

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015

第52卷 第3期

Vol.52 No.3



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

目 次

综述与评论

- 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究····· 蔡祖聪 张金波 黄新琦等 (469)
- 土壤裂隙及其优先流研究进展····· 张中彬 彭新华 (477)

研究论文

- 东北典型黑土区农耕土壤团聚体流失特征····· 温磊磊 郑粉莉 沈海鸥等 (489)
- 青藏高原永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图····· 陈吉科 赵玉国 赵 林等 (499)
- 贡嘎山海螺沟冰川退缩区土壤序列矿物组成变化····· 杨子江 邴海健 周 俊等 (507)
- 成都典型区水稻土有机碳组分构成及其影响因素研究····· 廖 丹 于东升 赵永存等 (517)
- 河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征····· 曹祥会 雷秋良 龙怀玉等 (528)
- 喀斯特小流域土壤饱和导水率垂直分布特征····· 付同刚 陈洪松 王克林 (538)
- 大沽河中游地区土壤水与浅层地下水转化关系研究····· 杨玉峥 林 青 王松禄等 (547)
- 化学转化法测定水体中硝酸盐的氮氧同位素比值····· 王 曦 曹亚澄 韩 勇等 (558)
- ¹³C脉冲标记定量研究施氮量对光合碳在水稻-土壤系统中分布的影响 ···· 刘 萍 江春玉 李忠佩 (567)
- 垄作免耕对稻田垄埂土壤有机碳累积和作物产量的影响····· 慈 恩 王莲阁 丁长欢等 (576)
- 施入¹⁵N标记氮肥在长期不同培肥土壤的残留及其利用 ····· 赵 伟 梁 斌 周建斌 (587)
- 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响····· 鲁艳红 廖育林 周 兴等 (597)
- 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响····· 冀建华 侯红乾 刘益仁等 (607)
- 高粱分泌硝化抑制物对羟基苯丙酸与质子泵的关系研究····· 周金泉 张明超 魏志军等 (620)
- 钝化剂-锌肥降低烟草镉含量长期效果研究 ····· 曹晨亮 王 卫 马义兵等 (628)
- 钾肥和腐殖酸互作对烤烟有机钾盐指数的影响····· 郑东方 许嘉阳 许自成等 (637)
- 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响····· 张 凯 郑 华 陈法霖等 (646)
- 荒漠区生物土壤结皮对土壤酶活性的影响····· 杨航宇 刘艳梅 王廷璞 (654)
- 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响····· 矫丽娜 李志洪 殷程程等 (665)
- 链霉菌JD211对水稻幼苗促生作用及土壤细菌多样性的影响 ····· 王世强 魏赛金 杨陶陶等 (673)

研究简报

- 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价····· 贡 璐 张雪妮 冉启洋 (682)
- 铁膜对水稻根表面电化学性质和氮磷钾短期吸收的影响····· 郑芸芸 李忠意 李九玉等 (690)
- 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化····· 夏 昕 石 坤 黄欠如等 (697)
- 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征····· 王合云 李红丽 董 智等 (706)

信息

- 2015国际土壤年 ····· (696)

封面图片：稻田裂隙二维与三维图像（由张中彬提供）

DOI: 10.11766/trxb201406240322

滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征*

王合云 李红丽[†] 董智 陈新闻 邵水仙

(山东省土壤侵蚀与生态修复重点实验室(山东农业大学林学院), 泰山森林生态定位站, 山东泰安 271018)

摘要 采用野外取样与室内分析测试相结合的方法, 对不同林地土壤的全盐量、阴阳离子组成、总碱度、pH、电导率、碱化度等指标进行了系统研究。结果表明: 对照空地与各林地土壤中均无 CO_3^{2-} 存在, 造林可明显改变土壤中 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 等可溶性盐离子的含量, 降低土壤全盐含量, 造林地土壤阴离子由 $\text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^-$ 为主演变为 $\text{SO}_4^{2-}+\text{HCO}_3^-$ 为主。土壤pH、碱化度和总碱度的变化趋势一致, 不同造林地土壤碱化程度以紫穗槐林地最大, 柽柳林地次之。土壤全盐含量(y)和电导率(x)间呈极显著线性正相关, 故可用电导率计算含盐量进行研究区域的盐渍化程度分级。研究结果可为阐明滨海盐碱地的盐碱化过程、指导土壤改良提供参考。

关键词 造林树种; 可溶性盐离子; 盐碱化; 滨海盐碱地

中图分类号 S728.5 **文献标识码** A

土壤盐碱化是世界性的土壤退化问题, 不仅造成资源的破坏, 而且也给环境和经济发展带来了危害, 严重影响现代农业和畜牧业的发展^[1-2]。黄河三角洲是我国三大河口三角洲之一, 又是世界著名的河口三角洲中目前开发度很低的三角洲之一, 被誉为“金三角”地带, 是我国重点经济开发区^[3]。其土壤以盐化潮土和滨海盐土为主, 盐渍化土地面积占整个区域面积的1/2以上, 呈插花状分布。滨海盐土是重度盐渍化土壤, 其特点是土壤含盐量高, 土壤水分有效性差, 已成为该地区植被分布、造林成活率及林木生长最为主要的限制因子^[4]。目前, 国内外对盐碱化严重地区土壤的研究集中在土壤盐渍化的发生演化、改良利用及其对环境的危害和综合治理等方面^[5-6], 对自然生境盐胁迫下树木改良土壤全盐量和可溶性盐离子含量的研究较少^[7-8], 为揭示黄河三角洲滨海盐碱地不同造林树种对土壤盐碱的改良状况, 以沾化县下洼镇枣旺林场盐碱地的8个造林树种林地及对照空地作为研究对象, 对不同造林地土壤盐碱化特征进行了系统研究, 以期对盐渍区的盐碱运移规律、土壤盐碱改良和造林树种的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为山东滨海盐碱地生态造林项目区, 位于山东省滨州市沾化县西部的下洼镇枣旺林场, 地理坐标为 $37^{\circ}43'92''\text{N}$, $118^{\circ}02'70''\text{E}$ 。研究区属暖温带半干旱东亚季风区, 多年平均温度 12°C , 平均降水量 610 mm , 降水多集中于6—9月; 年蒸发量为 $2\ 095\text{ mm}$ 。多年平均日照时间 $2\ 699\text{ h}$ 。多年平均大风时间 21 d , 多在3—5月份发生。研究区地势平坦, 地貌类型为黄河冲积平原浅平洼地, 海拔 $1.6\sim 2.4\text{ m}$; 土壤类型为盐化潮土, 含盐量在 $0.3\%\sim 1.0\%$ 之间, 局部地块高达 $2.0\%\sim 3.0\%$, $\text{pH}>7.5$, 盐分阴离子以 Cl^- 、 SO_4^{2-} 为主, 阳离子以 Na^+ 为主。

选取研究区内8个造林树种林地为研究对象, 分别为桑树(*Morus alba* L.)、白蜡(*Fraxinus chinensis* Roxb)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa* Linn.)、杨树(*Populus* spp.)、冬枣(*Zizyphus jujube* Mill)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、榆树(*Ulmus pumila* L.)和柽柳(*Tamarix*

*世界银行贷款山东生态造林项目“山东生态造林项目生态效益监测与评估”(SEAP-JC-2)资助

[†]通讯作者, E-mail: lhl@sda.u.edu.cn

作者简介: 王合云(1990—), 女, 山东聊城人, 硕士研究生, 从事林业生态工程研究。E-mail: xaiqian@163.com

收稿日期: 2014-06-24; 收到修改稿日期: 2014-11-08

chinensis Lour.)，各树种均于2010年春季造林，2013年调查时树龄为5 a。每年进行除草、松土、灌溉等工作。造林前各地块均为荒地，植被盖度<10%，土壤质地为粉质壤土，土壤容重为1.41~1.65 g/cm³，有机质质量分数平均为0.33%，土壤碱解氮质量分数28.5 mg kg⁻¹，速效磷质量分数3.2 mg kg⁻¹，速效钾质量分数76.5 mg kg⁻¹。

1.2 样品与制备

2013年10月上旬，选择8种造林地及距造林地150 m外的荒地为研究对象，每种林分设立三个地块，在每个地块内选择有代表性的地段设立0.1 hm²的固定标准地，根据造林树种根系生长与分布状况，每个地块内选取3个样点，每个样点按0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm取样500 g，带回室内自然风干后，挑去石块、根径及各种新生体和侵入体，再将土样碾碎，过1 mm筛，弃去筛上样品。

1.3 分析方法

待土壤自然风干后便开始进行可溶性盐离子含量、全盐量、pH、电导率等指标测定。土壤中可溶性HCO₃⁻、CO₃²⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Mg²⁺、Ca²⁺、K⁺和Na⁺的测定，参照中土壤可溶盐的分析方法^[9-10]，分别称取土样50 g，按水土质量比5:1混合，震荡3 min过滤，过滤后的清液用于测定土壤可溶性盐离子含量。

Ca²⁺、Mg²⁺和SO₄²⁻用EDTA滴定法，K⁺和Na⁺用火焰光度计法，Cl⁻用AgNO₃滴定法，HCO₃⁻和CO₃²⁻用双指示剂法。以上离子测定，每个样品重复3次，土壤含盐量(g kg⁻¹)以阳离子(K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺)和阴离子(CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻)的质量分数总量计算。土壤pH、电导率的测定采用水土质量比5:1的土壤悬浊液，pH采用雷磁pH计电位计法测定，电导率采用雷磁DDS-308A电导率仪测定。

1.4 数据处理

所有数据均采用Microsoft Excel进行统计分析。用Pearson相关系数表征含盐量、离子、电导率、土壤pH、碱化度、总碱度之间的相关性。用SPSS17.0对其进行回归分析，并建立回归方程，通过比较方程的精度判别方程适用性。

ESP采用经验公式^[11]进行计算，计算公式如下： $ESP = -55.5 + 7.25pH + 0.866SAR + 7.7RA$ ，吸附比 $SAR = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2]^{1/2}$ ，残余碱度 RA (cmol l⁻¹) = (CO₃²⁻ + HCO₃⁻) - (Ca²⁺ + Mg²⁺)，上述各离子浓度计算单位均使用摩尔数即cmol l⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 不同造林树种林地土壤全盐量与离子组成

研究区不同造林树种林地及对照空地土壤中均无CO₃²⁻，阴离子主要为Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻ (表1)。空地阴离子含量以Cl⁻+SO₄²⁻为主，而林地阴离子含量以HCO₃⁻+SO₄²⁻为主。与对照相比，各林地Cl⁻含量明显降低；柽柳林地平均降幅最大，为95.35%；桑树林地平均降幅最小，为48.84%；SO₄²⁻含量也明显降低；柽柳林地平均降幅最大，为79.80%；冬枣林地平均降幅最小，为34.62%；而HCO₃⁻含量却上升；紫穗槐林地平均升幅最大，为147.13%；冬枣林地平均升幅最小，为43.68%。

由表1可知，空地土壤全盐量最高，平均值为3.89 g kg⁻¹，为中度盐渍土，除冬枣林地土壤(2.09 g kg⁻¹)外，各林地土壤全盐量平均值均小于2.00 g kg⁻¹，为轻度盐渍化土，其中柽柳林地土壤全盐量最低，平均值为1.31 g kg⁻¹。各造林树种平均含盐量降低46%~66%，不同造林地土壤平均含盐量降低表现为柽柳林>白蜡林>杨树林>桑树林>刺槐林>紫穗槐林>榆树林>冬枣林。

土壤盐分的阴离子组成因盐化程度而不同，轻盐化的土壤盐分组成以HCO₃⁻·Cl⁻-Na⁺·Ca²⁺为主，重盐化的则以Cl⁻-Na⁺为主^[12]。可以看出经过不同林分的改造作用，土壤盐渍化程度降低，由中盐化向轻盐化转化。土壤中阴离子的含量不同，其土壤盐碱类型也不同，对植物的危害程度也不尽相同。一般地，可用盐碱土中N₁(CO₃²⁻+HCO₃⁻)与N₂(Cl⁻+SO₄²⁻)的比值反映盐碱土类型，其中N₁(CO₃²⁻+HCO₃⁻)表示土壤中CO₃²⁻和HCO₃⁻的含量，N₂(Cl⁻+SO₄²⁻)表示土壤中Cl⁻和SO₄²⁻的含量。若N₁/N₂比值在1~4之间属于氯化物或硫酸盐苏打盐渍土范畴，比值小于1属于氯化物或硫酸盐盐渍土范畴^[13]。就不同树种林地土壤中N₁/N₂的比值而言，柽柳和紫穗槐林地土壤的比值在1~2之间，属于氯化物或硫酸盐苏打盐渍土，且林地土壤中Cl⁻的含量均小于SO₄²⁻的含量，属于硫酸盐苏打盐渍土。其余林地及空地土壤N₁与N₂的比值小于1，属于氯化物或硫酸盐盐渍土，且林地土壤中Cl⁻的含量均小于SO₄²⁻的含量，属于硫酸盐盐渍土。

相关性分析表明，盐碱土中全盐量与阴离子Cl⁻、SO₄²⁻在0.01水平下呈极显著相关，相关系数分别为0.895、0.913，与HCO₃⁻的相关系数为

表1 不同树种不同土层可溶盐离子浓度

Table 1 Concentration of soluble salt ions in soil as affected by soil depth and species of the trees afforested (g kg^{-1})

树种 Tree species	土层 Soil layer (cm)	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+	全盐 Total salt
桑树 Mulberry	0~20	0.39	0.11	0.66	0.20	0.03	0.03	0.11	1.53
	20~40	0.42	0.85	0.08	0.18	0.03	0.02	0.35	1.93
	40~60	0.44	0.14	0.81	0.17	0.04	0.02	0.26	1.88
白蜡 Chinese ash	0~20	0.44	0.06	0.65	0.18	0.02	0.02	0.13	1.50
	20~40	0.53	0.04	0.82	0.15	0.03	0.02	0.29	1.88
	40~60	0.55	0.01	0.71	0.09	0.03	0.02	0.33	1.74
紫穗槐 Amorpha	0~20	0.53	0.03	0.58	0.12	0.03	0.03	0.22	1.54
	20~40	0.82	0.09	0.54	0.05	0.03	0.03	0.48	2.04
	40~60	0.80	0.24	0.30	0.01	0.02	0.05	0.53	1.95
杨树 Poplar	0~20	0.51	0.03	0.58	0.17	0.03	0.01	0.13	1.46
	20~40	0.35	0.20	0.81	0.16	0.03	0.02	0.29	1.86
	40~60	0.49	0.10	0.76	0.12	0.03	0.03	0.33	1.86
冬枣 Winter jujube	0~20	0.42	0.01	0.82	0.20	0.03	0.02	0.13	1.63
	20~40	0.21	0.26	1.44	0.27	0.05	0.02	0.35	2.60
	40~60	0.37	0.17	0.95	0.16	0.03	0.02	0.35	2.05
刺槐 Black locust	0~20	0.49	0.07	1.02	0.23	0.02	0.03	0.24	2.10
	20~40	0.44	0.06	0.74	0.17	0.02	0.02	0.20	1.65
	40~60	0.42	0.23	0.57	0.16	0.02	0.02	0.24	1.66
榆树 Elm	0~20	0.60	0.09	0.87	0.13	0.03	0.03	0.40	2.15
	20~40	0.58	0.26	0.38	0.07	0.02	0.02	0.40	1.73
	40~60	0.39	0.54	0.51	0.09	0.03	0.01	0.53	2.10
怪柳 Tamarisk	0~20	0.71	0.03	0.27	0.07	0.04	0.03	0.22	1.37
	20~40	0.64	0.06	0.11	0.05	0.03	0.03	0.18	1.10
	40~60	0.46	0.01	0.61	0.11	0.02	0.02	0.22	1.45
空地 Bare land	0~20	0.28	0.68	1.89	0.12	0.06	0.02	1.14	4.19
	20~40	0.33	0.53	1.76	0.11	0.05	0.02	1.03	3.83
	40~60	0.26	0.94	1.26	0.12	0.05	0.02	1.01	3.66

0.614, 也存在着明显的相关性。

不同造林树种林地及对照空地土壤阳离子含量由高到低顺序为 $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ (表1)。对照土壤 Na^+ 含量约占可溶性阳离子总量的85%, 不同造林树种林地土壤 Na^+ 含量约占可溶性阳离子总量的50%~77%。统计分析表明, Na^+ 和可溶性阳离子总量在0.01水平下呈极显著相关, 相关系数为0.983, 这说明 Na^+ 离子作为盐渍土的主要阳离子, 其含量决定了阳离子总量的大小, 进而对土壤理化性质产生决定性影响^[14]。高浓度的 Na^+ 不仅对植物细胞膜系统具有毒害作用, 还抑制植物对 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的吸收^[15-16], 而 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 吸收的减少或缺乏将导致叶绿素合成受阻、光合作用下降^[17-18], 营养不良、使植物生长受到抑制^[19]。经过各林地的改造作用, Na^+ 的含量整体降低, 使得植物生长受抑程度减小。不同树种对 Na^+ 的降低作用不同, 相对于空地降幅为8%~35%, 其中柽柳林地降幅最大, 榆树林地降低幅度最小。

相关性分析表明, 盐碱土中全盐量与阳离子 Na^+ 、 Ca^{2+} 在0.01水平下呈极显著相关, 相关系数分别为0.960、0.824, 与 K^+ 、 Mg^{2+} 的相关性不显著。说明不同土壤类型中全盐量与阳离子的显著相关性有区别, 受 Na^+ 的影响较大。

2.2 土壤碱化度、pH与总碱度分析

土壤碱化度是目前国内外比较公认的判断土壤是否发生碱化的指标和依据。土壤pH是评价土壤盐碱化程度的一个重要指标, 对土壤的氧化还原、沉淀溶解、吸附、解吸和配合反应起到支配作用^[20]。当土壤溶液中 OH^- 浓度超过 H^+ 浓度时表现为碱性反应, 土壤pH越大, 碱性越强。土壤可溶性盐的总碱度也可以判断土壤碱化程度。总碱度为 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 的质量分数之和, 即总碱度(cmol kg^{-1}) = (HCO_3^-) + (CO_3^{2-})。总碱度在一定程度上反映土壤和水质的碱性程度, 可以作为土壤碱化程度分级的指标之一^[14]。

不同造林树种林地及对照空地土壤碱化度、pH与总碱度特征见表2, 由表2可知, 土壤碱化度在不同造林树种林地的差异较大, 其中紫穗槐林地的平均碱化度最大, 为10.55%, 其次是柽柳林地, 为8.90%, 而空地为5.95%。pH均在7.9以上, 呈碱性, pH与碱化度呈现相似的规律, 以紫穗槐林地最大, 柽柳林地次之。紫穗槐林地土壤的平均总碱度最高, 为1.17 cmol kg^{-1} , 其次是柽柳林地,

为0.99 cmol kg^{-1} , 空地土壤的平均总碱度最低, 为0.48 cmol kg^{-1} 。

对不同造林树种林地与对照土壤中的碱化度(y)与pH(x)进行拟合发现, pH与碱化度间呈极显著线性相关。其关系为 $y=8.452x-63.92$ ($R^2=0.876$, $p=0.002<0.01$); 碱化度(y)与土壤总碱度(x)之间呈显著线性相关, 关系式为 $y=8.47x+0.051$ ($R^2=0.773$, $p=0.015<0.05$); 总碱度(y)与pH(x)之间呈显著线性相关, 关系式为 $y=0.691x-4.992$ ($R^2=0.786$, $p=0.012<0.05$)。由于各林地土壤溶液中无 CO_3^{2-} 存在, 因此, HCO_3^- 含量是影响碱化土壤pH的主要原因。 NaHCO_3 是水溶性盐类, 出现在土壤溶液中后, 交换性 Na^+ 水解呈强碱性反应, 在这一反应中, H^+ 取代了 Na^+ 而失去活性, 结果产生了 OH^- , 使土壤的pH升高^[21], 这也是碱化土的重要特征。

盐碱地造林后, 林木及林下草被的生长使得地表植被盖度增加, 植物蒸腾取代了地面蒸发, 避免了蒸发造成的地表积盐^[22]; 而且随着土壤蒸发量减少和地下水位的下降以及林木对盐分的吸收利用, 土壤含盐量逐渐降低。含有较多的交换性钠的土壤胶体在土壤有较多可溶盐的条件下, 由于土壤溶液的浓度较大阻止了交换性钠的水解, 所以, 土壤不发生碱化。只有当土壤脱盐到一定程度, 土壤交换性钠发生水解, 土壤才呈现碱化特征。通常碱化过程与脱盐过程相伴发生。黄河三角洲滨海盐碱地地区, 年降水量主要集中于6—8月份内, 每降一次有效降雨, 就淋洗一次土壤盐分, 天晴后地表又因蒸发而重新积盐。在这样盐分反复地淋洗、积累的过程中, 土壤易发生碱化。当土壤中积盐和脱盐过程频繁交替发生时, 促进钠离子进入土壤胶体以取代钙、镁离子, 土壤即发生碱化^[12]。经过各林分改造作用, 土壤盐渍化程度降低, 由中盐化向轻盐化转化, 脱盐过程与碱化过程同时发生, 各林地土壤全盐量均低于空地, 而pH高于空地。

2.3 土壤含盐量与电导率的关系

土壤含盐量的大小可以反映盐渍化的程度, 由于含盐量的不易测性, 而电导率的测定可靠、经济、快速, 通常用电导率来指示盐渍化程度。且目前用电导率来表示土壤中盐分的盐渍化研究也比较普及^[23-24]。

对所有土样的电导率进行分析, 其描述性统计特征如表2所示。由表2可看出, 0~60 cm土壤空

表2 不同林地土壤盐碱化指标分析比较

Table 2 Analysis and comparison of soil salinization indexes in different woodlots

树种 Tree species	土层 Soil layer (cm)	电导率 EC (mS cm ⁻¹)	pH	总碱度 Total alkalinity (cmol kg ⁻¹)	碱化度 ESP (%)	树种 Tree species	土层 Soil layer (cm)	电导率 EC (mS cm ⁻¹)	pH	总碱度 Total alkalinity (cmol kg ⁻¹)	碱化度 ESP (%)
桑树 Mulberry	0~20	1.35	7.97	0.64	2.56	刺槐 Black locust	0~20	1.34	8.24	0.80	4.81
	20~40	1.47	7.98	0.69	3.27		20~40	1.32	8.27	0.72	5.00
	40~60	1.58	8.02	0.72	3.33		40~60	1.41	8.37	0.69	5.86
白蜡 Chinese ash	0~20	0.57	8.16	0.72	4.01	榆树 Elm	0~20	1.70	8.30	0.98	6.41
	20~40	1.00	8.17	0.87	4.78		20~40	1.57	8.60	0.95	9.38
	40~60	0.94	8.50	0.90	7.97		40~60	1.51	8.79	0.64	10.41
紫穗槐 Amorpha	0~20	1.74	8.40	0.87	6.54	怪柳 Tamarisk	0~20	0.33	8.45	1.16	7.72
	20~40	1.55	8.59	1.34	10.49		20~40	0.66	8.70	1.05	9.50
	40~60	1.49	8.85	1.31	14.62		40~60	0.74	8.81	0.75	9.48
杨树 Poplar	0~20	1.32	8.33	0.84	5.32	空地 Bare land	0~20	4.53	7.97	0.46	5.65
	20~40	1.42	8.59	0.57	7.58		20~40	4.75	8.02	0.54	5.86
	40~60	1.38	8.54	0.80	7.82		40~60	4.27	8.11	0.43	6.34
冬枣 Winter jujube	0~20	1.54	8.34	0.69	5.29						
	20~40	1.58	8.22	0.34	4.84						
	40~60	1.64	8.27	0.61	5.43						

地电导率最大, 为 4.52 mS cm^{-1} , 怪柳林地最小, 为 0.58 mS cm^{-1} , 林地土壤电导率平均值为 1.29 mS cm^{-1} 。对土壤含盐量和电导率进行拟合, 其结果如图 1 所示。土壤含盐量 (y) 和电导率 (x) 建立的回归方程 R^2 达到 0.941, 呈极显著的正相关, 说明该区用电导率来表示土壤含盐量具有可行性, 可以通过测定电导率来计算含盐量进而进行盐渍化程度分级。

3 结论

滨海盐渍化土壤中的主要阳离子是 Na^+ , 主要阴离子为 SO_4^{2-} 、 Cl^- , 无 CO_3^{2-} 存在, 经过树木的改造作用, Na^+ 含量降低, 阴离子由 $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ 为主演变为 $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 为主。不同树种改良土壤含盐量的效果不同, 以怪柳最好, 白蜡次之。

土壤全盐量与各离子的相关性有显著差别, 根据各造林地土壤中阴离子含量划分, 怪柳和紫穗槐林地土壤属于硫酸盐苏打盐渍土, 其余林地及空地

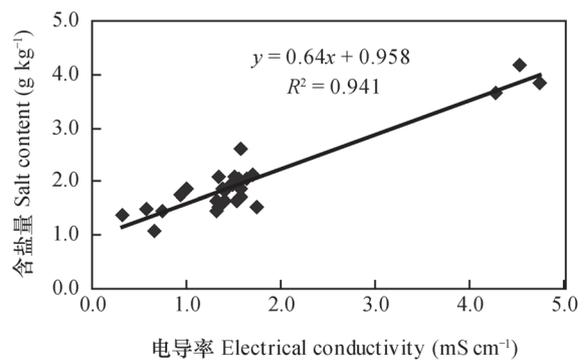


图1 土壤含盐量与电导率的关系

Fig 1 Relationship between soil salt content and EC

土壤属于硫酸盐盐渍土。经过各林分改造作用, 土壤盐渍化程度降低, 由中盐化向轻盐化转化, 土壤脱盐过程与碱化过程并存, 各林地土壤全盐量均低于空地, 而 pH 高于空地。土壤 pH 和总碱度的变化趋势一致, 即土壤总碱度越大, pH 越高。土壤碱化度随含盐量的减少而增加, 随总碱度的增大而增

大。土壤碱化程度以紫穗槐林地最大, 柽柳林地次之。电导率 (y) 和土壤全盐含量 (x) 呈极显著的正相关, 因而, 在黄河三角洲滨海盐碱地区域, 用电导率来表示土壤含盐量具有可行性, 并可通过测定电导率来计算含盐量进而进行盐渍化程度分级。

参考文献

- [1] 张杰, 陈立新, 乔璐, 等. 大庆市不同土壤类型盐碱化特征及评价. 东北林业大学学报, 2010, 38 (7): 119—122. Zhang J, Chen L X, Qiao L, et al. Characteristics and evaluation of salinization of different types of soils in Daqing City (In Chinese). Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38 (7): 119—122
- [2] 张杰. 大庆地区土壤理化性质及盐碱化特征评价. 哈尔滨: 东北林业大学林学院, 2010. Zhang J. Physical and chemical soil properties and its salinization characteristics and their evaluation in Daqing (In Chinese). Harbin: Forestry College of Northeast Forestry University, 2010
- [3] 丁晨曦, 李永强, 董智, 等. 不同土地利用方式对黄河三角洲盐碱地土壤理化性质的影响. 中国水土保持科学, 2013, 11 (2): 84—89. Ding C X, Li Y Q, Dong Z, et al. Effects of different land use modes on physical and chemical properties of saline-alkali soil in Yellow River Delta (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2013, 11 (2): 84—89
- [4] 王丽琴, 李红丽, 董智, 等. 黄河三角洲盐碱地造林对土壤水分特性的影响. 中国水土保持科学, 2014, 12 (1): 38—45. Wang L Q, Li H L, Dong Z, et al. Effects of afforestation on soil moisture characteristics of saline-alkali soil in Yellow River Delta (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2014, 12 (1): 38—45
- [5] 刘东兴, 官伟光. 大庆盐碱地立地质量评价. 中国水土保持科学, 2009, 7 (3): 98—103. Liu D X, Gong W G. Evaluation of site quality for saline-alkali soil in Daqing (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7 (3): 98—103
- [6] 张杰, 陈立新, 寇士伟, 等. 大庆地区不同利用方式土壤盐碱化特征分析及评价. 水土保持学报, 2011, 25 (1): 171—175. Zhang J, Chen L X, Kou S W, et al. Characteristics and evaluation of salinization of different land-use types of soils in Daqing City (In Chinese), Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25 (1): 171—175
- [7] 冯长青. 不同盐分土壤条件下新疆杨体内离子的分布与运移特征. 呼和浩特: 内蒙古农业大学生态环境学院, 2007. Feng C Q. Distribution and transportation of ions of *Populus alba* L. var. *pyramidalis* in different saline soil (In Chinese). Hohhot: Ecology and Environmental Science College of Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University, 2007
- [8] 刘静, 王林和, 张芳, 等. 不同土壤盐分条件下新疆杨可溶性盐离子含量变化的研究. 中国生态农业学报, 2005, 13 (4): 110—115. Liu J, Wang L H, Zhang F, et al. Study on the soluble salt ions contents of *Populus alba* L. var. *pyramidalis* growing in salinity soils (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13 (4): 110—115
- [9] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983: 195—221. Agricultural Chemistry Specialty Committee of Soil Science Society of China. Routine analytical methods for soil and agricultural chemistry (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983: 195—221
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 12—21. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000: 12—21
- [11] 万洪富, 杨劲松, 俞仁培. 黄淮海平原土壤碱化度计算方法的探讨. 土壤, 1991, 23 (6): 319—325. Wan H F, Yang J S, Yu R P. Explore the calculation methods of soil exchangeable sodium percentage of Huang-Huai-Hai Plain (In Chinese). Soils, 1991, 23 (6): 319—325
- [12] 阎鹏, 徐世良. 山东土壤. 北京: 中国农业出版社, 1994: 251—266. Yan P, Xu S L. Shandong soil (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1994: 251—266
- [13] 杨国荣, 孟庆秋, 王海岩. 松嫩平原苏打盐渍土数值分类的初步研究. 土壤学报, 1986, 23 (4): 291—298. Yang G R, Meng Q Q, Wang H Y. A primary study on the numerical classification of sodic saline soils in Songnen Plain of northeast China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1986, 23 (4): 291—298
- [14] 李彬, 王志春. 松嫩平原苏打盐渍土碱化特征与影响因素. 干旱区资源与环境, 2006, 20 (6): 183—191. Li B, Wang Z C. The alkalization parameters and their influential factors of saline-sodic soil in the Songnen Plain (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20 (6): 183—191
- [15] 任志彬, 王志刚, 聂庆娟, 等. 盐胁迫对锦带花幼苗生长及不同部位 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子质量分数的影响. 东北林业大学学报, 2011, 39 (5): 24—26. Ren Z B, Wang Z G, Nie Q J, et al. Effect of salt stress on growth and ion contents in *Weigela florida* cuttings (In

- Chinese). Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39 (5): 24—26
- [16] Ramoliya P J, Patel H M, Pandey A N. Effect of salinization of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Salvadora persica* (Savadoraceae). Forest Ecology and Management, 2004, 202: 181—193
- [17] Parida A K, Das A B, Mitra B. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. Trees-Struct Funct, 2004, 18 (2): 167—174
- [18] Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, 2002, 7 (9): 405—410
- [19] 荆家海. 植物生理学. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994: 317—320, 294—295. Jing J H. Plant physiology (In Chinese). Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1994: 317—320, 294—295
- [20] 李学垣. 土壤化学. 北京: 高等教育出版社, 2001: 213—278. Li X Y. Soil chemistry (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2001: 213—278
- [21] 张晓光, 黄标, 梁正伟, 等. 松嫩平原西部土壤盐碱化特征研究. 土壤, 2013, 45 (2): 332—338. Zhang X G, Huang B, Liang Z W, et al. Study on salinization characteristics of surface soil in western Songnen Plain (In Chinese). Soils, 2013, 45 (2): 332—338
- [22] 张立宾, 徐化凌, 赵庚星. 碱蓬的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果. 土壤, 2007, 39 (2): 310—313. Zhang L B, Xu H L, Zhao G X. Salt tolerance of *Suaeda salsa* and its soil ameliorating effect on coastal saline soil (In Chinese). Soils, 2007, 39 (2): 310—313
- [23] 蔡阿兴, 陈章英, 蒋正琦, 等. 我国不同盐渍地区盐分含量与电导率的关系. 土壤, 1997, 29 (1): 54—57. Cai A X, Chen Z Y, Jiang Z Q, et al. The relations between different areas of saline salt content and electric conductivity (In Chinese). Soils, 1997, 29 (1): 54—57
- [24] 刘广明, 杨劲松. 土壤含盐量与土壤电导率及水分含量关系的试验研究. 土壤通报, 2001, 32 (ZJ): 85—87. Liu G M, Yang J S. Study on the correlation of soil salt content with electric conductivity and soil water content (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32 (ZJ): 85—87

SALINIZATION CHARACTERISTICS OF AFFORESTED COASTAL SALINE SOIL AS AFFECTED BY SPECIES OF TREES USED IN AFFORESTATION

Wang Heyun Li Hongli[†] Dong Zhi Chen Xinchuang Shao Shuixian

(Shandong Provincial Key Laboratory of Soil Erosion and Ecological Restoration, Forestry College of Shandong Agricultural University, Taishan Forest Ecosystem Research Station, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract Soil samples were collected from afforested woodlots different in tree species for in-lab analysis of total salt content, anion and cation compositions, total alkalinity, pH, electrical conductivity, and alkalization degree, of which a systematic study was done. Results show: no CO_3^{2-} was detected in a tract of clearing as control and all the woodlots; afforestation significantly changed the content of soluble salts, like Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and HCO_3^- and reduced the content of total salt in the soils; in afforested soils, anions $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$ replaced $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ in dominancy; soil pH and alkalization degree and total alkalinity varied in a similar trend; and among the woodlots, the one of *Amorpha fruticosa* was the highest in alkalization degree, and followed by Woodlot *Tamarix chinensis*; Correlation analysis indicates that soil total salt content (y) is in extremely significant positive linear relationship with electrical conductivity (x), so it is feasible to calculate total salt content with soil electrical conductivity in grading the area by salinization degree. The findings of the study may serve as reference in elucidating salinization-alkalization processes of the coastal saline soil and in ameliorating the soil in the Yellow River Delta.

Key words Afforestation species; Soluble salt ions; Salinization; Coastal saline soil

(责任编辑: 汪枫生)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Application of reductive soil disinfection to suppress soil-borne pathogens Cai Zucong, Zhang Jinbo, Huang Xinqi, et al. (475)
 A review of researches on soil cracks and their impacts on preferential flow...Zhang Zhongbin, Peng Xinhua (488)

Research Articles

- Characteristics of soil aggregate loss in croplands in the typical black soil region of Northeast China Wen Leilei, Zheng Fenli, Shen Haiou, et al. (498)
 Construction of an index set for predicting thickness of active layer of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau and for mapping Chen Jike, Zhao Yuguo, Zhao Lin, et al. (506)
 Variation of mineral composition along the soil chronosequence at the Hailuoguo Glacier foreland of Gongga Mountain Yang Zijiang, Bing Haijian, Zhou Jun, et al. (515)
 Composition of organic carbon in paddy soil in typical area of Chengdu and its influencing factors Liao Dan, Yu Dongsheng, ZhaoYongcun, et al. (526)
 Spatio-temporal variation of soil temperature and soil moisture regime in Hebei Province Cao Xianghui, Lei Qiuliang, Long Huaiyu, et al. (536)
 Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity in a small karst catchment Fu Tonggang, Chen Hongsong, Wang Kelin (546)
 Transformation between soil water and shallow groundwater in the middle reaches of the Dagu River Yang Yuzheng, Lin Qing, Wang Songlu, et al. (556)
 Determination of nitrogen and oxygen isotope ratio of nitrate in water with a chemical conversion method Wang Xi, Cao Yacheng, Han Yong, et al. (565)
 Quantitative research on effects of nitrogen application rate on distribution of photosynthetic carbon in rice-soil system using ¹³C pulse labeling technique Liu Ping, Jiang Chunyu, Li Zhongpei (574)
 Effects of no-tillage ridge-cultivation on soil organic carbon accumulation in ridges and crop yields in paddy fields Ci En, Wang Liange, Ding Changhuan, et al. (585)
 Residual of applied ¹⁵N fertilizer in soils under long-term different patterns of fertilization and its utilization Zhao Wei, Liang Bin, Zhou Jianbin (595)
 Effect of long-term fertilization on rice yield and basic soil productivity in red paddy soil under double-rice system Lu Yanhong, Liao Yulin, Zhou Xing, et al. (605)
 Effects of long-term fertilization on yield variation trend, yield stability and sustainability in the double cropping rice system Ji Jianhua, Hou Hongqian, Liu Yiren, et al. (618)
 Relationship between exudation of nitrification inhibitor MHPP and plasma membrane proton pump of sorghum root Zhou Jinquan, Zhang Mingchao, Wei Zhijun, et al. (527)
 Effects of long-term amendment with passivant and zinc fertilizer on cadmium reduction in tobacco growing in a Cd contaminated field Cao Chenliang, Wang Wei, Ma Yibing, et al. (635)
 Effects of interaction between potassium and humic acid on index of organic potassium salt in flue-cured tobacco Zheng Dongfang, Xu Jiayang, Xu Zicheng, et al. (645)
 Impacts of replacement of *Pinus* with *Eucalyptus* on soil nutrients and enzyme activities Zhang Kai, Zheng Hua, Chen Falin, et al. (653)
 Effects of biological soil crusts on soil enzyme activities in desert areas Yang Hangyu, Liu Yanmei, Wang Tingpu (663)
 Effect of incorporation of crop straw on composition of soil organic matter and enzyme activity in black soil relative to depth and rate of the incorporation Jiao Lina, Li Zhihong, Yin Chengcheng, et al. (671)
 Effect of *Streptomyces* JD211 promoting growth of rice seedlings and diversity of soil bacteria Wang Shiqiang, Wei Saijin, Yang Taotao, et al. (681)
- Research Notes**
- Quality assessment of oasis soil in the upper reaches of Tarim River based on minimum data set Gong Lu, Zhang Xueni, Ran Qiyang (689)
 Effect of iron plaque on surface electrochemical properties and short-term N, P and K uptake by rice rootsZheng Yunyun, Li Zhongyi, Li Jiuyu, et al. (695)
 The changes of microbial community structure in red paddy soil under long-term fertilization Xia Xin, Shi Kun, Huang Qianru, et al. (705)
 Salinization characteristics of afforested coastal saline soil as affected by species of trees used in afforestation Wang Heyun, Li Hongli, Dong Zhi, et al. (712)
- Cover Picture:** Two dimensional and three dimensional images of soil cracks in paddy field (by Zhang Zhongbin)

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 3 May, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

0.5>