

Progress on Salinization Soil Restoration Method

Yufang Sun¹, Lichun Niu², Fuqiang Song^{2*}

¹College of Sino-Russian, Heilongjiang University, Harbin

²College of Life Science, Heilongjiang University, Harbin

Email: sunyufang1026@126.com, 0431sfq@163.com

Received: Feb. 18th, 2014; revised: Mar. 18th, 2014; accepted: Mar. 25th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Salinization of soil not only leads to the decrease in soil productivity, but also elicits various kinds of ecological and environmental problems. With the increase in shortage of land resources, effective methods for repairing the saline soil are in urgent need. In this review, the cause and the type of salinization soil were elucidated, and afterwards the restoration methods to salinization soil were synthesized according to the studies at home and abroad. Finally, the prospect was put forward pertaining to the further required investigation on salinization soil restoration, on which the plant-microbial bioremediation technology will be the focus in the future and has a great spread and application potential.

Keywords

Salinization Soil, Cause, Restoration Method, Bioremediation

盐碱土修复方法的研究进展

孙玉芳¹, 牛丽纯², 宋福强^{2*}

¹黑龙江大学, 中俄学院, 哈尔滨

²黑龙江大学, 生命科学学院, 哈尔滨

Email: sunyufang1026@126.com, 0431sfq@163.com

收稿日期: 2014年2月18日; 修回日期: 2014年3月18日; 录用日期: 2014年3月25日

*通讯作者。

摘要

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,必须寻求有效方法修复盐碱土壤。文章主要阐述了土壤盐碱化的成因及类型,并根据国内外研究进展归纳了盐碱土壤修复的方法,最后对今后需进一步研究的问题进行了展望,指出微生物植物联合修复将是今后研究的热点问题,并具有极大的推广应用潜力。

关键词

盐碱土, 成因, 修复方法, 生物修复

1. 引言

盐碱土资源是我国一种很重要的后备耕地资源,随着人口增加与土地减少、资源短缺与生态恶化的矛盾日益尖锐化,人们越来越重视开发利用盐碱地来缓解危机,使人类的食物供应获得更为广阔来源。土壤盐碱化治理是一个世界性问题。据联合国教科文组织和粮农组织的不完全统计,全球盐碱地面积已达 $9.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$,且每年以 $1.0 \sim 1.5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 速度增长[1]。其中,我国盐碱土面积约为 $9.9 \times 10^7 \text{ hm}^2$,主要分布于5个大区的23个省、市、自治区的平原,包括滨海盐碱土区、黄淮海平原盐碱土区、西北半干旱盐碱土区和干旱盐碱土区以及东北盐碱土区[2],同时,土壤盐碱化引发诸多生态环境问题,如水土流失,土地荒漠化,森林和草地资源减少,生物多样性减少等。寻求积极有效的措施防治和改良盐碱土壤,已经引起了学者及各级政府的高度关注。本文针对国内外盐碱土修复方法的研究进展进行了阐述,旨在为合理开发利用盐碱土壤提供理论和实践指导。

2. 土壤盐碱化概况

2.1. 土壤中盐分来源

土壤中的盐分包括不同的离子,如 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等。通常情况下,它们在土壤溶液中作为营养成分。当这些离子的浓度达到足以对土壤性状和植物生长产生不良影响时,就成为盐分。主要来源:(1) 海洋,如风暴潮、海雾、海水入侵等。(2) 土壤母质,如离子含量高的岩石、火山灰和矿质分解等。(3) 成土运动,如自然条件下离子变化。(4) 过量施肥,肥料中的一些离子残留在土壤中。(5) 动植物分解物,部分无机离子若不能全部被植物吸收利用,则进入土壤。

2.2. 土壤盐碱化原因

土壤盐碱化的原因很多,主要与气候干旱、地势低洼、排水不畅、地下水位高、地下水矿化度大等因素有关,母质、地形、土壤质地层次等对盐碱化的形成也有重要影响。

2.3. 中国土壤盐碱化类型

主要有以下几种,一是现代盐碱化:在现代自然环境下,积盐过程是主要的成土过程;二是残余盐碱化:土壤中某一部位含一定数量的盐分而形成积盐层,但积盐过程不再是目前环境条件下主要的成土过程;三是潜在盐碱化:心底土存在积盐层,或者处于积盐的环境条件(如高矿化度地下水、强蒸发等),从而可能发生盐碱成分在土壤表面积聚的情况,而导致土壤的潜在盐碱化。

3. 盐碱土壤修复方法

3.1. 水利工程及农业修复方法

通过水利工程设施,改善用水、管水方法,以便淋洗、冲淡盐分,调控地下水位,达到改良盐碱土目的[3]。暗管排水技术是土壤改良中的一项重要水利工程措施,在干旱和半干旱地区应用较多。在宁夏银南灌区,排水工程获得了突出的效果,暗管对农业增产发挥了不同程度的作用[4]。根据水盐运动的规律和特点,控制或减少土壤水分蒸发,可以减轻盐分积累起到良好的作用[5]。为减少农田土壤水分无效蒸发可利用地膜覆盖[6]、水泥硬壳覆盖以及施用土壤改良剂[7]进行盐碱土改良。在农业生产中实行有效的耕作措施,可以降低土壤盐分含量。它包括深耕细耙、增施绿肥和发展节水农业。深耕细耙,即可以防止土壤板结,又能改善土壤结构,改良土壤物理性状,增强透水透气性和田间持水量,达到保水保肥,降低盐分危害的目的。增施绿肥不仅可以增加土壤有机质,还能改善土壤结构和林木根际微环境,增强土壤微生物的活动,达到提高土壤肥力,抑制盐分积累的目的[8]。发展节水农业的主要措施是种植耐旱作物,或采用滴灌、喷灌、管灌等新型节水灌溉方式,这样不仅能解决水源不足的问题,还能有效防止土壤盐渍化,从而促进作物生长,提高作物产量和质量[9]。另外,很多地方尝试在盐碱地上种植一些耐盐作物、蔬菜等,如山东东营、辽宁营口等在盐碱地上种植水稻,并在水稻田中养鱼,放鸭等。卢艳丽[10]研究燕麦与不同作物混作抗盐碱生理特性表明,混作比单一作物抗盐碱能力强。

3.2. 化学修复方法

化学修复方法就是施用化学改良剂或一些矿质肥料,改善土壤理化性质,减轻或消除盐碱危害作用[11]。主要利用其中的钙代换出土壤中的代换性钠,或用生成的酸直接中和土壤的碱性,达到改良目的。碱土化学改良剂可大致分为两类:一类是含钙物质,如石膏、磷石膏、电厂脱硫后的煤灰石膏;另一类是酸性物质,如硫磺粉、硫酸、硫酸铝、硫酸亚铁等。

王彬等[12]采用大田和盆栽相结合的试验方法,研究了施用脱硫废弃物后对盐碱土壤的改良状况及对油葵(*Helianthus annuus*)生长的影响,研究表明,脱硫废弃物的施用能显著改良盐碱土壤,促进油葵的生长。魏耀锋等[13]研究得出脱硫废弃物施用量为 2.5t/亩时,盐碱土壤改良效果最好,枸杞根系生长最旺盛。有时利用 2 种或数种化学物质作为盐碱土壤改良剂,例如王晓洋[14],采用 4 种土壤改良剂,通过改良剂单施和改良剂与石膏配施试验,分析测定了施用这些改良剂后的土壤含盐量和 pH 值,并测定了作物产量,结果表明,腐殖酸与石膏配施是滨海盐渍土适宜的改良剂组合。但是,化学改良措施若不与生物、水利改良措施相结合,很难达到预期的效果和目的。

3.3. 生物修复方法

3.3.1. 动物修复方法

盐碱土壤的动物修复方法可以利用一些土中生存的动物在生长发育的过程中,将体内的某些分泌物排放于盐碱土壤中,与土壤中的盐碱成分发生化学反应,降低土壤盐碱度,改良盐碱土。蚯蚓是土壤中分布广泛的动物之一,伍玉鹏等[15]研究得出,接种蚯蚓能够改善盐碱地土壤的理化性质及生物特性,是巩固盐碱地改良效果、促进盐碱地持续利用的有效方法之一。同时,由于动物的生理活动,松动土壤,改善土壤生物结构、土壤孔隙度和含水率等。申雪庆[16]利用蚯蚓处理污泥产生的蚯蚓粪有机肥研究其对盐碱土壤生化关键指标的影响,进而探讨利用蚯蚓粪来改良盐碱土壤,改善土壤生态环境。但盐碱土壤的动物修复方法研究成果欠缺,有待于继续探索研究。

3.3.2. 植物修复方法

盐碱土的植物修复方法主要是通过种植耐盐碱的植物, 依赖植物的生长发育吸收土壤中的盐碱成分, 从而降低土壤的盐碱度, 达到修复盐碱地的目的。此方法的功效比较强、经济实惠并且自然环保, 研究成果比较多。(1)种植草本植物: 多年生禾本科植物星星草(*Puccinellia tenuiflora*)经人工种植后能够在碱斑地上生长发育, 并对盐碱土壤具有改良作用。陈刚等[17]研究表明, 星星草的生长增强了盐碱草地土壤氮素的矿质化作用和生物固氮强度, 最终促进了盐碱草地的氮素沉积, 达到了适合于其它物种的生长的水平, 从而使碱斑植被得以恢复。吴春霞等[18]通过植物的耐盐胁迫实验发现了草木樨(*Melilotus suaveolens Ledeb*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、艾蒿(*Artemisia argyi*)和补血草(*Limonium sinense*)4种耐盐生植物对盐碱土的修复功效。哈玲津等[19]对这4种植物进行盆栽试验, 生长5个月后, 测定土壤的各项生化指标, 结果表明, 4种植物均能大大降低土壤总盐量。张立宾等[20]研究了碱蓬对滨海盐渍土的改良效果, 结果表明, 种植碱蓬(*Suaeda heteroptera Kitog*)能够有效地降低土壤表层含盐量, 增加土壤有机质含量, 提高土壤中N、P、K的含量。与刘玉新等[21]研究碱蓬等耐盐植物的试验结果一致。Ravindran等[22]研究6种聚盐耐盐草本植物并评估其生物聚盐的可行性, 结果表明在碱蓬和海马齿组织中有更多的盐积累, 土壤中盐含量减少更多。在盐碱地种植一些聚盐的经济作物, 通过采摘及收割, 不仅可以降低土壤的含盐量, 同时也可以改良土壤的物理性能。Matthew Gilliham等[23]发表论文宣布培育出一种抗盐小麦新品种, 可以使盐地上的粮食产量提高最多可达25%。张瑛等[24]在种植6a苜蓿(*Medicago sativa L.*)的盐碱地上, 通过对苜蓿地和未种植苜蓿的盐碱荒地(对照)的pH值、盐分及养分的化验测定, 结果表明, 在盐碱地上种植苜蓿可明显改良盐碱土壤; 在0~60 cm的耕作层中, 苜蓿地的全盐含量比对照下降了29.8%, 有机质比对照提高了4.5%。Akhter等[25]进行野外试验评估种植盐生植物千金子Kallar草(*Leptochloa fusca(L.) Kunth*)对改良盐碱土物理属性的有效性, Kallar草生长3年后即显著改善了土壤的物理属性, 随着时间的延长, 土壤中植物可利用水分显著提高, 土壤有机质含量增加。可见, 耐盐碱的草本植物对盐碱地的修复有积极的效果。(2)种植木本植物: 种植一些耐盐碱树木在一定程度上可以达到修复盐碱地的效果。高彦花等[26]在天津滨海地区营造白刺(*Nitraria tangutorum*)、杜梨(*Pyrus betulaefolia*)和银水牛果(*Shepherdia argentea*)3种林地, 造林4年后分别对3种林地的土壤微生物数量、养分和盐分质量分数进行了研究, 结果表明, 白刺改良盐碱土的效果最好, 杜梨次之, 银水牛果较差。陈志强[27]研究表明, 沙枣(*Elaeagnus moorcroftii*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、杜梨(*pyrus betulaefolia*)、甘蒙怪柳(*Tamarix austromongolica*)、甘肃怪柳(*Tamarix gansuensis*)、多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)、西伯利亚白刺(*Nitraria sibirica*)和齿叶白刺(*Nitraria robowskii*)较适合在中度苏打盐碱土上生长。(3)种植耐盐碱转基因植物: 转基因技术及耐盐碱基因的克隆为耐盐碱新品种的培育提供了一条行之有效的途径。单长建[28]研究发现来自厚叶旋蒴苣苔的转录因子*BcWRKY1*基因转入玉米中能提高玉米的抗盐碱能力。现阶段国内外研究者主要研究抗盐碱基因, 如脯氨酸基因、甜菜碱醛脱氢酶(Betaine Aldehyde Dehydrogenase, BADH)基因[29]、Na⁺/H⁺反转录基因TaNHx1和TaNHx2[30]等; 抗盐碱蛋白主要研究质膜和液泡跨膜离子转运蛋白[31]如Na⁺/H⁺逆向转运蛋白(Na⁺/H⁺Anti-porter or Exchanger, NHX)[32]、液泡膜H⁺转运无机焦磷酸酶(H⁺__PPase)等, 但将耐盐碱转基因植物应用于大田试验的相关报道还很少。虽然转基因技术还存在生物安全问题, 但是随着对植物耐盐遗传机理更为深入研究, 转基因技术将会更广泛地应用于植物育种, 培育出更多新的耐盐经济作物品种。

3.3.3. 微生物修复方法

微生物修复集经济、环境和生态效益于一身, 近年来在盐碱地修复中的应用得到不断加强。微生物菌剂能活化并促进植物对营养元素的吸收, 产生多种生理活动物质刺激植物生长, 抑制病原菌, 提高植

物抗性。固氮菌[33]、磷细菌[34]、硅酸盐细菌[35]、菌根菌[36]、光合细菌[37]等都是盐碱土改良利用的重要功能菌。Liu FJ 等[37]认为在盐碱湿地接种光合细菌,可以增加有效磷,促进浮游生物生长,提高初级生产力,改善水质。菌根共生通过根外菌丝促进植物吸收矿质养分,改变根组织渗透调节能力,增强植物耐盐碱性[36]。Beatriz Estrada 等[38]研究证实接种 AM 真菌能提高宿主植物玉米的耐盐性。Ricardo Aroca 等[39]在三种不同盐度中种植生菜,通过测定其植物根系分泌的信号分子独脚金内酯(*strigolactone*, SL)的含量,结果证明独脚金内酯能促进丛枝菌根真菌菌丝与寄主植物共生。黄艺等[40]以油松为试材,在自然盐碱土上接种外生菌根,表明外生菌根真菌具有缓解盐碱土壤对植物生长量增长的抑制作用。利用耐盐碱细菌对盐碱土壤进行修复,要求细菌对植物没有过大的损害作用,故此张广志等[41]不少科研人员在此方面,对盐碱土壤中的耐盐细菌进行了大量的筛选和鉴定研究工作。Usha Chakraborty 等[42]在含 10% 的 NaCl 营养琼脂培养基上筛选出蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*),通过实验证实该细菌具有较强溶解土壤磷酸盐的能力。盐碱土壤中嗜盐碱细菌对盐碱土壤的修复具有良好的效[43]。利用具有活性的微生物菌肥施用于盐碱土壤中,通过微生物生长、繁殖等作用于盐碱土壤使其盐碱成分得到降解,如宋家清等[44]对滨海盐碱土壤施用活性微生物菌肥,探讨菌肥浓度分别对表土层和 5 cm 土层土壤养分、盐分和 pH 值的作用,研究表明,施用菌肥后表土层铵态氮含量增加明显,速效钾含量一定程度增加,速效磷变化不大,硫酸盐含量降低明显,氯化盐含量下降需要较高菌肥浓度;5 cm 土层铵态氮含量下降明显,速效钾含量一定程度增加,速效磷变化不大;硫酸盐升高明显,氯化盐变化较小;施用菌剂处理后土壤酸碱度降至中性。Reddy 和 Singh[45]从磷矿粉矿山堆放区生长的麻枫树根际土中筛选出一种草酸青霉菌,接种于 pH 为 8.1 的碱土中,种植大麦 2 个月后,碱土中可利用磷含量和有机碳水平增加,且植物体内的磷含量相应提高。李兰晓等[46]认为施用胶质芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌等微生物复混肥可明显改善微生物区系,提高盐碱地造林成活率。王婧等[47]在大田中施用不同微生物菌肥产品,试验表明,不同产品均可降低 0~40 cm 土层盐分含量,同时可改善土壤微生态系统,达到修复盐碱地的效果。杨明等[48]研究表明,施用有机肥是一种改善盐碱土理化性质、增加玉米单产的重要措施。

4. 展望

盐碱地改良利用是一项涉及多学科,长期复杂的研究课题。中国盐碱地资源较为丰富,通过合理开发利用盐碱地资源,变不利条件为有利因素,是促进土壤盐碱化地区可持续发展的重要途径之一。实践证明,在盐碱地修复研究方面,工程与化学方法都存在着一定的缺点,表现在用工量大、投入成本高、维持时间短和带来其它形式的二次污染。在当今提倡生态效益为重的前提下,生物修复方法已成为研究的热点。

(1) 国际上盐碱地的改良利用已由以水利工程治理为主向生物治理转变,重视开发利用植物耐盐性的研究与应用,利用现代生物技术培育耐盐品种,使得盐碱土直接利用成为了可能[49]。现代生物技术的发展突破了远源物种不能杂交的禁区。因此,人类应有能力通过现代生物技术将耐盐植物的耐盐基因分离出来,导入到常规的作物中,提高作物的耐盐性。同时,人类可以利用植物细胞的全能性,通过组织培养繁殖耐盐植物,为快速筛选耐盐植物提供了技术保证。

(2) 开展盐碱土微生物特性研究和耐盐碱菌的分离筛选,有利于丰富高效菌种资源,开发应用复合菌剂修复盐碱土。

(3) 不同的盐碱土壤修复方法各具其特殊作用,在生产实践中,应当各种措施合理配合,综合防治才能取得良好效果。微生物-植物联合修复盐碱地是目前研究的热点问题之一。例如,如何利用菌根真菌与植物的共生关系来增加植物在盐渍土壤中的适应能力,提高盐碱地土地生产力和生态效益已成为重要研究方向。

总之, 这些研究和措施都是提高这一特殊自然条件下的土地利用、改良利用盐碱地、进而改善自然生态环境简便易行、投资少、见效快的有效可行方法。

项目基金

黑龙江省杰出青年科学基金(JC201306); 黑龙江省应用技术与开发计划项目(GC13B502); 哈尔滨市科技创新优秀学科带头人项目(2013RFXXJ056)。

参考文献 (References)

- [1] Malcolm, E. and Sumner, R.N. (1988) Sodic soils-distribution, properties, management and environmental consequences. Oxford University Press, New York.
- [2] 李陪夫 (1999) 盐碱地的生物改良与抗盐植物的开发利用. *垦殖与稻作*, **3**, 38-40.
- [3] 谢晓蓉, 刘金荣, 金自学, 等 (2006) 黑河灌区盐碱化土地的修复与调控研究. *水土保持通报*, **2**, 107-110.
- [4] 魏霄, 马静 (2007) 宁夏银南灌区暗管排水工程运行效果监测评价. *宁夏农林科技*, **6**, 18-19.
- [5] 罗朋 (2008) 盐碱土中不同灌水方式的水盐运动规律试验研究. 硕士论文, 西北农林科技大学, 杨凌.
- [6] 卜玉山, 李伟, 周秋香, 等 (2013) 寒旱区地膜覆盖与施肥对土壤作物的效应分析. *中国农学通报*, **3**, 69-75.
- [7] 杨丽丽, 董肖杰, 郑伟 (2012) 土壤改良剂的研究利用现状. *河北林业科学*, **2**, 27-31.
- [8] 张永宏 (2005) 盐碱地种植耐盐植物的脱盐效果. *甘肃农业科技*, **3**, 48-49.
- [9] 任威, 罗廷彬, 王宝军, 等 (2004) 新疆生物改良盐碱地效益研究. *干旱地区农业研究*, **4**, 211-214.
- [10] 卢艳丽 (2004) 燕麦与不同作物混作抗盐碱生理特性研究. 内蒙古农业大学, 内蒙古.
- [11] Sadiq, M. (2007) Amelioration of saline-sodic with tillage implements and sulfuric acid application. *Pedosphere*, **17**, 182-190.
- [12] 王彬, 肖国举, 等 (2010) 燃煤烟气脱硫废弃物对盐碱土的改良效应及对向日葵生长的影响. *植物生态学报*, **10**, 1227-1235.
- [13] 魏耀锋, 苏德喜, 李辉, 等 (2013) 施用燃煤烟气脱硫废弃物改良盐碱土的效应研究. *安徽农学通报*, **1-2**, 70-72.
- [14] 王晓洋, 陈效民, 等 (2012) 不同改良剂与石膏配施对滨海盐渍土的改良效果研究. *水土保持通报*, **3**, 128-132.
- [15] 伍玉鹏, 吕丽媛, 等 (2013) 接种蚯蚓对盐碱土养分、土壤生物及植被的影响. *中国农业大学学报*, **4**, 45-51.
- [16] 申雪庆 (2013) 蚯蚓处理污泥对盐碱土壤关键生化指标的影响. 硕士论文, 东北农业大学, 哈尔滨.
- [17] 陈刚, 等 (2008) 星星草(*Puccinellia tenuiflora*)人工草地氮素积累对松嫩盐碱草地植被演替的影响. *生态学报*, **5**, 2031-2041.
- [18] 武春霞, 吴海燕, 朱文碧, 等 (2008) 盐生植物在不同盐碱土壤中的生理反应及耐盐性. *安徽农业科学*, **20**, 24-30.
- [19] 哈玲津, 马媛媛, 杨静慧 (2009) 四种野生植物对天津盐碱地土壤改良效果的研究. *北方园艺*, **4**, 83-87.
- [20] 张立宾, 徐化凌, 赵庚星 (2007) 碱蓬的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果. *土壤*, **2**, 310-313.
- [21] 刘玉新, 谢小丁 (2007) 耐盐植物对滨海盐渍土的生物改良试验研究. *山东农业大学学报(自然科学版)*, **2**, 183-188.
- [22] Ravindran, K.C., Venkatesan, K., Balakrishnan, V., et al (2007) Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology and Biochemistry*, **39**, 2661-2664.
- [23] Gilliham, M., Munns, R., Richard, A.J., et al. (2012) Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na⁺ transporter gene. *Nature Biotechnology*, **3**, 360-364.
- [24] 张瑛, 罗世武, 王秉龙 (2009) 紫花苜蓿改良盐碱地效果研究. *现代农业科技*, **20**, 4-8.
- [25] Akhter, J., Murray, R., Mahmood, K., et al. (2004) Improvement of degraded physical of a saline-sodic soil by reclamation with kallar grass (*Leptochloa fusca*). *Plant and Soil*, **258**, 207-216.
- [26] 高彦花, 张华新, 等 (2011) 耐盐碱植物对滨海盐碱地的改良效果. *东北林业大学学报*, **8**, 43-46.
- [27] 陈志强 (2010) 若干个树种苗期耐苏打盐碱土能力研究. 硕士论文, 北京林业大学, 北京.
- [28] 单长建 (2012) 抗逆转基因玉米苗期耐盐碱评价方法的初步建立及功能验证. 硕士论文, 东北农业大学, 哈尔滨.

滨.

- [29] Yan, L.P., Liu, C.L., Liang, H.M., et al. (2012) Physiological responses to salt stress of T2 alfalfa progenies carrying a transgene for betaine aldehyde dehydrogenase. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, **108**, 191-199.
- [30] 吕萍萍, 胡军, 沈昕, 等 (2007) 抗盐胡杨 Na⁺/H⁺逆向转运蛋白基因 PeNhaD1 的功能. *植物生理与分子生物学学报*, **2**, 173-178.
- [31] 黄萍, 张富春, 王瑜, 等 (2007) 跨膜离子转运蛋白与植物耐盐的分子生物学. *生物技术通报*, **2**, 1-5.
- [32] Eckardt, N.A. and Berkowitz, G.A. (2011) Functional analysis of Arabidopsis NHX anti-porters—The role of the vacuole in cellular turgor and growth. *The Plant Cell*, **23**, 3087-3088.
- [33] 张亮, 杨宇虹, 李倩, 等 (2013) 自生固氮菌活化土壤无机磷研究. *生态学报*, **7**, 2157-2164.
- [34] 于群英, 马忠友, 等 (2012) 磷细菌筛选及其对土壤无机磷转化的影响. *水土保持学报*, **5**, 103-107.
- [35] 谷付旗, 季秀玲, 魏云林 (2013) 土壤硅酸盐细菌的研究进展. *中国微生态学杂志*, **5**, 609-616.
- [36] 揣泽尧, 王冬梅 (2010) 菌根真菌增强植物抗盐碱胁迫能力的研究进展. *华北农学报*, **25**, 254-258.
- [37] Liu F J, Hu W Y, Li Q Y (2002) Phytosynthetic bacteria(PSB) as a water quality improvement mechanism in saline-alkali wetland ponds. *Journal of Environmental Science*, **14**, 339-344.
- [38] Beatriz Estrada ,Ricardo Aroca, et al (2013) Native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from a saline habitat improved maize antioxidant systems and plant tolerance to salinity. *Plant Science*, **201**, 42-51.
- [39] Ricardo Aroca, Juan Manuel Ruiz-Lozano, et al (2013) Arbuscular mycorrhizal symbiosis influences strigolactone production under salinity and alleviates salt stress in lettuce plants. *Journal of Plant Physiology*, **170**, 47-55.
- [40] 黄艺, 姜学艳, 梁振春, 等 (2004) 外生菌根真菌接种和施磷对油松幼苗抗盐性的影响. *生态环境*, **4**, 622-625.
- [41] 张广志, 周红姿, 杨合同, 等 (2008) 盐碱土壤中耐盐细菌的分离与鉴定. *山东农业科学*, **9**, 18-22.
- [42] Usha Chakraborty, Swarnendu Roy, Arka Pratim Chakraborty, et al (2011) Plant growth promotion and amelioration of salinity stress in crop plants by a salt-tolerant bacterium. *Recent Research in Science and Technology*, **3**, 61-70
- [43] 王建明, 罗晓燕, 贺江舟, 等 (2009) 塔里木盆地荒漠盐碱生境嗜盐碱细菌的初步研究. *微生物学杂志*, **1**, 22-26.
- [44] 宋家清, 郑秀社, 张庆国, 等 (2010) 活性微生物菌肥对滨海盐碱土改良的影响. *北方园艺*, **18**, 22-26.
- [45] Singh, H. and Reddy, M.S. (2011) Effect of inoculation with phosphate solubilizing fungus on growth and nutrient uptake of wheat and maize plants fertilized with rock phosphate in alkaline soils. *European Journal of Soil Biology*, **47**, 30-34.
- [46] 李兰晓, 王海鹰, 杨涛, 等 (2005) 土壤微生物菌肥在盐碱地造林中的作用. *西北林学院学报*, **4**, 60-63.
- [47] 王婧, 逢焕成, 等 (2012) 微生物菌肥对盐渍土壤微生物区系和食葵产量的影响. *农业环境科学学报*, **11**, 2186-2191.
- [48] 杨明, 孙毅, 等 (2013) 有机肥对苏打盐碱土的改良效果研究. *吉林农业科学*, **3**, 43-46,62.
- [49] Miyama, M. and Tada, Y. (2008) Transcriptional and physiological study of the response of Burma mangrove (*Bru-guiera gymnorhiza*) to salt and osmotic stress. *Plant Molecular Biology*, **68**, 119-129.