

我国盐碱地绿化研究进展与展望*

朱建峰^{1,2} 崔振荣³ 吴春红⁴ 邓丞^{1,2} 陈军华^{1,2} 张华新^{1,2}

(1 国家林业局盐碱地研究中心,北京 100091;2 中国林业科学研究院天津林业科学研究所,天津 300457;
3 巴彦淖尔市林业局,内蒙古临河 015000;4 东营市林业局,山东东营 257091)

摘要:我国盐碱地总面积达9 913万hm²,约占全国土地面积的1/10,面积大、分布广、类型复杂、生态系统脆弱、环境承载力差,既是我国经济社会生态可持续发展的主要障碍因子,也是重要的后备土地资源。盐碱地绿化可有效改善土壤理化性质、增加生物多样性、提高生态系统稳定性、增强环境承载能力,为盐碱地的进一步开发利用奠定基础,是一项重要的生态和民生工程,事关国家生态安全和经济社会可持续发展。文中对我国盐碱地面积、分布、类型及危害,盐碱地绿化障碍因素,当前盐碱地绿化相关技术等系统进行总结,提出了推进我国盐碱地绿化工作的建议,旨在为我国盐碱地治理与开发利用提供有益参考。

关键词:盐碱地,绿化技术,土壤改良,耐盐碱植物选育,中国

中图分类号:S732

文献标识码:A

文章编号:1001-4241(2018)04-0070-06

DOI:10.13348/j.cnki.sjlyyj.2018.0034.y

Research Advances and Prospect of Saline and Alkali Land Greening in China

Zhu Jianfeng^{1,2} Cui Zhenrong³ Wu Chunhong⁴
Deng Cheng^{1,2} Chen Junhua^{1,2} Zhang Huaxin^{1,2}

(1 Research Center of Saline and Alkali Land of State Forestry Administration, Beijing 100091, China;
2 Tianjin Institute of Forestry Science, Chinese Academy of Forestry, Tianjin 300457, China;
3 Bayannor Forestry Bureau, Linhe 015000, Inner Mongolia, China;
4 Dongying Municipal Forestry Bureau, Dongying 257091, Shandong, China)

Abstract: The total area of saline and alkali land in China is about 99.13 million ha, which is nearly 1/10 of the total land area. The saline and alkali land, widely distributed with large area, complex categories, fragile ecosystem and poor environmental bearing capacity, is not only the main obstacle factor of sustainable economic, social, and ecology development in China, but also an important land resource in reserve. The greening of saline and alkali land can effectively improve physical and chemical characteristics of soil, increase the biodiversity, improve the stability of ecosystem and strengthen the environmental bearing capacity. Therefore it can lay the foundation for further exploitation and utilization of the saline and alkali land, and bears on national ecological security and sustainable economic and social development as an important ecological and livelihood project. This paper made a systematical review of the area, distribution, type and harm of saline and alkali land in China as well as the obstacle factors and related greening technologies, and came up with the suggestions for the promotion of saline and alkali land greening,

* 收稿日期:2017-12-12;修回日期:2018-05-16。

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0501303);天津市农业科技成果转化与推广项目(201601010);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2017ZA001-9)。

作者简介:朱建峰(1983-),博士,助理研究员,主要从事耐盐碱植物遗传改良与盐碱地生物治理等方面的研究,E-mail: jianfengzhu666@163.com。

通信作者:张华新(1962-),博士,研究员,博士生导师,主要从事耐盐碱植物选育与盐碱地生物治理等方面的研究,E-mail: zhanghx1998@126.com。

development and utilization, which was aimed at offering a useful guidance to the treatment and exploitation of saline and alkali land in China.

Key words: saline and alkali land, greening technology, soil amelioration, saline and alkali tolerant plant breeding, China

盐碱地是土壤盐碱化的一种土地类型,当土壤表层或亚表层中(厚度一般为20~30 cm左右)水溶性盐类超过0.1% (或在富含石膏的情况下超过0.2%),或土壤碱化层的碱化度超过5%,就属于盐碱化土壤^[1]。盐碱土的成因包括自然因素和人为因素,多发生在气候干旱、地下水位高、地势低洼没有排水出口的区域,随着水分蒸发,地下水中的盐分集聚到地表,形成盐碱土^[1-2]。盐碱地土壤含盐量高、碱度大、物理结构差、养分缺乏,影响植物正常生长,甚至造成植株死亡,严重影响农林业生产和土地绿化^[3-4]。世界5大洲及其主要岛屿都有盐碱地分布,面积约为9.543 8亿 hm^2 ,约占全球陆地总面积7%^[1,5];集中分布在非洲、亚洲、大洋洲和南美洲等地,盐碱地面积较大的国家和地区有澳大利亚、哈萨克斯坦、中国、伊朗、阿根廷等^[6]。

我国盐碱地总面积达9 913万 hm^2 ,约占全国土地面积的10%,分布在23个省、市、自治区^[1],已成为我国经济、社会和生态可持续发展的主要障碍因子,也是重要的后备土地资源。盐碱地绿化可以提高生态系统稳定性,增强环境承载能力^[7];可以美化环境,有效调节小气候^[8-9];盐碱地绿化植物多数具有重要经济价值,在绿化的同时可为经济发展储备生产资料^[10]。因此,盐碱地绿化是一项重要的生态和民生工程,事关国家生态安全和经济、社会可持续发展。

为此,本文拟介绍我国盐碱地概况及危害,综述当前盐碱地绿化相关技术,提出推进盐碱地绿化工作的建议,并进行展望,以期为进一步开展盐碱地治理与开发利用工作提供参考。

1 我国盐碱地概况及绿化的重要意义

内陆盐碱地约占我国盐碱地总面积的90%以上^[11],主要有3个集中分布区:1)干旱、半干旱区以硫酸盐或氯化物-硫酸盐为主的盐碱土集中分布区,位于陕西、甘肃、青海、内蒙古、宁夏、新疆、西藏等我国西北部各省(区);2)半干旱、半湿润区苏打盐碱土集中分布区,位于黑龙江、吉林、辽宁3省,以及内蒙古东北部与东三省相邻地区;3)黄淮海半干旱、半湿

润斑状氯化物-硫酸盐或硫酸盐-氯化物盐碱土集中分布区,位于黄淮海平原和汾渭河谷平原^[1-2]。滨海盐碱地约占我国盐碱地总面积的8.5%^[11],主要为半湿润、湿润氯化物滨海盐碱土或硫酸盐性滨海盐碱土集中分布区,位于我国东部和南部沿海地区^[1-2]。

内陆盐碱地多分布在经济欠发达区,严重制约了当地的生态建设、农业生产和土地开发利用。滨海盐碱地多为经济发达区和工商业的主要集聚地,也是各种污染物的集中排放区,土地稀缺性极为明显。滨海盐碱地的改良利用和生态环境的绿化美化已成为我国沿海城市化进程中的一项异常艰巨的重要难题^[10]。随着人口增加、城市化进程加快、耕地质量退化、资源趋紧等多重压力的不断攀升,对土地资源的需求愈加迫切^[10]。我国盐碱地面积广大、分布广泛^[1],其资源和生态地位日益受到关注,改良利用好这些盐碱地,对补充我国耕地资源以及保障国家粮食和生态安全具有重要意义。

盐碱地绿化可以有效改善土壤理化性质、增加生物多样性、提高生态系统稳定性^[7]、增强环境承载能力,为盐碱地的进一步开发和利用奠定基础;可以丰富植被类型、提升景观效果、净化空气、调节小气候等^[8-9],改善盐碱地区的居住和投资环境。很多绿化植物具有重要经济价值^[10],在绿化的同时为经济储备了生产资料。因此,盐碱地绿化具有重要的生态、经济和社会意义。

2 盐碱地绿化的障碍因素分析

盐碱地绿化的障碍因素主要有化学障碍、物理障碍和养分限制3个方面。首先,盐碱地土壤含盐量高、碱度大,高盐渗透胁迫导致植物水分损失、 Na^+ 等有毒离子的积累致使植物细胞中毒,高pH值影响植物养分吸收和正常生长;其次,盐碱地土壤通气性差、结构粘滞、容重大、毛细作用强,影响植物出苗、根系生长和养分吸收;最后,盐碱地土壤自身养分含量少,且高pH值和恶劣的物理结构限制了植物对养分的

吸收^[3-4]。其中,内陆盐碱地面积大、类型复杂、盐碱化程度高,有灌溉条件的地区,耕作灌溉不当,引水量大,排水困难,地下水位高,盐碱地治理过程中的反复性强,土地次生盐碱化严重;无灌溉条件的地区,多气候干旱,淡水资源短缺,绿化植物难以成活。滨海盐碱地紧邻海域,地下水位高且排泄不畅,加上海水型地下水和海潮的共同影响,土壤含盐量高^[12],水—盐交互频繁,季节性返盐严重,次生盐碱化频发,且常年受海陆风、风暴潮和盐尘等的影响,立地条件差,绿化植物成活率低^[13]。因此,盐碱地绿化已成为当前我国生态环境建设和农业可持续发展进程中的重要难题。

3 盐碱地绿化技术研究进展

当前,我国盐碱地绿化技术主要包括盐碱地土壤改良、耐盐碱植物选育、植被体系构建、绿化后期管护和绿化后生态效益综合评价等。下面对盐碱地绿化主要相关技术进行分类总结。

3.1 盐碱地绿化土壤改良技术

盐碱地土壤中可溶性盐类含量高,严重影响植物的正常生长,甚至导致植物死亡。因此,在盐碱地绿化前,首先要对土壤进行改良,尽可能降低土壤中可溶性盐含量和 pH 值。盐碱地土壤改良技术主要有物理改良、化学改良、生物改良等。在开展土壤改良工作前要对盐碱地土壤和浇灌水进行检测,检测结果是确定土壤改良措施的重要依据^[14]。

3.1.1 物理改良

盐碱地土壤物理改良可分为传统改良技术和现代改良技术。传统物理改良技术主要是平整地面、造坡排水、灌水洗盐,深耕晒垡、及时松土、透水保墒、抑制返盐,封底换土、客土抬高,微区改土、大穴整地^[3,5]。河套平原区盐碱地采用起垄、开沟、压秸秆、翻晒等整地措施,均可使土壤全盐量和 pH 值明显降低,其中起垄效果最好,全盐量下降率为 15.4%, pH 值下降率为 52.6%^[15]。现代物理改良技术主要是铺设暗管和淋水层排盐及铺沙和覆盖等,通过调控土壤水盐运动和物理结构,从而抑制地表蒸发,增强淋水洗盐^[16-18]。青岛唐岛湾应用盲管排盐等技术措施,使根系活动层土壤含盐量由 1.87%~2.05% 降至 0.089% 以下, pH 值由 8.5 降至 7.4 左右^[19]。在淡水短缺、排水不畅的区域采用地面覆盖的方法,可以

有效抑制地表蒸发、保墒和防止返盐^[20-21]。对沧州滨海盐碱地区研究表明,在长时间干旱少雨情况下,地膜覆盖效果较好,比对照电导率小 148 mS/m,可有效防止返盐^[22]。

3.1.2 化学改良

化学改良方法是指向土壤中添加化学改良剂,从而降低土壤盐度(或降低土壤中有毒盐离子的有效性)和碱度,改善土壤理化性质,使其适宜绿化植物的生长^[23-24]。化学改良剂一般可分为钙质改良剂、降碱改良剂(酸性物质)、矿物资源改良剂和有机改良剂等不同类型。钙质改良剂包括脱硫石膏、磷石膏、亚硫酸钙等。研究表明,脱硫石膏改良盐碱地在土壤盐含量、碱化度、土壤结构、微生物活性、促进植物成活和生长等方面均具有显著效果^[25]。在河套平原区盐碱地施加脱硫石膏,可使土壤全盐量下降率达 15.4%, pH 值下降率达 60.5%^[15]。降碱改良剂(酸性物质)包括硫磺、硫酸亚铁、硫酸铝等,可置换土壤中的交换性钠离子,中和碳酸和碳酸氢根离子,降低土壤 pH 值,释放钙和镁等离子^[23]。有机改良剂包括泥炭、糠醛渣、醋渣、高分子化合物等,可增加土壤养分,同时改善土壤结构,从而降低土壤盐含量,促进植物成活生长^[26]。矿物资源改良剂包括风化褐煤、膨润土和沸石等。化学改良剂的成本一般较高,且可能造成二次污染。因此,开发新的环保低成本化学改良剂和废弃物高效利用将是未来的重点研究方向。

3.1.3 生物改良

生物改良是指利用生物的生命活动改良盐碱土壤的一种方法,是最具生态和经济效益的一种技术措施^[26-28]。生物改良一般包括种植稀盐盐生植物、种植耐盐绿肥和牧草、施加土壤有益微生物等措施。稀盐盐生植物可从土壤中吸收大量可溶性盐,并储存在肉质化的茎叶组织中,在其生长过程中进行刈割,割掉的枝叶可做饲料、烧柴等,多次刈割,可降低土壤中的盐含量^[23,29]。例如,在吉林省西部重度盐碱地上用西伯利亚白刺造林,3 a 造林保存率可达 75% 以上,土壤 pH 值和含盐量平均分别下降了 7.2% 和 20.0%^[30]。种植苜蓿、田菁、草木樨等绿肥和牧草,可增强土壤肥力,改善土壤理化性质,对盐碱土改良有积极作用。例如,盐碱苗圃地连续种植耐盐绿肥并翻压还田 3 a 后,在 0—40 cm 土层盐分含量降低了 37% 以上,土壤全氮、速效磷、速效钾含量提高,真菌、细菌、放线菌数量增加,土壤疏松,结构良好,利于苗

木生长^[31]。在土壤有益微生物生命活动过程中,可产生大量有机酸,促使土壤养分含量和土壤微环境发生变化,改善盐碱化土壤的理化性质,增加土壤肥力,对改良盐碱化土壤起到积极的作用^[32]。例如,在大庆苏打盐碱地,通过施用微生物菌肥,小黑杨、金丝垂柳和紫丁香成活率可达95.0%、97.1%和98.0%,显著高于对照^[33]。

3.2 耐盐碱植物选育与盐碱地植被体系构建

系统开展植物耐盐碱性鉴定和评价工作,筛选和培育优良耐盐碱植物新品种、新材料,优化盐碱地绿化植被体系,是盐碱地绿化最经济有效、生态环保的措施。

3.2.1 植物耐盐碱性鉴定及评价

植物耐盐碱性是指植物在盐碱胁迫下其生长发育对盐碱毒害的反应能力^[34]。对植物耐盐碱性进行评价,是植物耐盐碱育种和资源创新的前期基础性工作。例如,通过研究盐胁迫下卫矛、沙枣和美国白蜡3个树种的生长和生理响应,确定株高相对生长量、膜透性、脯氨酸、根茎叶中的 Na^+ 和 K^+ 含量是植物耐盐性评价的重要相关指标,经综合评价3个树种的耐盐能力大小为卫矛>沙枣>美国白蜡^[35]。通过测定盐碱胁迫下的4种野生宿根地被植物生理指标,对其耐盐性进行评价,结果表明,4种地被植物均能耐受的盐碱度为pH值=8.5,耐盐碱性大小为碱菀>棉团铁线莲>石竹>野鸢尾^[36]。

3.2.2 耐盐碱植物选育

培育和种植耐盐碱植物品种,充分挖掘植物自身的耐盐碱潜力,提高植物品种耐盐性和成活率,是盐碱地绿化最经济有效的措施^[34]。耐盐碱植物常规育种方法主要包括从本地适生植物或环境气候类似地区选育或引种耐盐碱性强、性状优良的品种等。例如,在中华怪柳的优良变异单株中选育得到的良种“海怪1号”,景观效果优良,可在含盐量为1.5%的土壤中正常生长,在含盐量为3.0%的土壤中仍可成活,是滨海重盐碱地造林绿化的优良品种^[37]。利用基因工程将耐盐基因转入植物体,进而提高植物耐盐性,为耐盐碱植物育种提供了新的途径^[38-39]。例如,在0.3%以上NaCl浓度胁迫下,转基因*TaNHX2*中林美荷杨株系叶绿素含量显著高于对照,丙二醛含量显著低于对照,表明*TaNHX2*基因提高了中林美荷杨的耐盐性^[40]。但迄今,依靠单个或少量基因的转入还未能很大程度上提高植物的耐盐性,尚有待于进一

步研究。

3.2.3 盐碱地植被体系构建

应用生态学与美学原理指导盐碱地植被构建,使其符合自然法则、美学原则和社会经济技术原则等,能改善盐碱土壤理化性质,使其适宜植物生长^[17,41]。例如,施朝阳^[42]通过对上海市崇明东滩湿地公园内植被进行研究提出,在滨海盐碱地绿化中对常绿与落叶树种、速生与慢生树种、浅根性与深根性树种、乔木与灌木树种、不同花期的树种等应进行行间或带状混合配置;多应用色叶期较长的彩叶耐盐碱树种;在各混合、混交类型中豆科植物的比例宜大,可充分发挥其对其他植物的生长促进作用,又不影响其自身生长。通过上述措施可构建多样化的复层群落,提高单位面积绿地的生物多样性,丰富盐碱地景观。赵小雷等^[41]通过对崇明东滩湿地公园20个植物群落进行评价,筛选出3个适宜该地区的群落结构,为今后该地区盐碱地绿化树种选择和配置提供了参考。

3.3 盐碱地绿化后期管护

在盐碱地绿化完成后,尽快形成乔、灌、草多层次和多林相的生态绿化结构,是后期养护管理的根本目的。乔、灌、草多层次和多林相的生态绿化结构一旦形成,可有效降低地表蒸发,抑制返盐,改善土壤理化性质,提高土壤肥力,形成良性生态循环,从而有效改善周边的生态环境^[43]。绿化后期管护技术主要包括:1)栽植时施足有机肥,后期追肥以速效型肥料为主;2)浇水应浇透水,在返盐较重的地区更应加大浇水量;3)浇水或雨后及时松土保墒,防止返盐;4)地面覆盖,以种植地被植物为主,例如田菁、紫花苜蓿等;5)病虫害防治,植物受盐碱逆境影响,容易发生病虫害,应提前进行防治;6)修剪过密枝,剪除枯枝、病虫枝,定期检查修复支撑,稳固树体,促进成林^[43]。

3.4 盐碱地绿化后生态效益综合评价技术

近年来,盐碱地绿化技术已应用在我国滨海和内陆盐碱地综合治理开发中,研究盐碱地绿化后生态效益评价指标体系、建立评价模型,综合评价盐碱地改良生态效益,对于盐碱地绿化技术的推广应用和改进具有重要意义。例如,采用主成分分析法对黄河三角洲盐碱地人工林土壤改良效应进行评价,结果表明,各种人工林对盐碱土都有改良效果,改良效果大小顺序为白蜡>杜梨>桤柳>盐柳,为黄河三角洲盐碱地造林模式选择提供了借鉴^[44]。为综合评价滨海盐碱地改良效果,建立滨海盐碱地改良评价模型,在江苏

滨海盐碱地暗管改碱效应评价中的应用表明,该模型综合效应等级评价合理,精度较高,平均相对误差为6.3%^[45]。

4 研究展望

当前,我国盐碱地绿化技术成果转化与产业化程度相对较低,内陆盐碱地区尤为明显,主要原因有以下几个方面:1)盐碱地绿化主要是一项公益事业,其追求的主要是生态价值,直接经济效益不明显;2)盐碱地绿化难度大,成本高,涉及多个学科,一旦处理不当,极易造成反复,绿化失败,损失巨大;3)我国盐碱地绿化科技服务体系尚不健全,致使盐碱地绿化方面的研究和推广工作呈现地方化、碎片化、不系统、不深入、缺少协作等现象,而且盐碱地绿化科技服务组织规模小、发展缓慢、覆盖面小。

盐碱地绿化,首要是盐碱土壤的改良。迄今,世界各国对于盐碱地的改良方法主要有物理改良、化学改良和生物改良。其中,物理改良见效快,但成本高,不可持续;化学改良在降低土壤盐度碱度,改善土壤理化性质的同时,可能给土壤带来二次污染;生物改良因其投资少、无污染、可持续性强等特点,已被越来越多的国家和地区所承认和接受。优良的植被体系可以改善盐碱土壤理化性质,促进植物生长。盐碱地绿化后生态效益综合评价技术对于盐碱地绿化技术的推广应用和改进具有重要意义。但当前盐碱地植被体系构建和盐碱地绿化后生态效益综合评价研究较少,无法支撑我国盐碱地绿化的快速发展。

针对当前我国盐碱地绿化中存在的主要问题,提出如下建议:1)健全全国性的盐碱地绿化科技服务体系,成立国家林业局盐碱地绿化工程技术研究中心、盐碱地生态修复林业科技产业技术推广联盟等专门研究、推广的机构或组织,并且国家在政策和资金项目上给予持续稳定的支持,推进盐碱地绿化领域的研究、成果转化与产业化;2)加强盐碱地改良生物菌肥研制、耐盐碱林木优良新品种选育、抗盐种植栽培技术等方面的研究,为我国盐碱地绿化提供生物菌肥产品、林木品种和配套抗盐种植栽培技术等;3)加强盐碱地植被体系构建和盐碱地绿化后生态效益综合评价等方面的研究,为我国盐碱地绿化的技术措施和树种选择及植物配置等提供技术支撑。

参考文献

- [1]王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [2]郭成源,康俊水,王海生. 滨海盐碱地适生植物[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [3]李亮初. 浅谈盐碱地与园林绿化[J]. 科技视界,2012(21):283-284,114.
- [4]TAIZ L, ZEIGER E. 植物生理学[M]. 宋纯鹏,王学路,周云,等译. 北京:科学出版社,2015.
- [5]商洪池,洪金祥. 浅析盐碱地的治理及其园林绿化的方法[J]. 园林科技信息,2003(2):24-27,42.
- [6]郝金标,张福锁,田长彦. 新疆盐生植物[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [7]姚荣江,杨劲松,刘广明. 东北地区盐碱土特征及其农业生物治理[J]. 土壤,2006,38(3):256-262.
- [8]王祥荣. 生态园林与城市环境保护[J]. 中国园林,1998(2):14-16.
- [9]吕华卿,闫利娜,朱红涛. 园林植物对城市环境的影响和作用[J]. 国土绿化,2012(4):41-42.
- [10]贺志雄,赵秀芳,李娅莉,等. 我国滨海盐碱地生态绿化的重要性[J]. 环境卫生工程,2014,22(5):1-4.
- [11]杨真,王宝山. 中国盐渍土资源现状及改良利用对策[J]. 山东农业科学,2015,47(4):125-130.
- [12]赵秀芳,杨劲松,姚荣江. 基于典范对应分析的苏北滩涂土壤春季盐渍化特征研究[J]. 土壤学报,2010,47(3):422-428.
- [13]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,2009,25(9):7-10.
- [14]季荣. 盐碱地绿化技术[J]. 现代农业科技,2008(6):49-49.
- [15]李君,璠琨,谢怀慈,等. 河套平原区盐碱地造林方法及树种选择试验研究[J]. 内蒙古林业调查设计,2015,38(6):36-37,56.
- [16]GRISMER M E, GATES T K, HANSON B R. Irrigation and drainage strategies in salinity problem areas [J]. California Agriculture, 1988, 42(5):23-24.
- [17]李金彪,陈金林,刘广明,等. 滨海盐碱地绿化理论技术研究进展[J]. 土壤通报,2014,45(1):246-251.
- [18]吴睿,刘广辉,刘广乐. 盐碱地绿化施工的排盐工程[J]. 中国园艺文摘,2011,27(7):72-73.
- [19]张成丕,杨新民,董运秋. 青岛盐碱地盲管排盐与绿化改造技术的研究[J]. 水土保持通报,2011,31(3):117-121.
- [20]纪永福,蔺海明,杨自辉,等. 解冻期覆盖盐渍土地表对土壤盐分和水分的影晌[J]. 干旱区研究,2005,22(1):17-23.
- [21]纪永福,蔺海明,杨自辉,等. 夏季覆盖盐碱地表面对土壤盐分和水分的影晌[J]. 干旱区研究,2007,24(3):375-381.
- [22]赵名彦,丁国栋,郑洪彬,等. 覆盖对滨海盐碱土水盐运动及对刺槐生长影晌的研究[J]. 土壤通报,2009,40(4):751-755.
- [23]姜世平,袁东升,赵万苓,等. 天津滨海盐碱地绿化技术研究[J]. 园林科技,2011(4):1-6.

- [24] SADIQ M, HASSAN G, MEHDI S M, et al. Amelioration of saline-sodic soils with tillage implements and sulfuric acid application [J]. *Pedosphere*, 2007, 17(2): 182-190.
- [25] 沈婧丽, 王彬, 许兴. 脱硫石膏改良盐碱地研究进展[J]. *农业科学研究*, 2016, 37(1): 65-69.
- [26] 徐家林. 盐碱地城市的园林绿化[J]. *园林科技*, 2009(3): 22-25.
- [27] 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): 26-35.
- [28] RAVINDRAN K C, VENKATESAN K, BALAKRISHNAN V, et al. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39(10): 2661-2664.
- [29] 赵可夫. 利用盐生植物改良盐碱地[J]. *植物生理学报*, 1997, 33(6): 501-502.
- [30] 徐森. 西伯利亚白刺盐碱地造林试验[J]. *吉林林业科技*, 2011, 40(4): 10-12, 62.
- [31] 孙文彦, 孙敬海, 尹红娟, 等. 绿肥与苗木间种改良苗圃盐碱地的研究[J]. *土壤通报*, 2015, 46(5): 1221-1225.
- [32] 姚衍芳, 王新亮. 微生物肥料在盐碱地改良中的应用[J]. *林业实用技术*, 2016(9): 15-17.
- [33] 宋玉珍, 安志刚, 张玉红, 等. 活性微生物菌肥在大庆苏打盐碱地造林中的应用[J]. *东北林业大学学报*, 2008, 36(7): 17-19.
- [34] 阎旭东. 植物耐盐性鉴定及评价技术规程[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
- [35] 杨升, 刘正祥, 张华新, 等. 3个树种苗期耐盐性综合评价及指标筛选[J]. *林业科学*, 2013, 49(1): 91-98.
- [36] 张兴, 王云云, 孙力, 等. 四种野生宿根花卉耐盐碱性分析[J]. *黑龙江科学*, 2015(6): 4-5.
- [37] 刘小京, 张秀梅, 孙焕荣, 等. 滨海重盐碱地园林绿化用怪柳良种‘海怪1号’[J]. *林业科学*, 2014, 50(11): 208.
- [38] ZHANG J L, SHI H. Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance [J]. *Photosynthesis Research*, 2013, 115(1): 1-22.
- [39] WANG F B, ZHAI H, AN Y Y, et al. Overexpression of *IbMIPS1* gene enhances salt tolerance in transgenic sweetpotato [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(2): 271-281.
- [40] 王亦学, 杜建中, 郝曜山, 等. 导入 *TaNHX2* 基因提高中林美荷杨耐盐性的研究[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(34): 203-208.
- [41] 赵小雷, 蔡永立, 施朝阳, 等. 滨海盐碱地绿化植被评价指标体系构建及应用[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(23): 145-149.
- [42] 施朝阳. 滨海盐碱地绿化植被评价指标体系构建与应用[D]. 上海: 华东师范大学, 2013.
- [43] 董存军, 李振中. 滨海盐碱地绿化工程养护管理技术[J]. *中国科技信息*, 2009(5): 19-20.
- [44] 刘桂民, 陈苗苗, 李长贵, 等. 基于因子分析的盐碱地人工林土壤改良效应评价: 以黄河三角洲为例[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(28): 50-54.
- [45] 朱成立, 陈婕, 冯宝平, 等. 基于投影寻踪的滨海盐碱地改良综合效应评价[J]. *水利水电科技进展*, 2013, 33(2): 20-25.