

张翼夫,李问盈,胡红,等.盐碱地改良研究现状及展望[J].江苏农业科学,2017,45(18):7-10.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.18.002

盐碱地改良研究现状及展望

张翼夫,李问盈,胡红,陈婉芝,王宪良

(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要:随着我国人口的不断增长及在推进工业化和城市化进程中人均耕地面积的不断减少,盐碱地作为重要的土地资源之一,其改良与利用已经成为确保我国耕地“红线”不被突破、实现农业可持续发展的重要举措。本文综述了盐碱地的形成与分布以及各种改良措施如工程措施、农艺措施、生物措施和化学措施等的研究进展,探讨了现有改良措施存在的问题与不足,并对未来盐碱地改良措施的优化提出了展望。

关键词:可持续发展;盐碱地;研究进展;改良措施

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)18-0007-04

土壤盐碱化是世界旱作农区突出的生态环境问题^[1-3]。据统计,盐碱土资源遍及世界 100 多个国家,总面积达 10 亿 hm^2 ^[4]。土壤盐碱化的防治与盐碱土的开发利用已成为社会经济发展、推进可持续进程的重要研究内容^[5-6]。本文综述了盐碱地的形成与分布以及各种改良措施的研究进展,探讨了现有改良措施存在的问题与不足,并对未来盐碱地改良措施的优化提出了展望,以期对盐碱地改良与利用提供参考。

1 盐碱土的形成与分布

1.1 盐碱土的成因

作为盐土与碱土的统称,通常把可溶性盐类物质含量大于 2 g/kg ,且影响作物正常发育的土壤称为盐土^[7];碱土用碱化度来划分,是指代换性钠离子占可溶性阳离子的比例(用 ESP 表示,单位%)大于 20%,pH 值大于 8 的土壤^[8]。而通常盐土与碱土是混合存在的,所以统称为盐碱土。

盐碱土形成的实质是可溶性盐类在土壤中发生重新分布,盐分在土壤表层积累超过了正常值^[9]。影响土壤盐分积累的原因主要有自然因素和人为因素,其中自然因素是盐碱土形成的内因,包括气候、地形、水文活动和植被因素等;而人为因素是盐碱土形成的外因,特别是次生盐碱土的形成^[10-12]。目前,世界上次生盐碱化的土壤面积还在不断增大,主要原因有气候变暖,海平面不断上升、淡水资源的日益缺乏、环境污染的加剧、化肥不合理的施用和不合理的灌溉等^[13]。

1.2 盐碱土的分布

世界盐碱土壤分布广泛,不仅存在于荒漠、半荒漠地区,而且在肥沃的河流、沿海地区以及冲积平原、灌溉区域也有所分布,总面积约 9.53 亿 hm^2 (表 1),并且每年在以 100 万 ~

150 万 hm^2 的速度增加^[14-15]。

我国盐碱土资源总面积约 9 900 万 hm^2 ,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^[4,16]。其中,西北干旱区是我国最大的盐碱土分布区,总面积约 1 300 万 hm^2 ,主要包括青海、新疆、内蒙古西部和甘肃河西走廊地区;其次为滨海盐碱土区,面积约 800 万 hm^2 ,主要分布在黄海、渤海和东海的海岸沿线^[17]。

表 1 世界盐碱土分布情况

地区	面积 (万 hm^2)	比例 (%)
北美洲	1 575.5	1.65
墨西哥和中美洲	196.5	0.21
南美洲	12 916.3	13.53
非洲	8 053.8	8.43
南亚	8 760.8	9.18
亚洲中北部	21 168.6	22.17
东南亚	1 998.3	2.09
澳洲及周边	35 733.0	37.42
欧洲	5 080.4	5.32
合计	95 330.2	100.00

2 盐碱土改良研究现状

盐碱土改良的根本目的是改善土壤理化特性,为作物提供良好的生长发育环境,以实现作物的高产高效^[18]。近年来,随着地理信息系统(GIS)、遥感技术(RS)和全球定位系统(GPS)等技术的逐渐成熟与利用,已经能够实现土壤、作物发展演变数据的实时监控与测量,形成了盐碱地改良的高新监测技术体系,为盐碱地决策咨询服务体系的构建创造了条件^[19-21]。下面着重对近年来国内外在工程措施、农艺措施、生物措施和化学措施等盐碱化土壤改良利用理论与技术方面取得的进展进行综述。

2.1 工程改良措施

工程改良措施主要是通过建立完善的排灌系统,借助井、沟、渠等配套措施,钻灌水井、修筑台田、埋设暗管等,达到灌水适当、排水及时的效果。陶炳炎提出竖井排水可以降低地下水深度,淡化地下水表层,加速根层脱盐^[22]。闫少锋等通

收稿日期:2016-04-27

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201503136)。

作者简介:张翼夫(1990—),男,江苏扬州人,博士,主要从事保护性耕作研究。E-mail:972534402@qq.com。

通信作者:李问盈,教授,主要从事保护性耕作研究。E-mail:wwyyli@cau.edu.cn。

过竖井抽排水试验,探讨了天然降水条件下地下水位动态及土壤脱盐规律,试验结果表明,竖井排水的区域土壤盐分含量呈下降趋势,下降幅度为 52%,未设竖井排水的区域土壤表层出现返盐现象,土壤盐分含量上升 41%^[23]。

近年来,地下暗管排盐技术发展迅速。实践证明,暗管排水能够提高淋洗效果,对盐碱土壤返盐过程的抑制效果明显,特别是在低洼、沟排难度大、井排效果不明显的地区,暗管排水可将盐分淋溶至根系层以下,降低土壤盐分峰值^[24]。杨岳通过暗管排水研究发现,疏勒河流域盐碱地脱盐率、排盐量增加,土壤盐分含量下降,作物长势良好,产量增加^[25]。马凤娇等研究表明,在暗管埋设条件下,雨季降水量对大面积的轻度盐碱地淋洗脱盐效果非常显著^[26]。

2.2 农艺改良措施

农艺改良措施是建立在“盐随水来,盐随水去”的水盐运移规律基础上的,通过不同农艺耕作方式,抑制或减少土壤水分的蒸发,减轻盐分的表聚,淡化耕作层,进而达到改良的目的^[18]。同时农艺改良措施是盐碱土理化性状改良的基础,也是化学改良和生物改良的基础,它主要包括合理的耕作与栽培技术,通过翻耕、耙地、镇压、中耕等田间作业,创造良好的土壤表层结构,促进脱盐;通过合理灌溉、施肥和地表覆盖等措施,增加土壤墒情,抑制盐分表聚,调节土壤水肥气热状况,为作物高产创造良好的土壤环境。

2.2.1 耕作改良 耕作改良措施主要是重新排列土壤颗粒,改善土壤结构,逐步提升土壤质量,恢复地力,为盐碱土理化性质改良提供基础^[27]。高金方指出,翻耕是传统的耕作措施,通过翻耕把上下位置的土层进行调换,晒垡后可加速耕层土壤熟化,堵截毛管孔隙,抑制深层土壤盐分的上返^[28]。

深松是在不翻土的条件下通过机械耕作来松碎土壤,不打乱土层而打破犁底层的耕作方法,可熟化底土层,利于作物根系深扎^[29]。刘长江等通过田间示范试验,研究了不同深松深度对苏打盐碱化田的土壤理化性状及作物产量的影响,结果表明,通过深松,苏打盐碱土含盐量和 pH 值有所降低,土壤环境明显改善,同时深松能够促进作物的根系发育,提高产量^[30]。司振江等利用振动深松技术对黑龙江省大庆市苏打盐碱土及草原进行改良,结果表明,改良后 2~3 年,土壤理化指标趋于良性变化,以人工种植羊草的群落成为优质群落^[31]。

2.2.2 覆盖改良 覆盖改良是指利用农田产物覆盖农田表面,使农田环境有利于农作物生长的措施^[32]。目前盐碱土地表覆盖常采用农用地膜、作物秸秆、水泥硬壳等材料及铺沙压碱等措施。

赵兰坡等通过田间试验进行苏打盐碱土改良研究,研究表明采用地膜覆盖能够提高玉米的出苗率,促进玉米生长^[33]。乔海龙通过土柱模拟试验,研究了秸秆的不同覆盖方式对水分运移的影响,结果表明秸秆深层覆盖能够阻碍毛细管,降低土壤深层的水分蒸发,而表层秸秆覆盖会减少土壤表面与空气的接触,具有较好的保水效果^[34]。秸秆的深层覆盖与表层覆盖相结合,较其他覆盖方式保水效果好,而且对土壤盐分的表聚与返盐进程均有较好的抑制作用,由此促进了作物的生长发育。赵永敢等通过微区试验,研究了秸秆深埋、上盖秸秆下埋秸秆、上盖地膜下埋秸秆和地膜覆盖 4 种覆盖措

施对土层水盐运移的影响,结果表明上盖地膜下埋秸秆措施在内蒙古河套灌区盐碱土改良中效果最好^[35]。李伟强等通过大田试验,对水泥硬壳覆盖条件下土壤水分的变化规律进行研究,结果表明水泥硬壳覆盖能够减少土壤的冻结时间,对土壤水分的无效蒸发和融冻时期的土壤返盐有明显的抑制效果^[36]。

铺沙压碱通过改善土壤结构,提高土壤孔隙度与通透性来改变土层水分运移规律,已经成为一种重要的改良盐碱土措施。在降水过程中,土壤盐分淋溶至深层土层,由于土壤结构的改善,土壤保水效果得到提高,抑制了水分的蒸发和盐分向土表的运移,降低了土壤表层的盐化度,因而起到了压碱的作用^[37]。张长生等针对河套灌区的盐碱土改良,结合田间试验和室内分析,研究掺沙措施对耕层土壤结构和离子含量的影响,结果表明掺沙有利于大直径土壤微粒的形成,掺沙后 0~40 cm 耕层土壤的容重明显减小^[38]。

2.2.3 有机肥改良 施用有机肥是盐碱土改良的有效农艺措施之一,土壤中施用有机肥能够改善土壤物理性质,减少蒸发量,起到抑盐的作用,增加有机胶体、腐殖质含量,从而加强对盐分离子的吸附能力,降低盐碱土中土壤盐分的活性^[39]。目前常用于改良盐碱土的有机肥有沼气肥、糠醛渣、农家肥等。蔡阿兴等研究表明,施用生产沼气后的剩余物沼渣和沼液,有利于提高碱土养分含量,改善土壤物理性状和提高农作物产量^[40]。王志平发现,施用糠醛渣,土壤中有机质、K⁺ 和可溶性 Na⁺ 含量显著增加,CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 含量显著减少,说明糠醛渣有利于改良碱化土壤,促进盐害离子向下淋溶^[41]。有机肥数量大、来源广,畜禽粪便和枯枝落叶等有机物料,可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^[42]。Li 等研究得出,利用食料型玉米秸秆粉碎物可改善土壤 CO₂ 偏压、土壤空气,试验利用不同碱化度(ESP)水平的盐碱土施加不同量的玉米秸秆粉碎物,并育种 30~60 d,使得 CO₂ 偏压升高,土壤溶液的 pH 值降低,改良盐碱土效果较为明显^[43]。

2.3 生物改良措施

2.3.1 植物改良 生物改良是最具生态效益和经济效益的措施,切实可行,而耐盐植物的选择是盐碱地生物改良的前提,培育和种植耐盐植物对盐碱地的改良利用极为重要^[44-45]。Barrett-Lennard 研究发现,通过在盐碱土上种植滨藜属(*Atriplex amnicola*)等耐盐植物,可以恢复土地正常生产力^[46]。林学政等利用盐生植物盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)对滨海盐碱地进行生物修复,结果表明试验区碱蓬根际土壤的电导率较对照组下降 13%,有机质含量和总氮含量分别增加 43% 和 18%,同时根际土壤的微生物数量也明显增加^[47]。李海英等利用生物技术研究了苜蓿对柴达木盆地弃耕盐碱地的改良效果,试验结果表明,随着苜蓿种植年限的增加,土壤全盐量有所降低,耕作层(0~30 cm)全盐量由种植前的 1.518% 下降到 0.126%,脱盐率达 91.700%^[48]。

培育耐盐作物是盐碱地开发、利用的有效方式。虽然植物对盐胁迫的响应过程极为复杂,但这些调控都是建立在基因基础上的,借助现代科学技术手段,对耐盐细胞系的培育、渗透调节基因的转移和盐诱导基因的利用等方面的研究已经获得了显著的成果^[49-51]。早期分离出的耐盐基因有脯氨酸

激增(*overproduction*)基因、甘氨酸甜菜碱运输的结构基因、编码胆碱-甘氨酸甜菜碱合成的基因和调控海藻糖合成的基因^[52]。盐胁迫基因的主要功能是促进离子平衡,如通过质膜 Na^+/H^+ 的逆向运输排出 Na^+ ,液泡 Na^+/H^+ 的逆向运输使 Na^+ 在液泡内累积并隔离,且多数盐胁迫基因都能抑制损伤并进行自身修复^[53-54]。近年来,在高等植物中也相继分离出不少耐盐基因,有些已经成功转移到其他植物中^[55-57]。

2.3.2 微生物改良 微生物在盐碱土改良方面的应用主要是微生物促进植物耐盐碱性的研究。通过耐盐碱微生物作用改善植物根际环境,可减轻盐分对作物生长的抑制作用,从而改良盐碱地^[58-59]。在盐胁迫条件下,施用复合微生物菌剂能够促进玉米幼苗根系的生长,提高根系活力,表明施用复合微生物菌剂能够缓解盐碱土中的盐碱胁迫压力^[60]。逢焕成等采用盆栽试验方法,研究发现微生物菌剂对盐碱土理化性状及生物性状均有较好的改良效果^[61]。

2.4 化学改良措施

化学改良是利用酸碱中和原理来改良盐碱土理化性质的方法^[18]。化学改良的效果主要表现在2个方面:一是改善土壤结构,提高盐碱土排盐降渍的能力;二是增加盐基代换,调节土壤酸碱度^[62]。化学改良剂包括石膏、过磷酸钙、硫酸铝等。张丽辉等通过小区试验,发现磷石膏中的有效钙可将土壤胶体中的 Na^+ 代换出来,游离酸可中和土壤碱度,从而降低盐碱土pH值,提高土壤肥力,研究结果表明,磷石膏适用于小面积的盐碱土改良^[63]。添加硫酸铝可使强碱性苏打盐碱土土壤溶液的pH值明显下降,离子浓度明显增加,土壤的吸水量和吸水速度、毛管水上升高度和速度明显提高,土壤大颗粒团聚体数量明显增多,土壤容重变小,孔隙度增大^[33]。

近年来,利用高聚物改良剂改良盐碱地的研究已经引起广泛关注^[64-66]。曾觉廷等通过田间试验和盆栽试验,对比发现不同种类改良剂都能提高土壤中大团聚体总量,但聚丙烯酰胺(PAM)效果最好;盆栽条件下以PAM的影响最显著,田间试验以聚乙烯酸树脂(VAM)为佳^[67]。安东等采用大田试验与玉米室内模拟盆栽结合的研究思路,对比盐碱土在施用硫磺、石膏、有机肥、PAM等不同改良剂后土壤水分及相关性质的变化,综合而言PAM表现出了最佳效果^[68]。

3 展望

实践表明,不同的盐碱土改良措施效果有所不同,每种方法各有优缺点。工程措施工程量较大,投入高,加大了农业生产成本;农艺措施存在返盐的潜在危险;生物措施技术发展迅速,耐盐基因的分离已实现常规化,但是目前还未能实现规模化生产;高成本和潜在的环境污染问题限制了高分子化合物的推广应用,同时大多土壤改良剂在施用后需用大量水冲洗,在水资源缺乏的地区推广应用困难,且成本较高,效果不稳定。

综上所述,依靠单一的改良措施难以达到较好的改良目的,因此合理地开发和利用盐碱土资源应采用综合治理的改良措施,将工程措施、农艺措施、生物措施和化学措施有机结合起来,因地制宜,综合治理,实现盐碱土资源的系统改良和高效利用。另外,随着国内外盐碱土改良利用技术的快速发展和新材料、新方法的出现,为我国盐碱土资源的可持续发展

提供了机遇。今后,对于盐碱地改良的研究,应在长期监测治理的基础上,因地制宜地展开改良措施的调整与优化,加强区域次生盐碱化和潜在盐碱化的预报研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 牛东玲, 王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. 土壤通报, 2002, 33(6): 449-455.
- [3] 张博. 北方滨海盐土高效改良技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [4] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [5] 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.
- [6] 梁建财, 史海滨, 李瑞平, 等. 覆盖对盐渍土壤冻融特性与秋浇灌水质量的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(4): 98-105.
- [7] 石元春. 盐碱土改良——诊断、管理、改良[M]. 北京: 农业出版社, 1996.
- [8] Zhu J K. Plant salt tolerance[J]. Trends in Plant Science, 2001, 6(2): 66-71.
- [9] 殷小琳. 滨海盐碱地改良及造林技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [10] Liu H Q, Xu J W, Wu X Q. Present situation and tendency of saline-alkali soil in west Jilin Province[J]. Journal of Geographical Sciences, 2001, 11(3): 321-328.
- [11] Bian J M, Tang J, Lin N F. Relationship between saline-alkali soil formation and neotectonic movement in Songnen Plain, China[J]. Environmental Geology, 2008, 55(7): 1421-1429.
- [12] Fang H, Liu G, 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.
- [13] 肖克彪. 宁夏银北地区耐盐植物改良盐碱土机理及试验研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2013.
- [14] 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): 28-30.
- [15] Asish K P, Anath B D. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. [J]. Ecotoxicology & Environmental Safety, 2005, 60(3): 324-349.
- [16] 徐攸在. 盐渍土地基[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993: 1-10.
- [17] 温静. 天津滨海新区盐碱地景观生态化设计研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2008.
- [18] 逢焕成, 李玉义. 西北沿黄灌区盐碱地改良与利用[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [19] 高志海. 基于RS和GIS的绿洲植被与荒漠化动态研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
- [20] 杨光. 基于3S的盐池县景观格局及荒漠化动态研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [21] 杨奇勇, 杨劲松, 姚荣江, 等. 基于GIS和改进灰色关联模型的土壤肥力评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 100-105.
- [22] 陶炳炎. 国外利用竖井排水改良盐碱地的经验[J]. 水利水电技术, 1963(1): 40-42.
- [23] 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.

- [24] 孙建书, 余 美. 不同灌排模式下土壤盐分动态模拟与评价[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(4): 157–163.
- [25] 杨 岳. 疏勒河流域盐碱地改良暗管排水与效果分析[J]. 发展, 2001(增刊1): 145–146.
- [26] 马凤娇, 谭莉梅, 刘慧涛, 等. 河北滨海盐碱区暗管改碱技术的降雨有效性评价[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 409–414.
- [27] 徐 璐, 王志春, 赵长巍, 等. 东北地区盐碱土及耕作改良研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(27): 23–31.
- [28] 高金方. 松辽(嫩)平原苏打盐土的发生与改良[J]. 土壤通报, 1987(3): 100–102.
- [29] 朱凤武, 王景利, 潘世强, 等. 土壤深松技术研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(4): 457–461.
- [30] 刘长江, 李取生, 李秀军. 深松对苏打盐碱化旱田改良与利用的影响[J]. 土壤, 2007, 39(2): 306–309.
- [31] 司振江, 张忠学, 黄 彦. 大庆市盐碱土深松改良生态修复试验研究[J]. 土壤通报, 2010(4): 952–956.
- [32] 乔海龙, 刘小京, 李伟强, 等. 秸秆深层覆盖对土壤水盐运移及小麦生长的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 885–889.
- [33] 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1): 91–96.
- [34] 乔海龙. 秸秆深层覆盖对土壤水盐运移及小麦生长的影响[D]. 石家庄: 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 2006.
- [35] 赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 等. 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5153–5161.
- [36] 李伟强, 雷玉平, 张秀梅, 等. 硬壳覆盖条件下土壤冻融期水盐运动规律研究[J]. 冰川冻土, 2001, 23(3): 251–257.
- [37] 杨立国. 盐碱地物理改良方法[J]. 黑龙江科技信息, 2007(1): 119.
- [38] 张长生, 融晓萍, 杨满红, 等. 掺沙对盐碱地耕层土壤结构和离子含量的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2014(6): 1–4.
- [39] 张 锐, 严慧峻, 魏由庆, 等. 有机肥在改良盐渍土中的作用[J]. 中国土壤与肥料, 1997(4): 11–14.
- [40] 蔡阿兴, 蒋其鳌, 常运诚, 等. 沼气肥改良碱土及其增产效果研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(1): 4–6.
- [41] 王志平. 重度盐碱地的糖蜜渣改良与植物修复初步研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2005.
- [42] 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.
- [43] Li H F, Keren R. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: a laboratory study[J]. Pedosphere, 2009, 19(4): 465–475.
- [44] 王志春, 梁正伟. 植物耐盐研究概况与展望[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 106–109.
- [45] 王春娜, 宫伟光. 盐碱地改良的研究进展[J]. 防护林科技, 2004(5): 38–41.
- [46] Barrett–Lennard E G. Restoration of saline land through revegetation[J]. Agricultural Water Management, 2002, 53(1): 213–226.
- [47] 林学政, 沈继红, 刘克斋, 等. 种植盐地碱蓬修复滨海盐渍土效果的研究[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(1): 65–69.
- [48] 李海英, 彭红春, 牛东玲, 等. 生物措施对柴达木盆地弃耕盐碱地效应分析[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 63–68.
- [49] 郭 蓓, 邱丽娟, 李向华. 植物盐诱导基因的研究进展[J]. 农业生物技术学报, 1999(4): 401–408.
- [50] 平淑珍, 林 敏. 耐盐联合固氮菌在盐渍化土壤改良中的应用[J]. 高技术通讯, 1999, 9(1): 60–62.
- [51] 刘友良, 毛才良, 汪良驹. 植物耐盐性研究进展[J]. 山西农业科学, 2010, 38(5): 87–90.
- [52] Rudulier D L. Elucidation of the role of osmoprotective compounds and osmoregulatory genes; the key role of bacteria[M]//Towards the rational use of high salinity tolerant plants. Berlin: Springer Netherlands, 1993: 313–322.
- [53] Shi H, Ishitani M, Kim C, et al. The Arabidopsis thaliana salt tolerance gene SOS1 encodes a putative Na^+/H^+ antiporter[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2000, 97(12): 6896–6901.
- [54] Lippuner V, Cyert M S, Gasser C S. Two classes of plant cDNA clones differentially complement yeast calcineurin mutants and increase salt tolerance of wild–type yeast. [J]. Journal of Biological Chemistry, 1996, 271(22): 12859–12866.
- [55] Flowers T J, Yeo A R. Breeding for salinity resistance in crop plants; where next? [J]. Functional Plant Biology, 1995, 22(6): 875–884.
- [56] Abe H, Yamaguchishinozaki K, Urao T, et al. Role of Arabidopsis MYC and MYB homologs in drought– and abscisic acid–regulated gene expression. [J]. Plant Cell, 1997, 9(10): 1859–68.
- [57] Winicov I. Alfin1 transcription factor overexpression enhances plant root growth under normal and saline conditions and improves salt tolerance in alfalfa[J]. Planta, 2000, 210(3): 416–422.
- [58] 平淑珍, 林 敏. 耐盐联合固氮菌在盐渍化土壤改良中的应用[J]. 高技术通讯, 1999(9): 60–62.
- [59] 严建民, 林 敏, 翟虎渠, 等. 联合固氮工程菌诱导水稻耐盐性效应研究[J]. 核农学报, 2000, 14(4): 246–250.
- [60] 宋燕飞, 金忠华, 孙丹丹. 盐碱胁迫下复合微生物菌剂对玉米根系性状的影响[J]. 杂粮作物, 2008, 28(3): 160–162.
- [61] 逢焕成, 李玉义, 严慧峻, 等. 微生物菌剂对盐碱土理化和生物性状影响的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(5): 951–955.
- [62] 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.
- [63] 张丽辉, 孔 东, 张艺强. 磷石膏在碱性土壤改良中的应用及效果[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2001, 22(2): 97–100.
- [64] 张学佳, 王宝辉, 纪 巍, 等. 聚丙烯酰胺在盐碱土壤中的吸附与迁移[J]. 化工环保, 2008, 28(6): 500–504.
- [65] 安 东. 不同土壤改良剂对银川平原北部盐碱土水分性质和土壤结构的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [66] 张学佳, 王宝辉, 纪 巍, 等. 三元复合驱中聚丙烯酰胺在土壤中的迁移研究[J]. 北京联合大学学报(自然科学版), 2012, 26(2): 44–50.
- [67] 曾尧廷, 陈 萌. 三种土壤改良剂对紫色土结构孔隙状况影响的研究[J]. 土壤通报, 1993(6): 250–252.
- [68] 安 东, 李新平, 张永宏, 等. 不同土壤改良剂对碱积盐成土改良效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 115–118.