

路晓筠, 项卫东, 郑光耀, 等. 盐碱地改良措施研究进展[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 5-8.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.12.002

# 盐碱地改良措施研究进展

路晓筠<sup>1</sup>, 项卫东<sup>1</sup>, 郑光耀<sup>2</sup>, 王良梅<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏南京 210037; 2. 中国林科院林产化学工业研究所/江苏省生物质能源与材料重点实验室/国家林业局林产化学工程重点开放性实验室/生物质化学利用国家工程实验室, 江苏南京 210042)

**摘要:**盐碱地在全球范围内广泛分布, 在人口膨胀、耕地资源紧缺的条件下, 改良利用盐碱地意义重大。本文综述盐碱地成因、分布及目前各种治理措施如生物措施、化学措施、农业措施和水利措施等研究进展, 对未来盐碱地改良措施的优化提出展望。

**关键词:**盐碱地; 改良措施; 研究进展; 展望

**中图分类号:** S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)12-0005-04

随着世界人口扩张, 耕地资源紧缺, 盐碱土已成为重要的后备土地资源。合理改良和开发利用盐碱土资源, 减少土壤盐碱化导致的土壤生产力下降及对生态环境的破坏, 使其成为可利用的土地资源已受到广泛关注。我国盐碱土面积为 0.991 亿  $\text{hm}^2$ , 仅次于澳大利亚、前苏联, 为第三大盐碱地分布国家, 约占世界盐碱地资源的 10%<sup>[1]</sup>, 其中, 现代盐渍化土壤面积约为 0.369 亿  $\text{hm}^2$ , 残余盐渍化土壤约为 0.449 亿  $\text{hm}^2$ , 潜在盐渍化土壤为 0.173 亿  $\text{hm}^2$ <sup>[2]</sup>, 严重影响了农业生产的效率, 寻求有效的防治方法和改良措施对盐碱地的合理利用、

缓解耕地资源紧缺具有十分重要的意义。笔者在综述盐碱地成因、分布及现有盐碱地改良措施的基础上, 提出未来盐碱地改良的研究方向, 以期对盐碱地改良利用提供一定的参考。

## 1 土壤盐碱化的成因及分布

### 1.1 土壤盐碱化的成因

盐碱土是指盐土、碱土及各种盐化、碱化土壤的统称<sup>[3]</sup>。盐土是指含有大量可溶性盐类、使大多数植物不能正常生长的土壤, 其含盐量一般达 0.6%~1.0% 或者更高; 碱土是指代换性钠离子占阳离子代换量的比率 (ESP) 超过 20%、pH 值为 8 以上的土壤<sup>[4]</sup>。实际上盐土与碱土常混合存在, 所以习惯上称之为盐碱土。盐碱土的形成既有自然因素也有人为因素, 自然因素是盐碱土形成的内因, 如气候、母质、地形、新构造运动、水文活动和生物因素等<sup>[5-7]</sup>; 人为因素是盐碱土形成的外因, 特别是次生盐碱土的形成。

气候干旱和地下水位高是盐碱地形成的重要原因。由于人类开发和土地利用不当, 如不合理地灌溉导致地下水位上

收稿日期: 2015-04-08

基金项目: 江苏省科技支撑计划 (编号: BE2013357); 江苏省林业三新工程 (编号: LYSX[2014]10); 南京林业大学南方现代林业协同创新中心; 江苏省优势学科建设工程 (编号: PAPD)。

作者简介: 路晓筠 (1990—), 女, 硕士, 从事盐碱地改良研究。

E-mail: 641841873@qq.com.

通信作者: 王良梅, 博士, 副教授。Tel: (025) 85428629; E-mail: wangyinmei519@163.com.

[22] 李先德, 孙致陆. 法国农业合作社发展及其对中国的启示[J]. 农业经济与管理, 2014(1): 32-40.

[23] 中华人民共和国农业部. 全国生猪优势区域布局规划 (2008—2015) [EB/OL]. [2015-01-09]. [http://www.xmys.moa.gov.cn/sheji/201006/t20100606\\_1535132.htm](http://www.xmys.moa.gov.cn/sheji/201006/t20100606_1535132.htm).

[24] 李冉. 国外畜禽良种繁育发展及经验借鉴[J]. 世界农业, 2014(3): 30-33, 37.

[25] 中华人民共和国农业部畜牧业司. 农业部办公厅关于印发《全国生猪遗传改良计划 (2009—2020)》的通知 [EB/OL]. [2015-01-09]. [http://www.moa.gov.cn/zwllm/ghjh/200908/t20090806\\_1327041.htm](http://www.moa.gov.cn/zwllm/ghjh/200908/t20090806_1327041.htm).

[26] Key N, McHbride W D, Ribaud M. Changes in manure management in the Hog Sector, 1998—2004 [R]. USDA-ERS Economic Information Bulletin Number 50, 2009.

[27] 周俊玲. 发达国家养殖业污染的防治对策与启示[J]. 世界农业, 2006(8): 12-14.

[28] USDA/ERS. Historic and Recent Costs and Returns [R]. Washington: USDA, 2005.

[29] 李冉, 陈洁. 美国生猪养猪业现状、特点及发展经验[J]. 世界农业, 2013(5): 13-17, 26.

[30] 董银果, 徐恩波. 德国猪肉安全控制系统及对中国的启示[J]. 世界农业, 2005(5): 29-33.

[31] 季晨, 杨兴龙, 王凯. 澳大利亚猪肉产业链管理的经验及启示——基于质量安全的视角[J]. 世界农业, 2008(4): 55-58.

[32] 黄路生. 种猪选育技术的现状与趋势[J]. 中国猪业, 2012(4): 8-10.

[33] 农业部科技教育司. 中国农业产业技术发展报告 (2012 年度) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 209-219.

[34] 江苏省统计局. 2014 江苏统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014: 289-318.

[35] 江苏省农业网. 2013 年度全省畜牧工作检查考核情况的通报 (苏农办牧[2014]3 号) [EB/OL]. [2015-01-09]. <http://www.jsagri.gov.cn/exchange/living/index20.asp>.

[36] 刘铁铮. 建设江苏现代畜牧业的对策述求[J]. 畜牧与兽医, 2009, 41(1): 1-2.

升,再加上气候条件恶劣,造成土壤积盐、返盐。科夫达在论证地下水与土壤盐碱化的关系时指出,盐碱土形成过程中,地下水的运动和作用最重要,炎热干旱、蒸发强烈的气候如果地下水埋深在 10 m 以下,土壤水分的蒸发量不会超过降水总量,土壤不会发生盐碱化,如果地下水埋深为 1~3 m,则易遭受强烈蒸发,土壤积盐、返盐,导致土壤发生盐碱化<sup>[8]</sup>。特殊的地理位置也能导致盐碱地的形成,如滨海地区由于受土壤水分蒸发强烈、围湖产盐等原因,地下水位和土壤含盐量高,加之淡水资源缺乏,土壤自然脱盐率低,容易形成盐碱地<sup>[9]</sup>。此外,成土母质对盐碱地的形成也有重要影响,其含有丰富的基离子,经过长期积累,再加上气候、水文条件等影响,盐分不易洗脱,久而久之形成盐碱土。

1.2 中国盐碱土的分布

我国盐碱地分布范围十分广泛,从热带到寒温带、滨海到内陆、湿润地区到极端干旱的荒漠地区均有大量盐碱土的分布<sup>[10]</sup>,主要分布在东北平原,西北干旱、半干旱地区,黄淮海平原及东部沿海地区。内蒙、山西等西北、华北地区的干旱、半干旱地区形成内陆盐渍区,该区多为地势低平的盆地或干旱的平原地区,盐碱土类型多为硫酸盐碱土;辽东湾、渤海湾、莱州湾和江苏、浙江沿海等华北平原、东部沿海地区形成滨海盐碱区,盐碱土面积约为 211.4 万 hm<sup>2</sup>,占盐碱土总面积的 7.03%,该区土壤大部分为含氯盐碱土,盐分主要来自海相地层沉积、不合理的农业灌溉及地面沉降产生的局部海水倒灌等;松辽平原、三江平原等东北半湿润、半干旱区为苏打-碱化盐渍区,主要为碳酸盐土<sup>[11]</sup>。

1.3 世界盐碱土的分布

盐碱土在全世界范围内广泛分布,面积约为 9.55 亿 hm<sup>2</sup> (表 1)<sup>[1]</sup>,不同类型盐碱土覆盖的陆地面积约占陆地面积的 10%<sup>[12]</sup>,且每年以 100 万~150 万 hm<sup>2</sup> 的速度增长<sup>[13]</sup>,盐碱土壤不仅分布在干旱和半干旱地区,而且还分布于肥沃的河流流域、沿海地区、冲击平原和灌溉区域。因此,阻止土壤次生盐碱化,改良利用盐碱地刻不容缓。

表 1 全球各洲或地区盐碱土面积及比例

地区	面积(万 hm <sup>2</sup> )	比率(%)
北美洲	157.55	1.65
墨西哥和中北美洲	19.65	0.21
南美洲	1 291.63	13.53
非洲	805.38	8.43
南亚	876.08	9.17
东亚和中亚	2 116.86	22.17
东南亚	199.83	2.09
澳大利亚和周边地区	3 573.30	37.42
欧洲	508.04	5.32
合计	9 548.32	100.00

2 土壤盐碱化改良措施

2.1 生物措施

2.1.1 植物改良 在众多改良方法中,植物改良具有费用低、规模大、见效快、经济效益高的优点。利用植物的生命活动可以改善土壤结构、降低土壤容重、增加土壤孔隙度,有利于透水、透气,还可以增加土壤有机质和养分含量。有研究表明,土壤全氮、全钾、速效磷及有机质含量随耐盐植物种植年限的增

加而升高<sup>[13-14]</sup>。利用植物的蒸腾作用可以减少土壤的水分蒸发,变蒸发作用为蒸腾作用,降低地下水位,加速盐分的淋洗,降低土壤含盐量、pH 值及 ESP<sup>[15]</sup>,防止土壤积盐、返盐<sup>[16]</sup>。

利用耐盐植物改良盐碱土是植物改良的关键。耐盐植物可以在高渗透压的条件下生长,植物根系分泌的有机酸可以改善土壤的酸碱性、降低土壤 pH 值、改善土壤结构等;耐盐植物还可吸收土壤中的盐分,将盐分存储于液泡中,既避免自身受到毒害,又降低土壤的含盐量。另外,耐盐植物本身具有抵抗盐胁迫的能力,当处于盐害环境条件下,细胞可产生甜菜碱及过氧化物酶、过氧化氢酶、超氧化物歧化酶等各种抗氧化的酶类<sup>[17]</sup>。丁海荣等研究发现,种植星星草对滨海盐土改良效果显著,并从星星草的形态结构、生物学特性及耐盐生理特性等阐述星星草改良盐碱土的机理<sup>[18]</sup>。哈玲津等种植猪毛菜、草木樨、艾蒿和补血草 4 种野生植物于盐碱土壤中,结果表明,4 种野生植物对改良盐碱地土壤效果明显,其中,猪毛菜可以不同程度降低土壤中 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和有效磷含量,补血草对降低土壤 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和水溶性钙效果显著,草木樨和艾蒿可以明显增加土壤有效氮含量<sup>[19]</sup>。高彦花等在天津滨海地区营造白刺、杜梨和金银果 3 种林地,造林 4 年后土壤盐分含量均显著低于对照,土壤微生物数量增多,其中白刺和杜梨林地的土壤养分含量和微生物数量显著高于对照,改良效果明显<sup>[20]</sup>。根据赵可夫的调查可知,我国共有盐生植物 502 种,分属 71 科 208 属,其中耐盐植物最多的有藜科 106 种、菊科 72 种、禾本科 53 种和豆科 33 种,这 4 科种数总和约占我国盐生植物的 52.6%<sup>[21]</sup>。目前,已经用于改良盐碱土的耐盐植物有千金子 (*Leptochloa fusca*)、鼠尾粟 (*Sporobolus arabicus*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、三叶草 (*Trifolium alexandrinum*)、波斯车轴草 (*Trifolium resupinatum*)、羊草 (*Panicum antidotale*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、大黍 (*Panicum maximum*)、芒稷 (*Echinochloa colona*)、木麻黄 (*Casuarina obesa*)、肉桂 (*Cassia nemophila*)、金环相思树 (*Acacia saligna*)、银合欢 (*Leucaena leucocephala*)、无脉相思树 (*Acacia aneura*) 等。

盐碱地开荒种植作物经济效益不高,若不加管理很容易形成盐碱荒地。根据盐碱地的地理位置、气候条件等特征,选择种植不同类型的耐盐观赏植物,可组成 1 个稳定的植物群落,形成耐盐植物景观,不仅能够改良盐碱地,还能起到美化环境的作用。施朝阳等研究分析了崇明东滩涂湿地公园内的植物群落,提出今后滨海盐碱地公园的绿化对策<sup>[22]</sup>。

2.1.2 微生物改良 利用微生物改良盐碱化土壤是一种行之有效的措施。微生物种类繁多,遍布在土壤中各个角落。微生物活动常常影响土壤的各项指标,有机磷细菌、硅酸盐细菌及光合细菌都是盐碱土改良利用的重要功能菌<sup>[23-24]</sup>。微生物代谢产物为植物提供营养,促进植物的生命活动;植物的分泌物为微生物提供碳源,促进其新陈代谢<sup>[25]</sup>,将微生物接种到植物上,通过微生物与植物的相互作用,提高植物的耐盐性,进而对土壤起改良作用。王桂君等发现,丛枝菌根真菌在盐性环境中能够促进植物对矿质营养的吸收,从而提高植物的耐盐性,促进植物生长<sup>[26]</sup>;宋家清等对滨海地区盐碱土壤施用活性微生物菌肥,结果表明,施用菌肥可明显增加表土层铵态氮含量,硫酸盐含量明显降低,土壤酸碱度降至中性,而降低氯化盐含量则需较高的菌肥浓度<sup>[27]</sup>。

## 2.2 化学措施

化学措施改良盐碱地主要是通过向土壤中添加改良剂,调节土壤酸碱度,改变土壤溶液的反应,改善土壤营养状况及土壤胶体吸附性阳离子的组成,如用  $\text{Ca}^{2+}$  取代  $\text{Na}^+$ ,变亲水胶体为疏水胶体,促进团粒结构形成,进一步改善土壤结构,增加土壤通透性,加速土壤脱盐,防止积盐、返盐<sup>[28]</sup>,从而达到改良土壤的目的。目前研究较多的化学改良剂有石膏( $\text{CaSO}_4$ )、腐殖酸、聚丙烯酰胺、过磷酸钙、柠檬酸等,这些改良剂有的通过改良剂本身性质改善植物的生长状况,利用植物的生命活动起到改良土壤的作用,有的直接改善土壤的基本理化性质,如石膏能够溶解产生  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  具有增加植物抗逆性的功能,植物吸收土壤中的可溶性  $\text{Ca}^{2+}$  而使抗盐性增强;增施含钙肥料,可提高盐环境中植物的生存能力及抗病能力<sup>[29-30]</sup>。土壤中可溶性  $\text{Ca}^{2+}$  浓度增加,碳酸钙溶解度也增大,可以置换  $\text{Na}^+$  的  $\text{Ca}^{2+}$  浓度增大,较多的  $\text{Na}^+$  被置换出来,再加上灌溉,可达到洗盐的效果<sup>[31]</sup>。姜万礼等在甘肃引黄高扬程灌区新垦的盐碱荒地上种植油葵,并施用 8 种土壤改良剂,结果表明,8 种盐碱改良剂对油葵均有增产效果,其中丹路菌肥增产效果最好,丹路菌肥、丹路菌剂和腐殖酸改良剂对土壤全盐含量的影响较小,其余改良剂均使土壤盐分含量增加;磷石膏降低土壤 pH 值的作用显著,磷石膏和糠醛渣能够增加土壤中的  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  含量;施用糠醛渣和磷石膏的投入成本相对最低,纯收益和产投比较高<sup>[32]</sup>。赵宇侠等将生物黑炭施入连云港滨海盐碱土中发现,生物黑炭施入对中度盐化的滨海盐碱土改良作用明显<sup>[33]</sup>。

以往多采用单一改良剂进行土壤改良,会存在很多弊端,如仅加入无机改良剂,虽可对土壤中盐基离子起到置换作用,但易造成土壤的碱度过大,作物难以成活。联合施用有机、无机改良剂或者多种改良剂配合使用,可以起到较好的效果。王晓洋等采用腐殖酸与石膏配合施用种植油菜,作物产量提高、土壤盐分含量和 pH 值降低<sup>[34]</sup>;闫治斌等将聚乙烯二醇、糠醛渣、硫酸铝、硫磺、石膏按比例组合,配制成复合型改良剂施入土壤并种植玉米,结果表明,作物产量升高、土壤盐分含量下降、土壤孔隙度增大<sup>[35]</sup>;赵秋等用草炭、牛粪堆肥、腐殖酸钠、绿肥、蚯蚓粪和生物焦与无机物质制成 6 种不同有机、无机土壤改良剂,研究其不同灌水量条件对苜蓿产量及盐碱土的改良效果,结果表明,6 种处理均可提高苜蓿产量,降低土壤的 pH 值,调高土壤的渗透速度<sup>[36]</sup>。

## 2.3 农业措施

耕作施肥、种稻改良、覆盖地膜、增施有机肥等都是有效的改良盐碱土措施。牲畜粪便和枯枝落叶等有机物料堆沤腐熟后施入土壤,可以增加土壤的有机质含量,提高土壤肥力,降低土壤盐分含量,调节 pH 值,减轻盐害。在盐碱地上覆盖作物秸秆可减少土壤水分蒸发,对土表水分行起到阻隔作用,减少表土层的盐分积累,同时还可增加光的反射和热量传递,降低表土温度,从而降低蒸发失水,减少土壤返盐<sup>[37-38]</sup>。种植水稻并通过泡水,再加上一定的排灌措施,可以起到改良盐碱地的效果。曲璐等采用振动深松技术和生化制剂改良盐碱土,结果表明,采用振动深松技术能改善牧草生长的土壤环境,提高水分有效利用率;生化制剂的施用,减少高盐环境对牧草根系的毒害,提高土壤肥力,土壤中全氮、全磷和有机质

等含量明显增加,经治理 3~4 年,改良区变为优质草场<sup>[39]</sup>。

## 2.4 水利措施

2.4.1 传统的水利措施 我国大规模应用水利措施改良土壤是从解放后开始的,最初地上漫灌、以排为主;20 世纪 60 年代中期,在熊毅等的倡导下,推行机井群排灌,70 年代采用“抽咸换淡”的方法,80 年代末采用“强灌强排”的方法<sup>[40]</sup>。传统的盐碱地治理方法都是通过灌水来排除土壤中的盐分,降低地下水位至临界值以下,主要措施有:一是明沟排水,在地面挖排水沟来排水,这是最普遍的方式。二是暗管排水,排水管道埋在地下一定深度。三是竖井排水,在一定排水沟的基础上,设计配置机井群进行竖井排水<sup>[19]</sup>。闫少锋等通过竖井抽排水试验发现,在天然降水条件下,研究区域地下水位明显下降<sup>[41]</sup>。邵孝侯等对上海五四农场沿海滩涂垦区进行为期 2 年的田间试验,监测分析和研究暗管排水条件对土壤盐分动态及脱盐的效果,结果表明,暗管排水对降低 1 m 土体中的盐分效果明显,发展暗管排水对改良土壤盐渍化和防止土壤次生盐渍化具有重大的实践意义<sup>[42]</sup>。

2.4.2 现代盐碱水灌溉措施 我国淡水资源短缺,合理利用现代盐碱水灌溉势在必行。利用盐碱水灌溉的主要方式有:一是循环灌溉。在土表施用石膏,作物幼苗生长初期用淡水浇灌;幼苗建成再用盐碱水灌溉。二是混合灌溉。即海水和淡水按一定比例混合再进行灌溉,应根据作物的耐盐程度,进一步研究混合灌溉水的含盐标准及混合的最佳配比<sup>[43]</sup>,以免因灌溉不当而影响作物生长。这种方式在印度和美国已普遍实施,效果显著<sup>[44-45]</sup>。在灌溉水或浅层地下水矿化度不高且淡水缺乏的地区,混合灌溉意义重大。三是顺序灌溉。先用水质较好的水灌溉耐盐性低的作物,用收集到的含盐量较高的水再灌溉耐盐性高的作物<sup>[45]</sup>。逢焕成等通过微区定位试验,研究鲁西北低平原区微咸水灌溉对土壤盐分与作物产量的影响及麦秸覆盖对微咸水灌溉土壤盐分的调控作用,结果表明,麦季利用 3~5 g/L 矿化度的微咸水补充灌溉,1 m 土体总盐量达到周年平衡,2 年后未发生积盐现象,微咸水灌溉配合麦秸覆盖对作物年产量无显著影响,而不覆盖则导致减产<sup>[46]</sup>。乔玉辉等在田间条件下,利用 3.2 g/L 微咸水和淡水对河北省东南部盐渍化地区冬小麦进行灌溉试验,结果表明,利用微咸水灌溉对冬小麦生长有一定的影响,但对其经济产量影响不大<sup>[47]</sup>。利用盐碱水灌溉,合理利用地下浅层微咸水资源,不仅解决了我国淡水资源短缺的问题,还能够促进农业发展,对盐碱地改良起到积极作用,应进一步研究并推广。

## 3 展望

随着现代生产技术的发展,出现了水利改良、生物改良、农业改良、化学改良等多种盐碱地的改良方法,且各有优缺点。如化学措施见效快,但容易引入新的离子造成二次污染;农业措施仅能局部改良盐碱化土壤;生物措施环保性能好,但见效较慢。在实际实施过程中,应该因地制宜,选择最佳方案才能起到最佳效果。今后应尝试使用多种方法进行联合改良,如植物与微生物联合、化学改良剂与农业措施相结合、化学改良结合水利措施、植物改良结合化学改良剂等;明确土壤水盐的运移规律与改良机制之间的作用原理,为去除土壤盐分提供理论依据,以加快改良盐碱土的进程;微生物在盐碱土改良上

的作用不容忽视,应在微生物肥料、微生物改良盐碱土机制等方面加强探索。

## 参考文献:

- [1] 张建锋,张旭东,周金星,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究,2005,12(6):32-34,111.
- [2] 李 彬,王志春,孙志高,等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(2):154-158.
- [3] 石元春. 盐碱土改良——诊断、管理、改良[M]. 北京:农业出版社,1996.
- [4] Zhu J K. Plant salt tolerance[J]. Trends in Plant Science,2001,6(2):66-71.
- [5] Liu H,Xu J W,Wu X Q. Present situation and tendency of saline-alkalisoil in west Jilin Province[J]. Journal of Geographical Sciences,2001,11(3):321-328.
- [6] Bian J M,Tang J,Lin N F. Relationship between saline-alkali soil formation and neotectonic movement in Songen Plain, China[J]. Environ Geol,2008,55(7):1421-1429.
- [7] Fang H L,Liu G H,Kearney M. Georelational analysis of soil type, soil salt content, landform, and land use in the Yellow River Delta, China[J]. Environmental Management,2005,35(1):72-83.
- [8] 柯夫达. 盐渍土的发生演化[M]. 席承藩等,译. 北京:科学出版社,1957.
- [9] 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——天津开发区盐滩绿化20年回顾[J]. 中国园林,2009(9):7.
- [10] 俞仁培,陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报,1999,30(4):15-16,34.
- [11] 魏博娟. 中国盐碱土的分布与成因分析[J]. 水土保持应用技术,2012(6):27-28.
- [12] Surange S,Wollum A G,Kumar N,et al. Characterization of rhizobium from root nodules of leguminous trees growing in alkaline soils[J]. Canadian Journal of Microbiology,1997,43(9):891-894.
- [13] Parida A K,Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,2005,60(3):324-349.
- [14] 王 苗,齐树亭,葛美丽. 盐生植物对滨海盐渍土生物改良的研究进展[J]. 安徽农业科学,2008,36(7):2898-2899.
- [15] Akhter J,Mahmood K,Malik K A,et al. Amelioration of a saline sodic soil through cultivation of a salt-tolerant grass *Leptochloa fusca* [J]. Environmental Conservation,2003,30(2):168-174.
- [16] 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.
- [17] 杨松杰,张富春,刘世贵. 盐渍化土壤改良利用新方法——植物耐盐基因的遗传转化[J]. 世界林业研究,2006,19(1):14-19.
- [18] 丁海荣,洪立州,王茂文,等. 星星草耐盐生理机制及改良盐碱土壤研究进展[J]. 安徽农学通报,2007,13(16):58-59.
- [19] 哈玲津,马媛媛,杨静慧. 四种野生植物对天津盐碱地土壤改良效果的研究[J]. 北方园艺,2009(4):181-184.
- [20] 高彦花,张华新,杨秀艳,等. 耐盐碱植物对滨海盐碱地的改良效果[J]. 东北林业大学学报,2011,39(8):43-46.
- [21] 林栖凤. 耐盐植物研究[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [22] 施朝阳,蔡永立,赵小雷. 崇明东滩湿地公园园林植物群落结构研究[J]. 中国农学通报,2013,29(13):214-220.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Tilak K R,Ranganayaki N,Pal K K,et al. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria[J]. Current Science,2005,89(1):136-150.
- [26] 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:自然科学版,2004,23(4):64-68.
- [27] 宋家清,郑秀社,张庆国,等. 活性微生物菌肥对滨海盐碱土改良的影响[J]. 北方园艺,2010(18):53-55.
- [28] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,2004:318-324.
- [29] 王令钊. 对富含石膏的盐渍化土壤作物抗盐性的探讨[J]. 土壤肥料,1997(3):5-8.
- [30] Kostandi S F,Soiman M F. The role of calcium in mediating salt stress severity and salt tolerance in corn [J]. Journal of Phytopathology,1998,146(4):191-195.
- [31] 马利军. 盐碱土改良技术的探讨[J]. 理论研究,2012(3):20-21.
- [32] 姜万里,王成宝,霍 琳,等. 改良剂对甘肃引黄灌区新垦盐碱荒地的改良效果研究[J]. 甘肃农业科技,2012(12):17-21.
- [33] 赵宇侠,周 正,祝春水. 生物炭的施加对连云港滨海盐碱土的改良作用[J]. 淮海工学院学报:自然科学版,2013,22(4):51-54.
- [34] 王晓洋,陈效民,李孝良,等. 不同改良剂与石膏配施对滨海盐渍土的改良效果研究[J]. 水土保持通报,2012,32(3):128-132.
- [35] 闫治斌,秦嘉海,王爱勤,等. 盐碱土改良材料对草甸盐土理化性质与玉米生产效益的影响[J]. 水土保持通报,2011,31(2):122-127.
- [36] 赵 秋,高贤彪,宁晓光,等. 适用于滨海盐碱土改良剂的应用研究[J]. 西北农业学报,2014,23(3):107-111.
- [37] 王拴庄,徐树贞. 麦田秸秆覆盖的作用及其节水效应的初步研究[J]. 干旱地区农业研究,1989(2):7-15.
- [38] 李新举,张志国. 秸秆覆盖对盐渍土水分状况影响的模拟研究[J]. 土壤通报,1999,30(4):176-177.
- [39] 曲 璐,司振江,黄 彦,等. 振动深松技术与生化制剂在苏打盐碱土改良中的应用[J]. 农业工程学报,2008,24(5):95-99.
- [40] 刘阳春,何文寿,何进智,等. 盐碱地改良利用研究进展[J]. 农业科学研究,2007,28(2):68-71.
- [41] 闫少锋,吴玉柏,俞双恩,等. 江苏沿海地区竖井排盐试验研究[J]. 节水灌溉,2014(8):42-44.
- [42] 邵孝侯,刘才良,俞双恩. 暗管排水对滨海新垦区土壤盐分动态的影响及脱盐效果[J]. 河海大学学报,1995,23(2):88-93.
- [43] 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.
- [44] Minhas P S. Saline water management for irrigation in India[J]. Agric Water Manage,1996,30(1):1-24.
- [45] Oster J D,Grattan S R. Drainage water reuse[J]. Irrigation and Drainage Systems,2002,16(4):297-310.
- [46] 逢焕成,杨劲松,严惠峻. 微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(6):599-603.
- [47] 乔玉辉,宇振荣,张银锁,等. 微咸水灌溉对盐渍化地区冬小麦生长的影响和土壤环境效应[J]. 土壤肥料,1999(4):11-14.