SP)、展叶期(LP)、开花期(FP)、成熟期(MP)和枯黄期(WP),用土钻取土表层 0—20 cm,每个装置取 3 个重复,两种处理(种植芦苇与不种植芦苇),每种处理十个平行,分别测定其 pH、电导率和八大盐基离子(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- 和 SO_4^{2-})含量,从而确定芦苇不同生育期间 pH、电导率和各盐基离子的变化趋势。

土壤 pH 按 1:2.5 的土水质量浸提,使用上海雷磁 PHS-3 C 型酸度仪测定;土壤电导率按 1:5 的土水质量浸提,采用上海雷磁 DDS-307 A 电导率仪测定; CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 采用双指示剂盐酸滴定法; Cl^- 采用 AgNO_3 滴定法; SO_4^{2-} 采用 EDTA 间接滴定法; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用 EDTA 络合滴定法; K^+ 、 Na^+ 采用火焰光度法^[28]。

1.2.3 数据分析 用 Excel 2007 处理,数据统计分析采用 DPS 7.05 软件进行分析,运用 Duncan 新复极差法进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 盐碱土 pH、电导率的动态变化

从图 1 可以明显的看出,盐碱土壤 pH 值随着芦苇的生长而降低,不种植芦苇的盐碱土平均土壤 pH 值为 9.81,说明芦苇的种植能降低盐碱土的 pH。从芦苇出苗期到枯黄期,pH 总体降低 0.65 个单位,从芦苇刚开始出苗到叶片伸展,pH 降低最多,为 0.42 个单位。出苗期的 pH 显著高于展叶期、开花期、成熟期及枯黄期的 pH 值($p < 0.05$),枯黄期的 pH 显著地低于展叶期、开花期及成熟期的 pH($p < 0.05$),但展叶期、开花期和成熟期的 pH 差异不显著($p > 0.05$)。

从图 2 可以明显的看出,盐碱土壤的电导率随着芦苇的生长先增大而后逐渐减小,不种植芦苇的盐碱土平均电导率为 $1\,245\ \mu\text{S}/\text{cm}$,总体来说,从芦苇出苗期到枯黄期,电导率总体下降 $756.55\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 。从芦苇出苗期到展叶期,电导率略有上升,平均上升 $86.85\ \mu\text{S}/\text{cm}$,从展叶期到开花期,电导率下降最多,为 $725.55\ \mu\text{S}/\text{cm}$,从芦苇开花期到枯黄期,电导率基本维持在 $472.5\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 的稳定水平上,波动较小。出苗期、展叶期的电导率与开花期、成熟期及枯黄期的电导率($p<0.05$)达到显著性差异,出苗期和展叶期的电导率($p<0.05$)差异性不显著,开花期、成熟期和枯黄期的电导率($p<0.05$)差异性不显著。

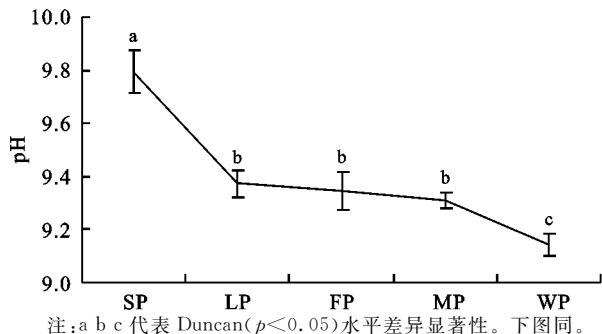


图 1 芦苇不同生长阶段盐碱土壤 pH 变化

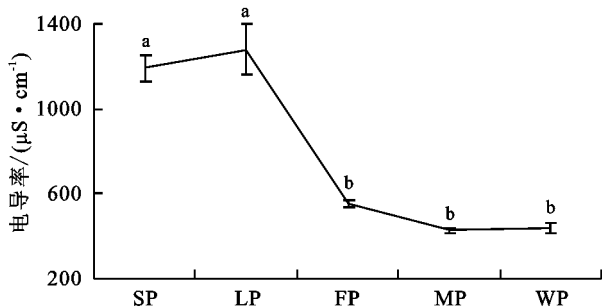
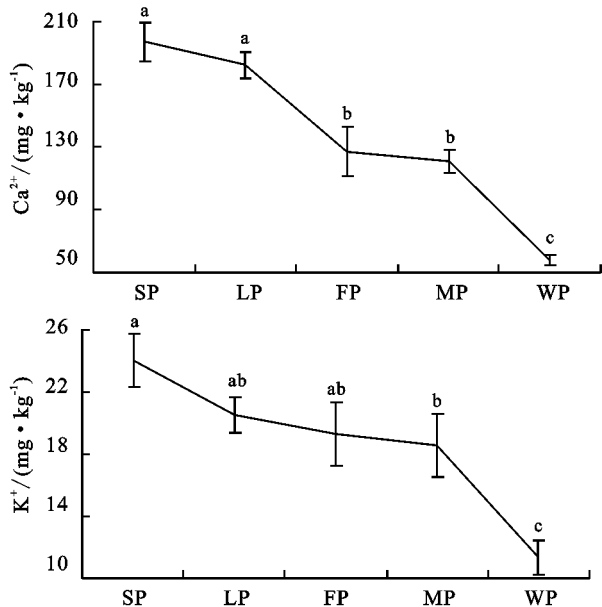


图 2 芦苇不同生长阶段盐碱土壤电导率变化



2.2 盐碱土盐基阳离子的动态变化

由图 3 可以看出, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} 和 Na^{+} 盐分阳离子含量随芦苇的生长而降低,不种植芦苇的盐碱土平均 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} 和 Na^{+} 含量分别为 191.5 , 35.68 , 23.09 , $90.42\ \text{mg}/\text{kg}$ 。从芦苇出苗期到枯黄期,盐分阳离子降幅最多的是 Ca^{2+} 离子,在芦苇整个生长期总体下降 $138.70\ \text{mg}/\text{kg}$,主要集中在展叶期到开花期和成熟期到枯黄期,平均下降 $58.93\ \text{mg}/\text{kg}$,出苗期、展叶期的 Ca^{2+} 含量与开花期、成熟期及枯黄期的 Ca^{2+} 含量($p<0.05$)达到显著性差异,开花期、成熟期的 Ca^{2+} 含量与枯黄期的 Ca^{2+} 含量($p<0.05$)达到显著性差异,出苗期与展叶期、开花期与成熟期的 Ca^{2+} 含量($p<0.05$)差异性不显著。下降幅度最少的是 K^{+} ,在芦苇整个生长期,总共下降 $12.65\ \text{mg}/\text{kg}$,在出苗期、展叶期、开花期、成熟期的 K^{+} 含量和枯黄期的 K^{+} 含量($p<0.05$)达到显著性差异。其次下降幅度较少的为 Mg^{2+} ,在芦苇整个生长期,总共下降 $26.93\ \text{mg}/\text{kg}$,在芦苇生长前期(出苗期、展叶期)的 Mg^{2+} 含量和其后期(开花期、成熟期、枯黄期)的 Mg^{2+} 含量($p<0.05$)达到显著性差异。下降幅度较大的为 Na^{+} 离子,在芦苇整个生长期,总共下降 $55.58\ \text{mg}/\text{kg}$,从展叶期到开花期下降最多为 $29.17\ \text{mg}/\text{kg}$,仍然是在芦苇生长前期(出苗期、展叶期)的 Na^{+} 含量和其后期(开花期、成熟期、枯黄期)的 Na^{+} 含量($p<0.05$)达到显著性差异。由以上各盐分阳离子的变化趋势可知,芦苇对各盐分阳离子的吸收情况是不同的,其吸收程度强弱顺序为: $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^{+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^{+}$ 。

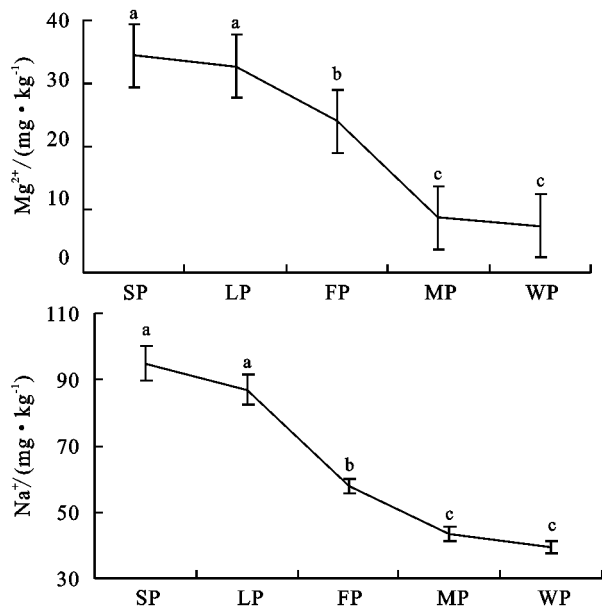


图 3 芦苇不同生长阶段盐碱土壤盐基阳离子变化

2.3 盐碱土盐基阴离子的动态变化

由图4可以看出, CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- 和 SO_4^{2-} 盐分阴离子含量随芦苇的生长而降低,不种植芦苇的盐碱土平均 CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量分别为 61.23, 98.25, 67.02, 158.64 mg/kg。 Cl^- 和 SO_4^{2-} 在芦苇成熟期到枯黄期含量变化稳定。从芦苇出苗期到枯黄期,盐分阴离子降幅最多的是 SO_4^{2-} 离子,在芦苇整个生长期总体下降 115.35 mg/kg,主要集中在开花期到成熟期枯黄期,平均下降 58.01 mg/kg,出苗期、展叶期的 SO_4^{2-} 含量与开花期、成熟期及枯黄期的 SO_4^{2-} 含量 ($p < 0.05$) 达到显著性差异,开花期的 SO_4^{2-} 含量与成熟期、枯黄期的 SO_4^{2-} 含量 ($p < 0.05$) 达到显著性差异,出苗期与展叶期、成熟期与枯黄期的 SO_4^{2-} 含量 ($p < 0.05$) 差异性不显著。下降幅度最少的为 CO_3^{2-} ,在芦苇整个生长期,

总共下降 31.66 mg/kg,下降最多的发生在出苗期到展叶期,为 17.57 mg/kg,在出苗期的 CO_3^{2-} 含量和展叶期、开花期、成熟期及枯黄期的 CO_3^{2-} 含量 ($p < 0.05$) 达到显著性差异。 HCO_3^- 和 Cl^- 的下降幅度差不多,在芦苇整个生长期,总共下降约 57.76 mg/kg, HCO_3^- 下降幅度基本符合线性下降趋势, $y = -14.46x + 122.5$, $R^2 = 0.991$ (y 为 HCO_3^- 含量, mg/kg, x 为芦苇生长期, $x = 1, 2, 3, 4, 5$),从展叶期到开花期, Cl^- 的下降趋势最大,为 38.13 mg/kg,芦苇生长后期(开花期、成熟期、枯黄期)的 Cl^- 含量与芦苇生长期间(出苗期、展叶期)的 Cl^- 含量 ($p < 0.05$) 达到显著性差异。由以上各盐分阴离子的变化趋势可知,芦苇对各盐基阴离子的吸收情况是不同的,其吸收程度强弱顺序为: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- \geq \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ 。

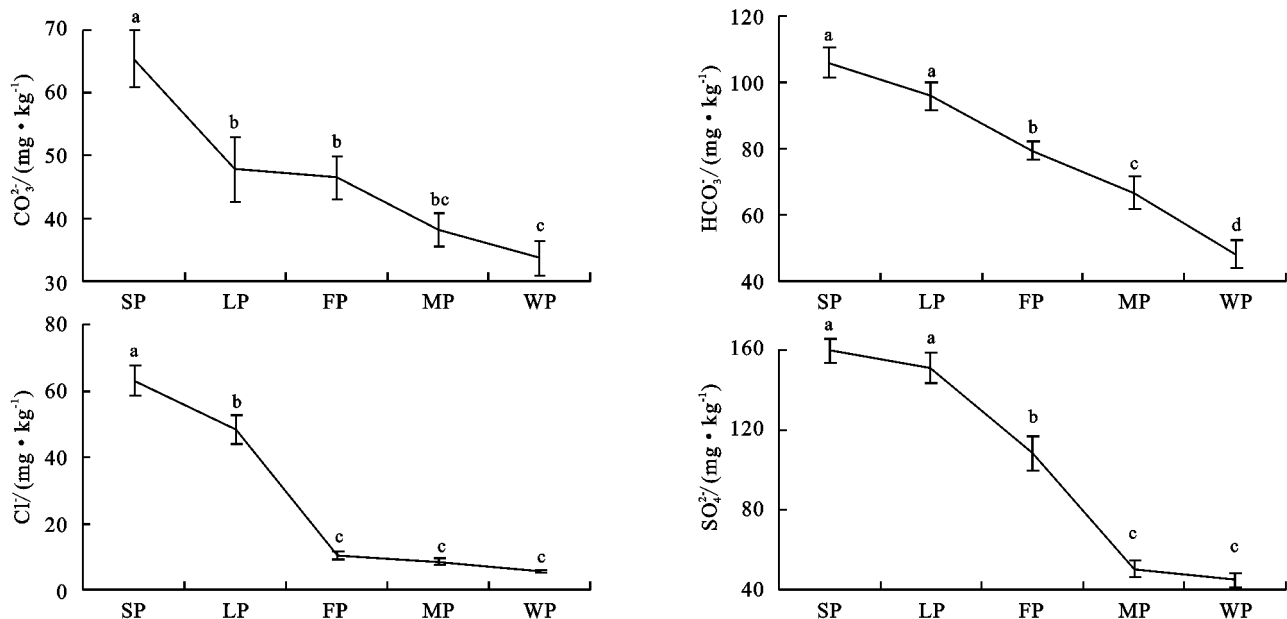


图4 芦苇不同生长阶段盐碱土壤盐基阴离子变化

3 讨论

国内外早有研究者对植物的耐盐机理进行探索,指出耐盐植物的进化,本质是植物本身利用其生物化学和分子机制去适应外界的盐碱胁迫,包括选择性地积聚或释放某些离子;控制一些离子从植株根系到叶片的运输过程;一些相溶性物质的合成;光合作用途径的改变;膜结构的改变;诱导产生抗氧化酶;诱导产生植物激素等^[29-32]。清楚植物抗盐机理,便于充分利用生物措施,在保持生态的同时,达到改良盐碱土的目的。

本研究结果指出随着芦苇的生长,在一定程度上能改善陕西定边的盐碱土壤情况,但本试验实际上是一个盆栽试验,由于失去了与地下水的联系,未有盐基离子的补充,基本没有水盐运动,对于盐碱地的改良而言,其效果是不完整的,所以还需进一步与实地芦苇地进行对比,才能明确其效果。在芦苇枯黄期,土壤 pH

值已经从 9.79 降低到 9.14,虽然仍然较高,但芦苇确实能起到降低当地盐碱土 pH 值的作用。从芦苇出苗期到展叶期,电导率先有所上升,这可能是由于从四月底到六月底的气温较高,强烈的蒸发造成土壤有返盐的趋势^[33]。经本论文研究可知,芦苇对降低陕西定边盐碱地的盐分含量具有一定效应,其吸收盐基离子的大小顺序为: $\text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- \geq \text{HCO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{CO}_3^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$,芦苇的种植,使土壤可溶性盐基离子含量降低,内在机制主要体现在其种子在高盐胁迫下处于休眠状态,水分恢复后又能迅速萌发,以及种子形态和萌发形式的多样性等方面^[34-35]芦苇在其生长阶段促进了盐碱土 pH 和盐分的降低,对当地盐碱土的改良和治理有指导意义。但本研究并未明确芦苇对盐分的富集效应,也未明确芦苇的生长和生物量对盐基离子吸收的影响,所以在芦苇各生育期植株本身吸收离子的数量还有待进一步研究完善。

4 结论

从出苗期经展叶期过开花期到成熟期至枯黄期,在芦苇整个生长阶段,能促进盐碱土壤的 pH 值降低 0.65 个单位,电导率总体下降 756.55 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Ca^{2+} 含量减少 138.70 mg/kg, SO_4^{2-} 含量减少 115.35 mg/kg, Cl^- 含量减少 57.76 mg/kg, HCO_3^- 含量减少 57.76 mg/kg, Na^+ 含量减少 55.58 mg/kg, CO_3^{2-} 含量减少 31.66 mg/kg, Mg^{2+} 含量减少 26.93 mg/kg, K^+ 含量减少 12.65 mg/kg。

参考文献:

- [1] 马成霞,丁建丽,李艳华,等.艾比湖盐基离子的空间异质性研究[J].中国农学通报,2014,30(26):170-177.
- [2] 韩霖昌,李晓明.盐碱地利用障碍因子高光谱遥感反演研究[J].光谱学与光谱分析,2013,33(7):1932-1935.
- [3] Ashraf M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers[J]. *Biotechnology Advances*, 2009,27(1):84-93.
- [4] Li F H, Keren R. Calcareous sodic soil reclamation as affected by COITl stalk application and incubation: A laboratory study[J]. *Soil Science Society of China Published by Elsevier Limited and Science Press*, 2009,19(4):465-475.
- [5] 张士功,邱建军,张华.我国盐渍土资源及其综合治理[J].中国农业资源与区划,2000,21(1):52-56.
- [6] 王遵亲,祝寿全,俞仁培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
- [7] 杨劲松.中国盐渍土研究的发展历程与展望[J].土壤学报,2008,45(5):837-845.
- [8] Zhang J L, Flowers T J, Wang S M. Mechanisms of sodium uptake by roots of higher plant[J]. *Plant and Soil*, 2010,326(1):45-60.
- [9] Zhang J L, Shi H. Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance[J]. *Photosynthesis Research*, 2013, 115(1):1-22.
- [10] 单奇华,张建锋,沈立铭,等.林业生态工程措施对滨海盐碱地草本植物的影响[J].生态学报,2012,31(6):1411-1418.
- [11] 王军,顿耀龙,郭义强,等.松嫩平原西部土地整理对盐渍化土壤的改良效果[J].农业工程学报,2014,30(18):266-275.
- [12] 李庆国,刘建强.黄河三角洲盐碱地工程治理暗管布设系统优化[J].水电能源科学,2014,32(2):121-123.
- [13] 王文杰,关宇,祖元刚,等.施加改良剂对重度盐碱地土壤盐碱动态及草本植物生长的影响[J].生态学报,2009,29(6):2835-2844.
- [14] 张密密,陈诚,刘广明,等.适宜肥料与改良剂改善盐碱土壤理化特性并提高作物产量[J].农业工程学报,2014,30(10):91-98.
- [15] 刘晶,才华,刘莹,等.两种紫花苜蓿苗期耐盐生理特性的初步研究及其耐盐性比较[J].草业学报,2013,22(2):250-256.
- [16] 张国盛,黄高宝,张仁陟,等.种植苜蓿对黄绵土表土理化性质的影响[J].草业学报,2003,12(5):8893.
- [17] 王继和,杨自辉,胡明贵,等.干旱区盐渍化土地综合治理技术研究[J].中国生态农业学报,2001,9(1):6466.
- [18] 张立全,张凤英,哈斯阿古拉,紫花苜蓿耐盐性研究进展[J].草业学报,2012,21(6):296-305.
- [19] 蔺吉祥,高战武,王颖,等.盐碱胁迫对紫花苜蓿种子发芽的协同影响[J].草地学报,2014,22(2):312-318.
- [20] 肖克飏,吴普特,雷金银,等.不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J].农业环境科学学报,2013,31(12):2433-2440.
- [21] Chen F, Chen S, Guo W, et al. Salt tolerance identification of three species of chrysanthemums[C]//XXVI International Horticultural Congress: Environmental Stress and Horticulture Crops 618,2002:299-305.
- [22] 管志勇,陈发棣,滕年军,等.5种菊花近缘种属植物的耐盐性比较[J].中国农业科学,2010,43(4):787-794.
- [23] 张科,田长彦,李春俭.一年生盐生植物耐盐机制研究进展[J].植物生态学报,2009,33(6):1220-1231.
- [24] 王善仙,刘宛,李培军,等.盐碱土植物改良研究进展[J].中国农学通报,2011,27(24):1-7.
- [25] 杨帆,邓伟,杨建锋,等.土壤含水量和电导率对芦苇生长和种群分布的影响[J].水土保持学报,2006,20(4):199-201.
- [26] 王文,张德罡.白茎盐生草对盐碱土壤的改良效果[J].草业科学,2011,28(6):902-904.
- [27] 李贵娟.定边县周台子地区地下水水化学演化规律研究[D].西安:西北大学,2010.
- [28] 刘光崧,蒋能慧,张能弟,等.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:科学出版社,1996.
- [29] Iyengar E R R, Reddy M P. Photosynthesis in highly salt tolerant plants[M]. *Handbook of photosynthesis*. Marshal Dekar, Baten Rose, USA,1996,909.
- [30] 廖岩,彭友贵,陈桂珠.植物耐盐性机理研究进展[J].生态学报,2007,27(5):2077-2089.
- [31] Zhao F Y, Guo S L, Wang Z L, et al. Recent advances in study on transgenic plants for salt tolerance[J]. *Acta Photophysiological Sinica*, 2003,29(3):171-178.
- [32] Zhu J K. Salt and drought stress signal transduction in plants[J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2002,53:247-273.
- [33] 孙博,解建仓,汪妮,等.芦苇对盐碱地盐分富集及改良效应的影响[J].水土保持学报,2012,26(3):92-101.
- [34] Flowers T J, Colmer T D. Salinity tolerance in halophytes[J]. *New Phytologist*, 2008,179(4):945-963.
- [35] 胡楚琦,刘金珂,王天弘,等.三种盐胁迫对互花米草和芦苇光合作用的影响[J].植物生态学报,2015,39(1):92-103.