

盐碱土改良利用技术研究进展

王利民¹, 陈金林¹, 梁珍海², 陈菲然¹, 王丽娜¹, 薛丹¹, 赵好¹

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153)

摘要: 盐碱土因其含盐多、pH值高、结构差、肥力低等特点, 对植物生长和生态环境均有很大影响, 因此, 改良利用盐碱土具有重要意义。根据国内外有关研究, 综述了土壤母质、质地、地形、新构造运动、水文条件和人为活动等盐碱土主要成因, 分析了盐碱土改良利用的技术措施, 即耕作施肥、覆盖技术、水利措施、化学措施、电磁改良等非生物技术和种质资源筛选、远缘杂交培育、基因工程培育等生物技术; 建议进一步完善区域盐分预报系统和发挥植物—微生物联合修复作用。参 52

关键词: 土壤学; 盐碱土; 改良措施; 利用技术; 综述

中图分类号: S714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)01-0143-06

Research progress of improvement and utilization of saline and alkali soil

WANG Li-min¹, CHEN Jin-lin¹, LIANG Zhen-hai², CHEN Fei-ran¹, WANG Li-na¹, XUE Dan¹, ZHAO Hao¹

(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, Jiangsu, China)

Abstract: Because of its characteristics such as high pH value, high-salt content, poor structure and low fertility, saline and alkali soil has harmful effect on both plant growth and eco-environment. Therefore, it is important to improve and utilize the saline and alkali soil. According to the relevant research in China and abroad, this paper reviewed the main causes of the saline and alkali soil, including soil parent material, texture, landform, neotectonics, hydrological condition, human activities, and analyzed biotechnologies such as germplasm screening, distant hybridization and genetic engineering as well as non-biological technologies including tillage fertilization, covering technique, hydraulic measures, chemical measures and electro-magnetic methods. And suggestions are raised, namely further improving regional salt forecast system and giving play to plant-microorganism combined bioremediation for the soil. [Ch, 52 ref.]

Key words: soil science; alkali-saline soil; improvement measure; utilization technology; review

盐碱土是盐土和碱土的统称^[1]。据联合国教科文组织和粮农组织不完全统计, 全球盐碱土面积已达 $9.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 且每年以 $1.0 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 速度增长。中国盐碱土面积为 $3.7 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 几乎遍布全国^[2]。土壤盐碱化不仅导致土壤生产力降低, 而且引发诸多生态环境问题。随着土地资源的紧张, 必须寻求有效措施防治和改良盐碱土壤。通过国内外盐碱土改良利用技术研究进展综述, 为合理开发利用盐碱土进一步提供理论和实践指导。

1 盐碱土的主要成因

盐碱土形成是自然和人为因素共同作用的结果。自然因素是盐碱土形成的内因, 而人为干扰进一

收稿日期: 2009-01-04; 修回日期: 2009-03-19

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目(2006BAD09A04-06)

作者简介: 王利民, 博士研究生, 从事生态恢复等研究。E-mail: gb898@126.com。通信作者: 陈金林, 教授, 博士生导师, 从事土壤改良与利用研究。E-mail: jlchen@njfu.edu.cn

步加剧盐碱土的发展。研究表明,土壤母质、质地、地形、新构造运动、水文条件和人为活动等是影响盐碱土形成的重要因素^[3-5]。

2 盐碱土改良利用技术

盐碱土形成条件差异大,对植物危害严重。故改良盐碱土应遵循“因害设防,因地治理”的原则,采取相应的技术措施,以便获得较好的改良效果。

2.1 分区方法

盐碱土合理分区是它们改良利用的前提条件。遥感技术覆盖面广,实时性强,能真实反映盐渍度的水平及其动态变化,为盐碱土分区提供技术支撑。关元秀等^[6-7]利用地球资源卫星 Landsat TM 遥感数据,辅以地物的光谱特征,并结合常规的监督分类法和改进的图像分类法,对干旱、半干旱区盐碱土的面积、分布及盐渍度等进行了研究。结果表明:光板地面积为 14 477.7 hm²,重度盐碱土为 52 086.3 hm²,中度盐碱土为 86 699.6 hm²,轻度盐碱土为 215 001.8 hm²。此外,亢庆等^[8]通过调查干旱区的地物特征,基于小型编程对象技术、ASTER 遥感数据和数字高程模型、土样分析数据的融合,采用光谱角度制图的遥感图像分类方法,对实验区土壤进行分区,研究得出:实验区总面积为 2 656.8 km²,其中,重度盐碱土为 205.1 km²,占 7.7%,中度盐碱土为 590.5 km²,占 22.3%,轻度盐碱土为 468.1 km²,占 17.6%。该方法对常规数据的依赖性较小,适于西部干旱地区土地盐碱化的快速监测和评估。此外, Douaoui 和 Farifteh 等^[9-13]利用遥感技术对盐碱土分区、盐渍度监测等研究都获得了可靠结果。所以,通过遥感技术研究盐碱土分区、盐渍度及面积,较以往更为快捷和准确。

2.2 非生物措施

2.2.1 耕作施肥 许多研究认为,整地深翻,适时耕耙,增施有机肥,合理施用化肥,躲盐巧种,耕作层下铺设隔盐层等都是盐碱土改良利用的有效措施^[1,14]。特别是畜禽粪和枯枝落叶等有机物料,来源广,数量大,可以通过坑沤和堆制等腐熟后施入土壤,也可通过机械粉碎直接还田,增加土壤有机质,提高肥力和缓冲性能,降低含盐量,调节 pH 值,减轻盐害^[15]。通过进一步分析施肥量和作物产量间的关系,建立数学模型,确定最佳经济施肥量^[16-17],在改良利用同时获得高产稳产。

2.2.2 覆盖技术 地膜覆盖及其他生物质材料覆盖技术均能减少土壤水分蒸发,减缓或防止土壤盐分表聚。在加拿大草原区实施残茬覆盖,能增加土壤有机质,提高土壤蓄水保墒能力^[18]。赵兰坡等^[19]在吉林省西部采用地膜覆盖,既减缓土壤盐碱危害又增加作物产量。但是,覆盖技术只是暂时把盐分控制在土壤深层,未能从根本上排除,从而存在返盐的潜在危险,需继续加强后期科学管理。

2.2.3 水利措施 研究表明,沟灌沟排和井灌井排等措施对盐碱土改良均有一定效果^[15,20]。由于人口增加和淡水资源匮乏,利用盐碱水进行灌溉势在必行,但同时须减小盐碱水灌溉对环境造成的负面影响。盐碱水的灌溉方式主要有:①循环灌溉:先在土表施用石膏,然后种植作物。作物幼苗生长初期,用淡水浇灌;幼苗建成后,再用盐碱水灌溉。该方法的优点是在幼苗阶段,土壤盐分,尤其是表土含盐量保持在较低水平,有利于苗木的生长^[21]。②混合灌溉:即海水和淡水按一定比例混合后进行灌溉。在灌溉水或浅层地下水的盐渍度不高,且淡水缺乏的地区,混合灌溉意义重大。混合灌溉在印度和美国已普遍实施,效果显著^[22-23]。但有研究表明:盐渍度高的水和盐渍度低的水进行混合灌溉,能导致土表盐渍度上升,作物产量下降^[24]。为此,根据不同作物的耐盐性进一步研究了海水和淡水混合后灌溉水的含盐标准^[25]及混合的最佳配比^[26]。③顺序灌溉:即先用水质较好的水灌溉耐盐性低的作物,后用收集到的含盐量较高的排水再灌溉耐盐性高的作物^[23]。灌溉水可被利用的顺序次数取决于灌溉水的盐碱度、有毒微量元素的浓度和作物的耐盐性。该方法能够充分利用灌溉水,宜在区域范围采用而不适于小范围内使用。吉志军等^[27]在滨海盐碱土通过铺设排盐暗管,并用原地土壤与建筑用砂 1:4 的比例混合,种植碱蓬 *Suaeda glauca*,使土壤速效氮、速效磷、速效钾及有机质分别比对照增加了 6.89, 19.98, 80.0 mg·kg⁻¹ 和 2.57g·kg⁻¹。

2.2.4 化学措施 施用石膏等化学改良剂增加可溶性钙(Ca²⁺),通过离子代换作用把土壤有害的钠(Na⁺)代换出来,结合灌溉使之淋洗,达到盐碱土改良目的,一般用于重度盐碱土改良。化学改良剂

可直接向石灰性苏打土中提供 Ca^{2+} 或通过提高土中难溶性碳酸钙的溶解度, 间接增加 Ca^{2+} , 置换 Na^{+} [28]。例如, 盐碱丰、康地宝、禾康盐碱清除剂等都在近年取得一定改良效果 [15, 17, 29]。但使用化学改良剂一般成本较高, 因此, Sadiq 等 [30] 利用工业副产品硫酸改良盐碱土, 获得明显成效; 张万钧等 [31] 利用天津经济开发区大量存在的海湾泥、碱渣和粉煤灰 (3:1) 等固体废弃物, 作为土壤资源, 很适宜植物生长, 不仅解决了大量固体废弃物污染滨海生态系统的问题, 也为盐碱土改造提供了新的技术途径。

2.2.5 电磁改良 在朝鲜海滨, Micic 等 [32] 使用间歇电流处理高盐度的海成黏土, 辅以预加压固结处理, 改变了土壤物理性质。结果表明, 该综合处理与单纯的预加压固结措施相比, 土壤抗剪性增加 45%, 土壤含水量减少约 25%, 降低了土壤含盐量; Constable [33] 用磁化水灌溉盐碱土, 与普通灌溉水相比, 可提高土壤脱盐率, 节省灌溉水量。

2.3 生物措施

土壤生物活动有利于改善土壤有机质, 增加有效养分, 改良土壤结构。此外, 种植植物可增强植被蒸腾, 降低地下水位, 加速盐分淋洗, 延缓或防止积盐返盐 [1]。植物改良机制主要包括: ①根际二氧化碳 (CO_2) 分压: 植物根系分泌物如多糖、蛋白质和肽等的氧化作用及土壤生物分泌有机酸, 均增加根际 CO_2 分压, 提高土壤的 CO_2 浓度, 溶于水形成碳酸, 分解为 H^+ 和 HCO_3^- , H^+ 又与碳酸钙反应产生 Ca^{2+} , Ca^{2+} 再置换出 Na^+ , 经灌溉水淋洗 Na^+ 后, 降低土壤盐渍度 [28, 34]。②根际 H^+ 数量: H^+ 的一个来源是溶在水里的 CO_2 最后生成 H^+ 和 HCO_3^- , 另一来源是种植固氮的豆科 Leguminosae 植物, 在其根际释放 H^+ 。 H^+ 增加有助于降低非石灰性土壤根际的 pH 值, 而对石灰性盐碱土的 pH 值减幅不大, 但是, H^+ 能与石灰性盐碱土中碳酸钙作用产生 Ca^{2+} , 从而增加盐碱土中 Na^+ 的移除速率 [35]。③根际土壤物理性质: 深根系多年生植物根系的穿插、腐烂, 消除了较大孔隙中的闭塞空气, 使土壤产生干湿交替, 形成大孔隙, 改善土壤水分运动与气体扩散, 改良土壤结构, 有利于后作。另外, 植物根际产生多糖和真菌菌丝, 都与根际和土壤界面的不均匀脱水有关, 增强了土壤团聚体的稳定性 [36]。④收获植物地上部分而被移走的 Na^+ 量: 植物地上部分的收获增加了盐碱土中 Na^+ 的移除量 [37]。生物措施适用于中等质地、粗质地及中度盐碱土改良。生物措施改良过程中灌溉水量需超过作物需水量, 利于根际 CO_2 分压达到峰值, 促进 Ca^{2+} 代换 Na^+ , 也有利于土壤充分淋溶和排除 Na^+ 。生物措施优点在于对较深的根区盐碱土的改良作用较好, 而土壤改良的深度是判断改良效应的重要参数。生物改良措施主要有几种。

2.3.1 利用现有种质资源筛选耐盐品种 该方法简便、经济, 能较快筛选耐盐植物。一般生物量大、耐盐碱和耐渍水的植物, 都具有较好的盐碱土改良效应。研究表明, 碱蓬, 羊草 *Lemus chinensis*, 田菁 *Sesbania cannabina*, 苜蓿 *Medicago* spp., 杨树 *Populus* spp., 柽柳 *Tamarix chinensis*, 刺槐 *Robinia pseudoacacia* 等具有较强抗盐能力 [38-40], 结合植物耐盐生态阈值研究 [41], 更好地筛选耐盐品种。

2.3.2 利用远缘杂交培育耐盐品种 育种工作中, 发现许多作物的栽培品种遗传变异资源已严重枯竭, 这种现象普遍存在于种植于起源地以外的自花授粉作物中。而起源地的栽培品种及野生种的遗传变异资源则较为丰富, 例如, 在番茄 *Lycopersicon esculentum* 起源地的原始品种中发现了高水平的变异, 野生种的变异则更为丰富 [42]。在秘鲁番茄中可以区分的至少有 35 个生理小种, 它们在单株、种和群体水平上都存在很大的变异 [43]。所以, 利用远缘杂交育种, 可解决目前耐盐基因转移后表达困难, 成功率小的问题, 有着广阔的市场前景。

2.3.3 利用基因工程培育耐盐品种 渗透调节小分子有机物基因、离子区隔化基因和保护酶基因均能提高植物抗盐性 [44-45]。甜菜碱醛脱氢酶 (BADH) 基因能被盐碱胁迫诱导和表达, BADH 活性加强, 植物对逆境的适应性也增强。通过生物技术, BADH 基因能被转入到其他植物体, 获得耐盐碱性高的转基因物种, 加速盐碱土改良 [39]。对缅甸红树 *Bruguiera gymnorhiza* 的研究表明, 光合基因上调有利于恢复光合能力 [46]; 也有研究发现光合基因下调在盐胁迫调节中也占重要地位 [47]。虽然基因工程技术还存在生物安全问题, 但是随着对植物耐盐遗传机理深入研究, 转基因技术会更广泛地应用于植物育种。

2.3.4 利用微生物提高植物的耐盐性 有机磷细菌 [48]、硅酸盐细菌 [49] 及光合细菌 [50] 都是盐碱土改良利用的重要功能菌。Abd-Alla 在麦秆上接种分解纤维素真菌, 施于盐碱土, 提高了豆科植物的固氮能力和抗盐性 [51]。王桂君等 [52] 研究表明, 丛枝菌根真菌在盐性环境中能够增加植物对矿质营养吸收, 提高

植物耐盐性,促进生长。此外,酵母菌类低等真核生物,其细胞简单,培养容易,遗传背景清楚,因此,从盐碱土壤中分离耐盐酵母菌,有利于接种而提高农作物耐盐性^[48]。

3 展望

不同措施对盐碱土壤的改良利用效果各不相同,生产实践中,应各种措施合理配合,综合防治才能取得良好效果。以往盐碱土改良工作较为依赖于水利措施,投入大,成本高。随着科技发展,新的改良技术日渐兴起,对盐碱土治理开发水平大有促进,因此,今后应进一步建立和完善区域盐分预报系统,随着遥感等现代技术不断引入土壤研究工作中,提高盐碱土制图的速度和精度,快速准确地掌握土壤盐分动态,为及时采取相应的防治措施提供有力保障。其次,推广运用现代生物技术,促进耐盐、耐涝和耐旱植物品种的培育。现代生物技术突破了远源物种不能杂交的禁区,将植物耐盐基因分离并导入常规作物,对耐盐植物品种的培育大有帮助。另外,利用细胞全能性,组织培养繁殖耐盐植物,也为快速获得耐盐植物提供了技术保证。同时,在土壤盐分迁移、动态规律的研究基础上,进一步利用微生物提高植物耐盐性,深入了解不同植物对微生物的影响,维持和改善微生物活性,推广耐盐功能菌接种技术,进一步发挥微生物-植物联合修复作用,加快盐碱土改良进程。

参考文献:

- [1] 石元春. 盐碱土改良——诊断、管理、改良[M]. 北京: 农业出版社, 1996: 1 - 22.
- [2] 陈巍, 陈邦本, 沈其荣. 滨海盐土脱盐过程中 pH 变化及碱化问题研究[J]. 土壤学报, 2000, **37** (4): 521 - 528.
CHEN Wei, CHEN Bangben, SHEN Qirong. Studies on the changes of pH value and alkalization of heavily saline soil in seabeach during its desalting process [J]. *Acta Pedol Sin*, 2000, **37** (4): 521-528.
- [3] LIU Huiqing, XU Jiawei, WU Xiuqin. Present situation and tendency of saline-alkali soil in west Jilin Province [J]. *J Geogr Sci*, 2001, **11** (3): 321-328.
- [4] BIAN Jianmin, TANG Jie, LIN Nianfeng. Relationship between saline-alkali soil formation and neotectonic movement in Songnen Plain, China [J]. *Environ Geol*, 2008, **55** (7): 1421 - 1429.
- [5] FANG Hongliang, LIU Gaohuan, KEARNEY M. Georelational analysis of soil type, soil salt content, landform, and land use in the Yellow River Delta, China [J]. *Environ Manage*, 2005, **35** (1): 72 - 83.
- [6] 关元秀, 刘高焕. 黄河三角洲盐碱地动态变化遥感监测[J]. 国土资源遥感, 2003 (2): 19 - 22.
GUAN Yuanxiu, LIU Gaohuan. Remote sensing detection of dynamic variation of the saline land in the Yellow River Delta [J]. *Remote Sens Land & Resour*, 2003 (2): 19 - 22.
- [7] 关元秀, 刘高焕, 刘庆生, 等. 黄河三角洲盐碱地遥感调查研究[J]. 遥感学报, 2001, **5** (1): 46 - 52.
GUAN Yuanxiu, LIU Gaohuan, LIU Qingsheng, et al. The study of salt-affected soils in the Yellow River Delta based on remote sensing [J]. *J Remote Sens*, 2001, **5** (1): 46 - 52.
- [8] 亢庆, 张增祥, 赵晓丽, 等. 基于遥感技术的干旱区土地盐碱化分级[J]. 干旱区资源与环境, 2006, **20** (3): 144 - 148.
KANG Qing, ZHANG Zengxiang, ZHAO Xiaoli, et al. Remote sensing application to rapid survey of land salinization based on multi-source images [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2006, **20** (3): 144 - 148.
- [9] MASOUD A A, KOIKE K. Arid land salinization detected by remotely-sensed landcover changes: A case study in the Siwa region, NW Egypt [J]. *J Arid Environ*, 2006, **66** (1): 151 - 167.
- [10] FERNANDEZ-BUCES N, SIEBE C, CRAM S, et al. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texcoco, Mexico [J]. *J Arid Environ*, 2006, **65**: 644 - 667.
- [11] KHAN N M, RASTOSKUEV V V, SATO Y, et al. Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators [J]. *Agric Water Manage*, 2005, **77**: 96 - 109.
- [12] DOUAOUI A E K, NICOLAS H, WALTER C. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data [J]. *Geoderma*, 2006, **134**: 217 - 230.
- [13] FARIFTEH J, FARSHAD A, GEORGE R J. Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics [J]. *Geoderma*, 2006, **130**: 191 - 206.
- [14] 潘保原, 宫伟光, 张子峰, 等. 大庆苏打盐渍土壤的分类与评价[J]. 东北林业大学学报, 2006, **34** (2): 57 - 59.
PAN Baoyuan, GONG Weiguang, ZHANG Zifeng, et al. Classification and evaluation of the soda-saline soil in Daqing

- [J]. *J Northeast For Univ*, 2006, **34** (2): 57 – 59.
- [15] BHATTI A U, KHAN Q, GURMANI A H, *et al.* Effect of organic manure and chemical amendments on soil properties and crop yield on a salt affected Entisol [J]. *Pedosphere*, 2005, **15** (1): 46 – 51.
- [16] 阮长春, 李宇, 张俊杰, 等. 锌肥对盐碱土水稻产量性状及产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2006, **28** (6): 591 – 593.
- RUAN Changchun, LI Yu, ZHANG Junjie, *et al.* Effect of Zn fertilizer on rice yield and yield characters in salinized soil [J]. *J Jilin Agric Univ*, 2006, **28** (6): 591 – 593.
- [17] 王立春, 谢佳贵, 秦裕波, 等. 测土配方施肥方法研究[J]. 土壤通报, 2008, **39** (4): 865 – 870.
- WANG Lichun, XIE Jiagui, QIN Yubo, *et al.* The methods of soil testing and fertilizer recommendation [J]. *Chin J Soil Sci*, 2008, **39** (4): 865 – 870.
- [18] 王小彬, KLEIN K K. 加拿大草原地区的残茬覆盖管理[J]. 土壤肥料, 1996 (2): 34 – 37.
- WANG Xiaobin, KLEIN K K. Covering management of residual stubble in the Canadian steppe region [J]. *Soils Fert*, 1996 (2): 34 – 37.
- [19] 赵兰坡, 王宇, 马晶, 等. 吉林省西部苏打盐碱土改良研究[J]. 土壤通报, 2001, **32** (增刊): 91 – 96.
- ZHAO Lanpo, WANG Yu, MA Jing, *et al.* Improvement of soda-typed saline-alkaline soil in Western Jilin Province [J]. *Chin J Soil Sci*, 2001, **32** (supp): 91 – 96.
- [20] WANG Yangren, KANG Shaozhong, LI Fusheng, *et al.* Saline water irrigation scheduling through a crop-water-salinity production function and a soil-water-salinity dynamic model [J]. *Pedosphere*, 2007, **17** (3): 303 – 317.
- [21] MORENO F, CABRERA F, FERNANDEZ-BOY E, *et al.* Irrigation with saline water in the reclaimed marsh soils of south-west Spain: impact on soil properties and cotton and sugar beet crops [J]. *Agric Water Manage*, 2001, **48**: 133 – 150.
- [22] MINHAS P S. Saline water management for irrigation in India [J]. *Agric Water Manage*, 1996, **30** (1): 1 – 24.
- [23] OSTER J D, GRATAN S R. Drainage water reuse [J]. *Irrig Drain Sys*, 2002, **16**: 297 – 310.
- [24] SWEENEY S M, STEVENS R M. Growth and water use of eucalypt trees irrigated with saline drainage water [J]. *Irrig Sci*, 1997, **17** (4): 173 – 181.
- [25] BAUDER J W, BROCK T A. Irrigation water quality, soil amendments, and crop effects on sodium leaching [J]. *Arid Lands Res Manage*, 2001, **15**: 101 – 113.
- [26] 刘兆普, 陈铭达, 刘玲, 等. 半干旱地区海水灌溉下滨海盐土盐分运动研究[J]. 土壤学报, 2004, **41** (5): 823 – 826.
- LIU Zhaopu, CHEN Mingda, LIU Ling, *et al.* Salinity characteristics of marine saline soil under seawater irrigation in semiarid region [J]. *Acta Pedol Sin*, 2004, **41** (5): 823 – 826.
- [27] 吉志军, 唐运平, 张志扬, 等. 不同基底处理下碱蓬种植对滨海盐渍土的改良与修复效应初探 [J]. 南京农业大学学报, 2006, **29** (1): 138 – 141.
- JI Zhijun, TANG Yunping, ZHANG Zhiyang, *et al.* Primary exploration of reformatting and renovation on coastal saline-alkali soil under different substrate treatment [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2006, **29** (1): 138 – 141.
- [28] QADIR M, OSTER J D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture [J]. *Sci Total Environ*, 2004, **323**: 1 – 19.
- [29] 谢晓蓉, 刘金荣, 金自学, 等. 黑河灌区盐碱化土地的修复与调控研究[J]. 水土保持通报, 2006, **26** (2): 107 – 110.
- XIE Xiaorong, LIU Jinrong, JIN Zixue, *et al.* Recovery and control of saline-alkali lands in irrigated area of Black River [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2006, **26** (2): 107 – 110.
- [30] SADIQ M, HASSAN G, MEHDI S M, *et al.* Amelioration of saline-sodic with tillage implements and sulfuric acid application [J]. *Pedosphere*, 2007, **17** (2): 182 – 190.
- [31] 张万钧, 郭育文, 王斗天, 等. 滨海生态系统废弃物资源综合利用的生态恢复工程[J]. 土壤通报, 2001, **32** (增刊): 151 – 155.
- ZHANG Wanjun, GUO Yuwen, WANG Doutian, *et al.* Ecological remediation of wastes resources by comprehensive utilization in coastal ecosystem [J]. *Chin J Soil Sci*, 2001, **32** (supp): 151 – 155.
- [32] MICIC S, SHANG J Q, LO K Y, *et al.* Electrokinetic strengthening of a soft marine sediment using intermittent current [J]. *Can Geotech*, 2001, **38**: 287 – 302.
- [33] CONSTABLE S. Marine electromagnetic methods — a new tool for offshore exploration [J]. *Soc Explor Geophys*, 2006, **25** (4): 438 – 444.

- [34] QADIR M, GHAFOR A, MURTAZA G. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils [J]. *Agric Water Manage*, 2001, **50** (3): 197 – 210.
- [35] QADIR M, STEFFENS D, YAN F, *et al.* Proton release by N₂-fixing plant roots: a possible contribution to phytoremediation of calcareous sodic soils [J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2003, **166** (1): 14 – 22.
- [36] TISDALL J M. Fungal hyphae and structural stability of soil [J]. *Aust J Soil Res*, 1991, **29**: 729 – 743.
- [37] BARRETT-LENNARD E G. Restoration of saline land through revegetation [J]. *Agric Water Manage*, 2002, **53**: 213 – 226.
- [38] 孙振元, 刘金, 赵梁军, 等. 盐碱土绿化技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 157 – 159.
- [39] CUI X Y, WANG Y, GUO J X. Osmotic regulation of betaine in *Leymus chinensis* under saline-alkali stress and cloning and expression of betaine aldehyde dehydrogenase(BADH) gene [J]. *Chem Res Chin Univ*, 2008, **24** (2): 204 – 209.
- [40] 郁万文, 曹帮华, 曹福亮. 刺槐生长及盐离子吸收分配对干旱和旱盐胁迫的响应[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (3): 290 – 296.
- YU Wanwen, CAO Banghua, CAO Fuliang. Growth, ionic absorption and ionic distribution responses to soil drought and drought-salt stresses in two *Robinia pseudoacacia* clones [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (3): 290 – 296.
- [41] 崔保山, 贺强, 赵欣胜. 水盐环境梯度下翅碱蓬(*Suaeda salsa*)的生态阈值[J]. 生态学报, 2008, **28** (4): 1408 – 1418.
- CUI Baoshan, HE Qiang, ZHAO Xinsheng. Ecological thresholds of *Suaeda salsa* to the environmental gradients of water table depth and soil salinity [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28** (4): 1408 – 1418.
- [42] DESSALEGNE L, WETTEN A C, CALIGARI P D S. Production of transgenic tomatoes expressing oxalate oxidase [J]. *Acta Hort*, 1997, **447**: 457 – 458.
- [43] FOOLAD M R, LIN G Y. Absence of a genetic relationship between salt tolerance during seed germination and vegetative growth in tomato [J]. *Plant Breed*, 1997, **116** (4): 363 – 367.
- [44] 吕萍萍, 胡军, 陈少良, 等. 抗盐胡杨 Na⁺/H⁺逆向转运蛋白基因 *PeNhaD1* 的功能 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2007, **33** (2): 173 – 178.
- LÜ Pingping, HU Jun, CHEN Shaoliang, *et al.* Function of the putative Na⁺/H⁺ antiporter gene *PeNhaD1* from salt-resistant *Populus euphratica* Oliv. [J]. *J Plant Physiol Mol Biol*, 2007, **33** (2): 173 – 178.
- [45] 张宏飞, 王锁民. 高等植物 Na⁺吸收、转运及细胞内 Na⁺稳态平衡研究进展[J]. 植物学通报, 2007, **24** (5): 561 – 571.
- ZHANG Hongfei, WANG Suomin. Advances in study of Na⁺ uptake and transport in higher plants and Na⁺ homeostasis in the cell [J]. *Chin Bull Bot*, 2007, **24** (5): 561 – 571.
- [46] MIYAMA M, TADA Y. Transcriptional and physiological study of the response of Burma mangrove (*Bruguiera gymnorhiza*) to salt and osmotic stress [J]. *Plant Mol Biol*, 2008, **68**: 119 – 129.
- [47] JIN H, KIM H R, PLAHA P, *et al.* Expression profiling of the genes induced by Na₂CO₃ and NaCl stresses in leaves and roots of *Leymus chinensis* [J]. *Plant Sci*, 2008, **175** (6): 784 – 792.
- [48] 郑红丽, 周晓荣, 樊明寿. 燕麦根际有机磷细菌的分离及其有关生理特性的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, **25** (5): 1 – 5.
- ZHENG Hongli, ZHOU Xiaorong, FAN Mingshou. Isolation of organic-phosphorus-dissolving bacteria in rhizosphere of oat(*Avena nuda* L.) and their growth in cultural media [J]. *Agric Res Arid Areas*, 2007, **25** (5): 1 – 5.
- [49] 李杨, 李登煜, 黄明勇, 等. 从盐碱土中分离的几株硅酸盐细菌的生物学特性初步研究[J]. 土壤通报, 2006, **37** (1): 206 – 208.
- LI Yang, LI Dengyu, HUANG Mingyong, *et al.* Study on biological characteristics of several silicate bacteria isolated from saline soil [J]. *Chin J Soil Sci*, 2006, **37** (1): 206 – 208.
- [50] LIU Fujun, HU Wengying, LI Quanyi. Phytosynthetic bacteria (PSB) as a water quality improvement mechanism in saline-alkali wetland ponds [J]. *J Environ Sci*, 2002, **14** (3): 339 – 344.
- [51] ABD-ALLA M H, OMAR S A. Wheat straw and cellulolytic fungi application increase nodulation, nodule efficiency and growth of fenugreeek (*Rigonella foenum-graceum* L.) grown in saline soil [J]. *Biol Fert Soil*, 1998, **26** (1): 58 – 65.
- [52] 王桂君, 张丽辉, 赵骥民, 等. 盐性条件下的 AM 真菌以及 AM 真菌提高植物耐盐性研究[J]. 长春师范学院学报, 2004, **23** (4): 64 – 68.
- WANG Guijun, ZHANG Lihui, ZHAO Jimin, *et al.* The AM fungi on salt condition and the effect of AM fungi on plants [J]. *J Changchun Teach Coll*, 2004, **23** (4): 64 – 68.