宁夏大学优秀学术著作出版基金资助

脱硫废弃物改良盐碱地原理及施用技术研究

TUO LIU FEI QI WU GAI LIANG
YAN JIAN DI YUAN LI
JI SHI YONG JI SHU YAN JIU

主编◎许　兴

黄河出版传媒集团
阳光出版社

著作内容提要

本书研究内容系国家科技支撑计划项目“黄河河套地区盐碱地改良及脱硫废弃物资源化利用关键技术研究与示范”和“典型盐碱地改良技术与工程示范”项目的部分研究成果。主要内容包括：盐碱地类型与成因、脱硫废弃物的特性及在土壤改良中的应用、脱硫废弃物改良盐碱地施用技术研究、脱硫废弃物对土壤环境的影响、脱硫废弃物对根际微生物群落及功能多样性的影响、脱硫废弃物提高作物抗逆性机理研究、脱硫废弃物对植物矿质养分吸收的影响、脱硫废弃物改良盐碱地安全性分析、脱硫废弃物改良效果及经济效益分析等内容，较系统全面地介绍了脱硫废弃物改良盐碱地的施用技术及其对土壤环境和植物生长的影响。本书研究内容较丰富，结构合理，是多学科科研工作者协同创新的重要成果，对不同区域盐碱地改良利用，特别是碱化土壤改良利用，工农业废弃物资源化利用和生态治理具有重要的参考价值。

许兴 男，汉族，1959 年生，宁夏银川人，教授，博士研究生导师，国家“百千万人才工程”第一、二层次人选、享受国务院政府特殊津贴。1994 年获法国蒙彼利埃大学生物学博士学位。现任宁夏大学副校长和西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地主任，自治区“盐碱地改良利用关键技术研究”创新团队带头人，“十一五”、“十二五” 国家科技支撑计划项目首席科学家。兼任中国植物生理学会理事，中国农业生物技术学会理事，宁夏农学会副理事长，宁夏生态学会副理事长。主要从事植物逆境生理生态、分子育种及宏观农业方面的研究。先后主持国家“973”、“863”、国家科技支撑计划、国际合作等项目 20 余项。获“国家科技进步奖”二等奖 1 项；自治区“科学技术进步奖”一等奖 1 项，二等奖 4 项，三等奖 3 项；公开发表学术论文 100 余篇，其中 7 篇被 SCI 收录，出版学术专著 1 部，申请专利 1 项。获中国科协“西部开发突出贡献奖”和第四届“中国侨界创新成果贡献奖”。

图书在版编目(CIP)数据

脱硫废弃物改良盐碱地原理及施用技术研究 / 许兴主编.
— 银川:阳光出版社,2013.12
ISBN 978-7-5525-1175-8

Ⅰ.①脱… Ⅱ.①许… Ⅲ.①盐碱土改良 — 研究 Ⅳ. ①S156.4

中国版本图书馆 CIP数据核字(2013)第 318507 号

脱硫废弃物改良盐碱地原理及施用技术研究 许 兴 主编

责任编辑 屠学农
封面设计 郭 俊
责任印制 郭迅生

黄河出版传媒集团
阳 光 出 版 社 出版发行

地　　址 银川市北京东路 139 号出版大厦(750001)
网　　址 http://www.yrpubm.com
网上书店 http://www.hh-book.com
电子信箱 yangguang@yrpubm.com
邮购电话 0951-5044614
经　　销 全国新华书店
印刷装订 宁夏飞马彩色印务有限公司
印刷委托书号 (宁)0013371

开　　本 787mm×1092mm 1/16
印　　张 16.375
字　　数 370 千
版　　次 2013 年 12 月第 1 版
印　　次 2013 年 12 月第 1 次印刷
书　　号 ISBN 978-7-5525-1175-8/S·109

定　　价 36.00 元

版权所有 翻印必究

前　言

黄河河套灌区是我国历史上著名的四大自流灌区之一，有两千多年的灌溉耕作历史。河套地区地处干旱、半干旱地区，气候干燥，降水量低，普遍降雨量仅在 200~350mm 之间，蒸发量却高达 2000mm，属于典型的生态脆弱区。近年来，由于国家对生态环境的重视和各方面努力，该区域生态环境恶化的趋势得到了一定缓解。但是由于气候变迁和人为因素的交互作用，还存在着荒漠化和水土流失加剧的潜在威胁。此外，该区域还是我国正在规划中的最大的煤炭、石油天然气、能源化工基地，是黄河灌区最大的后备耕地资源储备地区，也是我国西部地区重要的生态屏障。同时，该地区还属于回、蒙等少数民族聚居区和革命老区，产业结构以农业为主，工业生产落后，经济发展缓慢，是国家西部大开发的重点区域。

土壤盐渍化是河套地区绿洲生态系统建设和农业可持续发展中的重要限制因素。黄河河套平原有灌溉面积 1500 多万亩，由于自然和人为等多方面因素，河套地区土壤盐碱化问题十分突出，三分之一以上的耕地存在着不同程度的土壤盐渍化问题。同时，在黄河河套平原分布有几千万亩的宜垦盐碱荒地，开发利用潜力巨大。2009 年最新土壤盐渍化调查表明，宁夏引黄灌区盐渍化土壤面积为 221.9 万亩，占灌区总耕地面积的 33.5%；另在宁夏银北地区还有 100 多万亩盐碱荒地。

随着我国煤炭、能源化工产业的迅猛发展和国家对燃煤电厂二氧化硫减排的钢性要求，燃煤电厂因环保需求而产生了大量的燃煤烟气脱硫废弃物（以下简称脱硫废弃物）。2010 年，我国燃煤电站安装燃煤脱硫设备并投入运行的机组已达 3 亿 kW，年产脱硫废弃物的数量已超过 6000 万 t。预计“十二五”末，运行的机组达到 9 亿 kW，年产脱硫废弃物的数量已超过 1.8 亿 t。同时，在我国能源化工基地年产近 20 亿 m^3 的高盐水。河套地区安装脱硫装置的燃煤电厂机组已达 5000 万 kW，年产脱硫废弃物超过 1000 万 t，年产近 1.8 亿 m^3 的高盐水。脱硫废弃物和高盐水已经制约煤化工基地的可持续发展，如果不加以合理利用将会对环境造成二次污染。

针对黄河河套地区碱化土壤改良及脱硫废弃物资源化利用问题，由宁夏大学、清华大学、宁夏农林科学院等单位承担的国家科技支撑计划“黄河河套地区盐碱地改良及脱硫废弃物资源化利用关键技术研究与示范”项目，通过跨区域多学科联合攻关，产学研紧密结合，进行脱硫废弃物改良盐碱地施用技术及对土壤环境与植物的效应，盐碱地培肥与地力提升技术、区域水盐运移及调控技术、区域植物格局配置与生物改良技术、不同类型盐碱地改良技术集成研究与示范，研究开发了一批拥有自主知识产权的新技术和新产

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

品，提出不同区域盐碱地脱硫废弃物综合改良技术模式，建立了西大滩、惠农区、红寺堡3个不同类型盐碱地试验示范区，对所形成的系列技术成果进行了大面积示范和推广。项目实施使盐碱地改良、脱硫废弃物资源化利用和生物质能源植物开发利用有机结合，实现了工农业废弃物资源化利用，促进了循环经济发展，对保障国家粮食安全、生态安全起到了重要推动作用。

本书研究内容系国家科技支撑计划项目“黄河河套地区盐碱地改良及脱硫废弃物资源化利用关键技术研究与示范”和“典型盐碱地改良技术与工程示范”项目的部分研究成果。主要内容包括：盐碱地类型与成因、脱硫废弃物的特性及在土壤改良中的应用、脱硫废弃物改良盐碱地施用技术研究、脱硫废弃物对土壤环境的影响、脱硫废弃物对根际微生物群落及功能多样性的影响、脱硫废弃物提高作物抗逆性机理研究、脱硫废弃物对植物矿质养分吸收的影响、脱硫废弃物改良盐碱地安全性分析、脱硫废弃物改良效果及经济效益分析等内容，较系统全面地介绍了脱硫废弃物改良盐碱地的施用技术及其对土壤环境和植物生长的影响。本书研究内容较丰富，结构合理，是多学科科研工作者协同创新的重要成果，对不同区域盐碱地改良利用，特别是碱化土壤改良利用，工农业废弃物资源化利用和生态治理具有重要的参考价值。

本书由宁夏大学、清华大学、内蒙古农业大学、宁夏农林科学院等单位的科研人员共同编写。第一章由许兴、白海波编写，第二章由孙兆军、张峰举、李彦编写，第三章由肖国举、李跃进、张峰举、罗成科编写，第四章由王彬、张峰举编写，第五章由李凤霞、杨涓、王学琴编写，第六章由毛桂莲、白海波、岳自慧编写，第七章由郑国琦、王彬编写，第八章由张峰举、杨涓、李彦编写，第九章由肖国举、孙兆军编写。宁夏科技厅领导，宁夏农林科学院戈敢研究员、罗代雄研究员，宁夏大学徐兆桢教授给予了指导和大力支持，深表谢意！由于水平有限，错误在所难免，诚请读者指正！

编　者

2013年11月

目 录

第一章 盐碱地类型与成因 …… (1)
第一节 盐碱地类型 …… (1)
第二节 盐碱地分布 …… (2)
第三节 盐碱地成因 …… (2)
第四节 国内外盐碱地改良现状及发展趋势 …… (4)
第五节 宁夏盐碱地现状与形成机理 …… (5)
第二章 脱硫废弃物的特性及在土壤改良中的应用 …… (12)
第一节 脱硫废弃物来源与特性 …… (12)
第二节 脱硫废弃物在土壤改良中的应用 …… (15)
第三章 脱硫废弃物改良盐碱地施用技术研究 …… (23)
第一节 影响脱硫废弃物改良盐碱地的效果因素分析 …… (23)
第二节 脱硫废弃物改良盐碱地理论施用量研究 …… (27)
第三节 脱硫废弃物改良碱化土壤种植油葵施用量研究 …… (32)
第四节 脱硫废弃物改良碱化土壤种植水稻施用量研究 …… (36)
第五节 脱硫废弃物改良碱化土壤种植甜高粱施用量研究 …… (42)
第六节 脱硫废弃物改良盐碱地种植枸杞施用量和施用深度研究 …… (47)
第七节 脱硫废弃物改良碱化土壤施用时期和施用深度的研究 …… (54)
第八节 犁翻与旋耕施用脱硫废弃物改良碱化土壤的效果研究 …… (60)
第四章 脱硫废弃物施用盐碱地对土壤环境的影响 …… (69)
第一节 脱硫废弃物施用对碱化土壤的影响 …… (69)
第二节 脱硫废弃物施用对盐化土壤的影响 …… (88)
第五章 脱硫废弃物对根际微生物群落及功能多样性的影响 …… (102)
第一节 盐碱地土壤微生物研究概况 …… (102)
第二节 脱硫废弃物施用对碱化土壤油葵根际微生物区系的影响 …… (106)
第三节 脱硫废弃物施用对碱化土壤油葵根际微生物功能多样性的影响 …… (115)

第四节　脱硫废弃物对碱化土壤油葵根际土壤酶活性的影响 …… (121)
第五节　脱硫废弃物施用对碱化土壤苜蓿根际微生物的影响 …… (129)
第六章　脱硫废弃物提高作物抗逆性机理研究 …… (154)
第一节　脱硫废弃物提高植物抗逆性的研究进展 …… (154)
第二节　脱硫废弃物对盐碱胁迫下种子萌发的影响 …… (161)
第三节　脱硫废弃物对碱胁迫下不同作物钙信使变化的影响 …… (166)
第四节　脱硫废弃物对盐碱胁迫下油葵生理特性的影响 …… (173)
第五节　脱硫废弃物对盐碱胁迫下水稻生理特性的影响 …… (183)
第七章　脱硫废弃物对植物矿质养分吸收的影响 …… (201)
第一节　脱硫废弃物对碱化土壤油葵水分利用效率和矿质养分吸收的影响
…… (201)
第二节　脱硫废弃物施用碱化土壤对甜高粱矿质养分吸收的影响 …… (210)
第八章　脱硫废弃物改良盐碱地重金属安全性分析 …… (218)
第一节　脱硫废弃物主要成分及重金属元素含量 …… (220)
第二节　脱硫废弃物施用对土壤重金属元素的影响 …… (222)
第三节　脱硫废弃物对植物体内重金属含量和分布的影响 …… (230)
第四节　施用脱硫废弃物示范区的重金属安全性分析 …… (238)
第九章　脱硫废弃物改良效果及经济效益分析 …… (248)
第一节　脱硫废弃物改良盐碱地施用技术规程 …… (248)
第二节　脱硫废弃物改良盐碱地效果 …… (249)
第三节　脱硫废弃物改良盐碱地经济效益分析 …… (253)

第一章 盐碱地类型与成因

土壤盐渍化是影响全球农业生产和生态环境的严重问题，也是目前制约我国农业增产的两大土壤因素之一[1]。随着社会经济的发展，在面临耕地大面积减少，淡水资源匮乏的情况下，盐碱土作为一种土地资源，在世界范围内均有着巨大的开发潜力。如何改良和利用盐碱地是目前亟待解决的农业问题之一。

脱硫废弃物是工业发电的燃煤脱硫过程产生的一种固体废弃物，其主要成分是硫酸钙。随着人们对环保的重视，越来越多的企业为了减少由于 SO_2 排放所造成的污染，将更多地采用燃煤脱硫工艺，燃煤烟气脱硫废弃物的排放也将因此而不断增加。若对它处置不当，则不仅资源浪费，还将造成二次污染。如何处置这些固体废弃物，是当今研究的重要课题。用脱硫废弃物改良盐碱地是近几年才提出的一种改良方案，它是将工业废物的再利用和农业土壤改良相结合的一种改良方式，具有深远的现实意义[2]。用脱硫废弃物改良盐碱地，不仅有利于燃煤烟气脱硫技术的推广，而且能改良土壤的理化性质，使之适合农作物的生长，是一个“双赢”的方案，非常值得研究，所以盐碱地的改良将对提高盐碱化耕地的产量以及农业生产有着非常重要的意义。

第一节 盐碱地类型

盐碱土是土壤中含可溶性盐分过多的盐土和含代换性钠较多的碱土的统称，二者的性质虽有很大的不同，但在发生形成上有密切联系，且常交错分布，所以常统称为盐碱土[3]。可溶性盐分在土壤中积累而达到对植物有害的程度（含盐量达 3~6g/kg 时，大多数栽培植物的生长会受到影响）的过程称为土地盐渍化。各种发生盐化和碱化过程的土壤均称为盐渍土，包括盐土、碱土和各种盐化土、碱化土。

盐土是盐碱土中面积最大的一类，主要是指土壤表层含可溶性盐超过 0.6%~2%的一类土壤。氯化物为主的盐土毒性较大，含盐量的下限为 0.6%；硫酸盐为主的盐土毒性较小，含盐量的下限为 2%；氯化物—硫酸盐或硫酸盐—氯化物组成的混合盐土毒性居中，含盐量下限为 1%。含盐量小于这个指标的，就不列入盐土范围，而列为某种土壤的盐化类型，如盐化棕钙土、盐化草甸土等。

碱土是盐碱土中面积很小的一种类型，碱土中吸收性复合土体中代换性钠的含量占代换总量的 20%以上。小于这个指标只将它列入某种土壤的碱化类型，如碱化盐土、碱化栗钙

土。土壤的碱化程度越高，土壤的理化性状愈坏，表现出湿时膨胀、分散、泥泞，干时收缩、板结、坚硬，通气透水性都非常差的特点。这些特征的形成主要是由于 Na^+ 具有高度的分散作用，它与土壤中的其他盐类发生代换作用，形成碱性很强的碳酸钠。碱土对植物的危害作用很大程度就是碳酸钠的毒害作用。而大多数土壤在盐化的同时，其碱化的程度也很高，两者在形成过程中有着密不可分的联系[4]。

目前，土地盐渍化已成为一个世界性问题，盐渍土在世界各大洲均有分布。近年来其面积迅速扩大，盐渍化程度不断加剧，在灌溉水需求量大、排水不畅而不能有效冲洗的干旱半干旱地区更为严重。这种情况在中东、中国北部平原、前苏联的亚洲地区、加拿大的 Sna-Joauqni 流域和美国科罗拉多河盆地较为常见。

第二节　盐碱地分布

盐碱土在地球陆地上的分布很广泛，约占陆地总面积的 25%，总计 10 亿公顷，分布在世界各大洲的干旱地区，主要集中在欧亚大陆、非洲和北美洲西部[5]。尽管盐碱土是重要的土地资源，但土壤盐渍化是限制农业生产的一个重要环境因素[6]。目前全球盐渍土面积还在不断扩大，据估计，全球的盐渍土每年以 100 万 ~150 万 hm^2 的速度增长[7]，盐害是 21 世纪世界农业的重要问题[8-10]，并且土壤的盐渍化是全世界面临的一个环境问题之一[11-12]。

我国约有盐碱地 0.27 亿 hm^2，其中 0.06 亿 hm^2 耕地，0.21 亿 hm^2 盐碱荒地[9]。现代盐渍地面积为 3693 万 hm^2，残余盐渍土约为 4487 万 hm^2，并且还有约 17330 万 hm^2 的潜在盐渍土。我国盐渍土的分布与世界上各国盐渍土的分布规律相似，主要分布在东北、华北、西北内陆地区的灌溉农业区或干旱农业区以及长江以北沿海地带，共计 23 个省、市、自治区[13]。并且总是与干旱、半干旱和半湿润的水分状况相联系[14-16]。这是由于干旱半干旱地区降雨量少，地表蒸发强烈，盐分在土壤毛管作用下向表层迁移，使盐分在土壤表层积累[17]。根据我国土壤工作者的研究和归纳，除了滨海盐渍土之外，我国的盐渍土主要分布在淮河、秦岭、昆仑山一线以北的广大地区，比较集中的地区有：滨海地带，黄淮海平原，松辽平原，晋、陕山间河谷盆地，宁夏、内蒙古河套平原，甘肃河西走廊，新疆准噶尔盆地和塔里木盆地，青海柴达木盆地以及青藏的羌塘高原等地[18-20]。其中新疆、甘肃、宁夏有 30%~40%的耕地受盐渍化威胁，内蒙古河套地区盐碱地面积则高达 50%[21-22]。

第三节　盐碱地成因

盐碱土是在一定环境条件下形成和发育的，其中气候、地形、地质、水文以及生物因素的影响最为突出[23-24]。另外，伴随着人类对土地的开发利用，人类的活动也对土壤盐碱化产生巨大的影响。国内外学者在查明土壤次生盐碱化原因方面做了大量研究工作，因研究侧

重点不同，其观点也有所差异：以 B·A·萨乌缅为代表的学者认为一些盐碱化的形成和发展是由于不合理的灌溉和用水不当抬高了地下水位；而 B·A·科夫达等则认为地下水的移动、埋深和平衡最为重要[25]。

一、自然因素

干旱半干旱地区降雨量少，地表蒸发强烈，盐分在土壤毛管作用下向表层迁移，使盐分在土壤表层积累[26]。另外风力也是造成土壤盐渍化的原因之一，吸附在土壤颗粒上的盐分随风飘至没有盐碱化或盐碱化很轻的地区，降落沉积也会使土壤表层的含盐量升高[27]。

分水岭水平上的盐渍化与地形、土壤和地下水状况密切相关[28]。闭流区盆地一般地下水埋藏浅，周围地表岩石风化后，矿质元素随地表或地下径流迁移至地势较低的集水区，加之地下水的顶托作用，盆地内水、盐不断向上运动，易导致盐渍化发生[29]。土壤质地和孔隙状况也直接影响盐分在土壤中的积累，砂黏土毛管适中，毛管水上升快且上升高幅度大，容易发生盐渍化[30]。此外，若土体的中深层位有质地较重的黏土层或碳酸钙等不透水层，则上面淋溶下来的盐分会滞留在此之上形成一个潜水面，将溶出盐分不断输送到土体上部而发生盐渍化。

Salmaa 认为地下水是影响盐分迁移、积累和释放的主要因素[31]。地下水位浅，矿化度高，则易于盐分在毛管作用下向上迁移[32]。Schofield 等研究表明，地下水过度开采，易导致气体和盐分的释放[33]，对蓄水层中盐分分布有不利影响[34]。但张妙仙等发现潜水埋深在一定范围内时，土壤发生盐渍化的可能性最大，从而打破了潜水埋深越浅盐渍化越严重的观点[35]。此外，海水入侵[36]、海水喷溅、海风和潮汐作用可导致海滨地区盐渍化加重[37]。

二、人为因素

人类活动在很大程度上改变了灌区土壤。灌水的数量、质量和频率都可影响土壤的盐渍化过程。Smets 等研究表明，灌水数量比质量对土壤盐渍化的影响大，灌溉频率对土壤尤其是沙土的水盐平衡具显著影响[37]。灌溉增强、灌溉方法和技术不良，特别是大水漫灌、串灌，既浪费水又破坏土壤结构，加剧土壤水上升力度，使地下水位逐渐升高，导致次生盐渍化。另外灌水的盐度增高或排水重复利用，以及排水不畅或有灌无排也易导致盐分在土壤中积累[38]。

过度放牧、开垦草地、毁林开荒、伐薪烧荒等破坏了地表植被，会改变地表的水盐平衡[39]，使地表蒸发不断加强，加速盐分在地表积累。此外农业机械在土地潮湿的情况下耕作和运输，会使土壤板结，渗透性降低，不利于盐分下移[40]。而且长期单作、过量地不加选择地使用化学肥料和其他农用化学品也会加速盐渍化的发生[41]。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第四节　国内外盐碱地改良现状及发展趋势

盐渍土的改良利用，一般通过两个方面。一是改良土壤，降低土体盐分和碱化度，为作物创造良好的生长环境条件；二是选用耐盐作（植）物品种，挖掘品种自身的忍耐能力，直接利用盐渍土[42-43]。在改良土壤条件方面，一般是通过水土工程措施、物理改良、化学改良等，我国已积累了丰富的经验和成功的应用技术，收到了显著的效果[44-45]。

20 世纪初，美国、加拿大等国家率先对盐碱土的地理分布、形成过程、盐碱类型及其发生学特性等方面进行了研究；30 年代重点进行了以水利、土壤改良为中心的灌溉和防渗为主要技术的盐碱土改良方面的研究与应用；40 年代开始加强了化学改良、农业措施改良、土壤理化性质和水盐运动规律方面的研究；从 60 年代起，在盐碱土的改良和利用的着眼点由田块发展到大范围和流域性的整体治理。进入 80 年代，盐碱土的研究和改良重点逐渐转移到大面积的耕作土壤上来，注重开展多学科的综合研究和耕作土壤的综合治理，进行大型灌区次生盐渍化的预测预报和治理、区域水盐运动和水盐平衡，提出了一些土壤次生盐渍化发生与预测的理论依据。进入 90 年代经济而科学地用水并通过采取物理化学措施加强土壤脱盐效果，研究土壤耕作与土壤肥料的关系，利用改良剂，选育并应用耐盐品种已经逐渐成为研究热点。从 20 世纪 60 年代后期到 70 年代初，巴基斯坦在印度河流域，实施“防治盐渍化和土壤改良剂计划——SCAP 计划”；印度也开始了同类工作；埃及的尼罗河三角洲的盐渍土地区，也进行了大面积的治理和开发工程建设；巴西和阿根廷沿着亚马逊河，按类型分区治理；欧洲的匈牙利、荷兰等国，也对低产土壤进行了研究与改良[46-47]。

新中国成立以来也十分重视盐碱地改良工作，我国在黄淮海平原、东北平原、滨海地区进行了大规模的盐碱地改良的研究与示范推广工作。20 世纪 50 年代至 60 年代，比较重视灌溉冲洗，开始在天津开展滨海盐土种稻改良试验和引黄灌溉、种稻改碱等农业措施为主的改良工作；20 世纪 60 年代初，熊毅院士提出“因地制宜，综合治理，水利工程和农业生物措施相结合”的原则。70 年代我国盐碱土改良进入工程措施与农业措施相结合、综合治理与综合发展相结合阶段。首先，在黄淮海平原建立了 12 个试验区，而后，又在松嫩—三江平原等地相继建立了中低产田治理与综合发展试验区。开展“六五”至“九五”攻关研究，取得了重大成果[42,48]。80 年代石元春院士提出“排、灌、平、肥、林”综合运用等措施进行盐渍土改良利用，并在黄淮海地区的盐碱地综合治理方面取得了重大进展[42]。一些地区将磷石膏、糠醛渣、沼气肥等作为改良剂施加到碱土上，改变土壤结构，使作物明显增产，也起到了保护周边环境不受污染的目的。另外，挖池抬田渔农综合利用技术、薄膜隔盐碱技术、引进和种植耐盐植物都是改良利用盐碱地的重要措施。总体来讲，根据改良措施的性质可以分为物理改良（包括排水、冲洗、松土和施肥、铺沙压碱等）、化学改良（包括施用石膏、过磷酸

钙、腐殖酸类和硫酸亚铁等)和生物改良(种植树木、种植抗盐性较强的牧草、利用高抗盐植物、提高植物的抗盐能力等)。近年来,随着科学技术的迅猛发展,生命科学技术、信息技术等高新技术在盐碱地改良利用上的应用愈来愈普遍。我国盐碱地综合治理技术已走在世界前列[45,49]。

近年来,许多发达国家充分利用3S技术和EM盐分勘查系统,建立了土壤盐分灾害监测网络,大规模开展土壤盐分勘查,快速、方便、完整地获取当时当地的土壤盐分和作物数据,为准确、快速的改良决策创造了条件,正在逐步形成精确盐碱土改良的高新技术体系。1992年,美国最早研究了燃煤烟气脱硫废弃物(下文简称脱硫废弃物)对美国酸性土壤的改良,收到了较好的效果。经检测脱硫废弃物在改良过程中不会对食物链和环境质量造成威胁。利用脱硫废弃物改良盐碱地的方案,是近几年才提出的,它将工业废物的再利用和农业土壤改良相结合,具有深远的现实意义。国外的研究主要集中在酸性土壤方面,国内的研究尚处于起步阶段,主要是针对东北及内蒙古黄河河套地区碱性土壤[50]。

第五节 宁夏盐碱地现状与形成机理

一、宁夏盐碱地现状

宁夏回族自治区处于我国西北部,黄河流域上游中部,土壤面积约439万hm^2,占宁夏总面积的95.6%。现有耕地129.9万hm^2,耕地主要分布在北部黄河冲积平原的引黄灌区和南部山区黄土丘陵区。由银川平原、卫宁平原组成的37.3万hm^2引黄灌区是我国西北地区四大自流灌区之一,另外还有未利用土地面积80.1万hm^2。盐渍土主要分布在银川平原和卫宁平原[51],总面积676hm^2,占省区面积的1.31%,每年造成减产4000万kg以上。

1949年以来,宁夏引黄灌区(8个县市)的土壤盐渍化调查共进行了4次,分别在1957~1958年、1962年、1978~1983年和1985年。从这4次调查情况看,灌区土壤盐渍化呈下降趋势。据1983年土壤普查资料,宁夏银北地区(包括国营农场)有各类盐(碱)化土地14.54万hm^2,占宁夏盐碱化土地总面积的86.7%。1985年以后,在全区范围内再未进行过大规模的土壤盐渍化调查,只是1997年和2000年分别对固海扩灌区和红寺堡灌区进行了土壤盐渍化调查。调查结果表明,固海扩灌区的同心、海原和固原土壤盐渍区的面积分别为2894.8hm^2,2934.8hm^2和5949.6hm^2,比1978~1983年全区第二次土壤普查时盐渍区面积分别增加了2461.3hm^2,1714.2hm^2和3161.58hm^2。盐池县扬黄灌区在实施灌溉2年后,也有220.45hm^2土地发生了不同程度的次生盐渍化,另尚有212.1hm^2土地处于潜在盐化之中。红寺堡灌区自1998年陆续开发以来,经过2年多的灌溉耕种,部分地区已出现土壤次生盐渍化,危害相当严重。红寺堡灌区土壤总面积75972hm^2,其中无盐化土壤面积占91.5%,有盐化土壤面积占5.5%,存在盐化威胁的土壤面积占3%,这表明自1985年以后,扬黄灌区

的土壤盐渍化面积有所增加[52]。盐碱化面积不断加重，致使生态环境恶化，可耕地面积减少，由此，提高现有土地生产能力，改良与开发利用盐碱化土地，防治土壤的次生盐碱化，已成为实现土地资源可持续利用和农业可持续发展的一个重要方面。尤其是在我国干旱、半干旱地区的土地利用问题上，对农业生产发展，国土治理，生态环境保护等具有极其重要的意义[53]。

二、宁夏盐碱土的形成机理

宁夏的银川以南地区分布的是斑状轻度盐化浅色草甸土，以北地区分布的是斑状中、强度盐化草甸土和浅色草甸盐土，在地势低洼地区盐土呈大面积分布。由于地形和地下径流流速的差异，盐分产生分异作用，形成的盐土类型较多，诸如蓬松盐土、潮湿盐土、草甸盐土、沼泽盐土、苏打盐土等，在封闭洼地还有白僵土。盐渍土盐分主要为氯化物硫酸盐和硫酸盐氯化物，其次是重碳酸盐的苏打盐土和白僵土[52]。

关于银川平原灌区盐渍土的发生机理，黄震华等人（1959）研究认为，是由气候、地质、外源水的入渗、地形、不合理水稻布局等因素综合作用的结果。首先，由于气候干燥，强烈的蒸发构成了盐分垂直运动的动力；其次，银北平原第四纪沉积物厚达 1009～1609m，其基底构造不利于地下径流排泄，而潜层表部岩性为二元结构，即上表层为一厚度不等的亚黏土盖层（一般厚 0～5m），下表层为岩性单一的深厚砂层；第三，灌溉水的入渗及各级渠系的渗漏补给了地下水，造成水位进一步抬升；第四，由于地形平缓，明沟不能深挖，排水不畅，银川平原地势自南向北下降，上游为 1/2000，中游为 1/2000～1/4000，下游为 1/6000～1/12000，地下水的矿化度由南向北递增，由 1～3g/L 增加到 10g/L；第五，水稻的不合理布局，如高斗高地种稻、插花种稻、无排水种稻等均对下游盐碱化形成起到了推波助澜的作用[54]。

除银川平原外，在鄂尔多斯台地上的扬黄灌区，尽管地下水位很低（一般在 10m 以下），也发生了土壤次生盐渍化。经冯锐等人研究认为其形成机理主要是地形与母质因素导致的结果，指出应避开在无排水出路的丘间低地和第三系红色黏土埋藏＜2.0m 的地区开发扬黄新灌区，从而可避免新灌区建设由于布局不当而带来的巨大经济损失[56]。

白僵土的形成，包括脱盐和碱化两个过程。对于西大滩白僵土的脱盐过程，李定洲研究认为有其特殊的地质原因，即：整个银川盆地在 NNE 向的反时针扭动力作用下，致使西大滩逐渐抬升，导致地下水位下降，又在山洪与降水的淋溶作用下，使土壤中的盐分逐渐减少[57]。对于西大滩白僵土的碱化过程，殷允相研究认为频繁的水盐运动加剧了胶体表面钠离子与二价阳离子的交换作用。当土壤盐分以碱性钠盐为主时，由于碳酸根离子的存在，减少了土壤溶液中钙离子的活性，加强了钠离子置换钙离子的能力[58]，当土壤胶体表面吸附交换性钠离子数量大于土壤盐基代换量的 20%时，就形成了碱化土壤。宁夏白僵土的交换性钠量一般占盐基代换量的 20%~50%[59]。

三、宁夏盐碱地的改良技术研究进展

宁夏引黄灌区是一个古老的灌区，宁夏人民在长期治理盐碱过程中，积累了丰富的农艺耕作经验[60]，可简要归纳如下：淤，放淤改良；灌，合理灌溉；肥，即增施有机肥和磷肥，以增强土壤对盐碱的缓冲性和作物的抗盐碱能力；翻，当夏作物收获后正值伏天，及时灌水并犁翻土壤，此外，还可于秋后翻地曝晒；轮，即采用稻旱轮作的方式；松，及时松土切断土壤毛管，抑制返盐；种，根据土壤含盐碱轻重，选择适宜的耐盐碱作物；换，铺沙换土或田面铺覆麦麸，以改善黏重土壤物理性质，增加土壤有机质数量来抵御盐碱危害[61]。

水利工程技术是1950年以来宁夏改良盐碱土所采用的最主要的技术。近50年来，水利工程技术走过了20世纪50年代、60年代以明沟为主要排水体系的灌排改良盐碱土技术，70年代竖井强制抽排技术，80年代竖井、排水沟结合排水洗盐技术，到90年代至目前为止的以明沟为主，同时辅以竖井与暗沟为特征的综合水利工程改良技术[62-65]。

台田法改良技术是指在盐渍土上人为抬高田面，相对降低地下水位从而达到抑制土壤返盐的方法。宁夏于70年代初在惠农下营子运用此法改良盐渍滩地，目前这些台田已成为当地稳产、高产农田。

化学改良盐碱土技术主要在白僵土的改良中被应用。黄震华(1959)首先利用石膏改良白僵土，施入第1年效果不明显，但到第2年石膏处理区较对照增产21.3%，表明石膏有改良白僵土的效果，但较迟缓。何尚仁(1986)使用石膏改良白僵土也取得了同样的结果。

王平武、苗济文(1988年)曾尝试引进东北地区碱茅草改良宁夏盐碱地，对碱茅草在宁夏引黄灌区的适应性、耐盐性及其改土效果进行了详细探讨[66,67]，并认为在应用生物材料改良盐碱地时，除了要重视其治理的生态效益外，还应考察其经济效益大小，这样才有生命力。

综合改良技术指综合运用上述2种以上方法改良盐碱地的技术。自改革开放以来，宁夏先后在平罗沿河(主持人：王平武、谢守栋、王文章，1981~1986年)、惠农庙台、平罗新丰(主持人：李进德、罗代雄、汤明哲，1989~1994年)、平罗六中(主持人：罗代雄、何尚仁，1996~2000年)开展了3项较大规模的涉及农、林、牧等学科的盐碱土综合改良项目。项目以“改土治水”为技术核心，以增强改良区农业生态系统与社会经济系统的综合能力为目标，同时积极发展盐碱土区的林、果、牧、蔬菜等，取得了良好效果。

四、宁夏盐碱地改良存在的问题及对策

尽管宁夏盐碱土改良研究工作取得了较大成果，但与我国盐碱土改良研究总体相比，还存在一定差距。尤其是对碱性土壤的改良效果还不理想。近年来，以脱硫废弃物为主要改良剂改良盐碱地的技术，有效地解决了该地区碱性土壤不易改良的技术瓶颈[68]。2005年，宁夏大学与清华大学合作，在我区首次引进了利用燃煤脱硫废弃物改良盐碱地的技术，当年取得显著的改良效果。2006年由自治区农业综合开发办公室和自治区科技厅立项的“燃

煤脱硫废弃物改良盐碱地综合农业技术引进与开发”项目当年在国营暖泉农场示范区再次取得了成功，积累了重要经验，取得了一批科研成果，为我区盐碱地改良闯出了一条新的途径。2007 年，示范面积进一步扩大到 666.7hm^2，2008~2010 年 3 年间将示范辐射推广面积增至 66666.7hm^2，示范推广辐射至整个黄河河套地区。随着我区宁东煤化工基地的建成与投产，预计到 2010 年，宁夏将产生 100 万 t 脱硫废弃物，如不及时寻找出路，将成为我区环境污染的严重污染源，甚至成为一种新型的“公害”物质，企业也将为这些废弃物的处置付出巨大的经济代价。利用其改良盐碱地，可实现变废为宝，变害为利的本质性转变，这对于发展我区工农业循环经济，构建和谐社会具有十分重要的现实意义。

参考文献

[1] Liang Y C, Yang C G, Shi HH. Effects of silicon on growth and mineral composition of barley grown under toxic levels of aluminium. Journal of Plant Nutrition, 2001,24: 229~243.

[2] 陈欢. 燃煤烟气脱硫废弃物改良碱化土壤示范区的综合效益评价 [M]. 清华大学出版社, 2005.

[3] 河北省改良盐碱地创高产编写组.改良盐碱地创高产[M].河北人民出版社,1974.

[4] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培.中国盐渍土[M].科学出版社,1993.

[5] Szabolcs I. SalT-AffecTed soils. Florida: CRC Press Inc Boca Raton,1989.

[6] 王宝山,蔡蕾,李平华,等.盐碱地耐盐小麦覆膜栽培高产机理的研究[J].西北植物学报,2000,20(5):746~753.

[7] 黑龙江省土地管理局.黑龙江土壤[M].农业出版社,1992.

[8] Kovda VA. Loss of productive land to due Salinazation:Ambio,1983,14(2): 91~93.

[9] 白由路,李保国,石元春.基于 GIS 的黄淮海平原土壤盐分分布与管理研究[J].资源科学,1997,21(4):66~70.

[10] I.Szaboles(匈牙利).盐渍土是个世界性的问题(国际盐渍土改良学术讨论会论文集)[M].北京农业大学出版社,1985:35~41.

[11] Marcar N,Ismail S,Hossain A. Trees,Shrubs and grasses for saltland. Canberra: Australian Centre for InTernational Agricultural Research,1997.

[12] MalcolmE,Sumner RN. Sodic soils-Distribution,properties,management,and environmental conseauences. New York: Oxfod University Press,1998.

[13] 毕武臣,高明刚.盐碱地改良的技术措施[J].防护林科技,2001,(1):66~67.

[14] 贾恢先,赵曼容.从生态学观点出发,试论河西走廊盐渍化土地的开发利用[J].甘肃农业大学学报,1984,专辑:121~125.

[15] 杨劲松.土壤盐渍化研究展望[J].土壤,1995, 27(1):23~270.

[16] 刘文正,王遵亲,熊毅.我国盐渍土改良利用分区[J].土壤学报,1978,15(2).

[17] Williams WD. Unplumbed salt in a parched land scape [J].Water science and Technology, 2001, 43(4):85~91.

[18] 藜立群.盐渍土基础知识[M].科学出版社,1986.

[19] 俞仁培,尤文瑞.土壤碱化的监测与防治[M].科学出版社,1993:85~90.

[20] 王遵亲,刘有昌,黎立羣,等.山东聊城土壤盐渍化防治区划及措施[J].土壤学报,1964,12(3).

[21] 中国农业科学院农田灌溉研究所等.黄淮海平原盐碱地改良[M].农业出版社,1977.

[22] 山东水利科学研究所.盐碱地改良[M].山东人民出版社,1974.

[23] Rahmna HAA, Dhaba MH, Mustaaf MA. Impact of soil amendments on intermittent evaporation, moisutre distribution and salt redistribution in saline-sodic clay soil columns[J]. Soil science, 1996, 161(11):793~802.

[24] Creseimanno G, Provenzno G Booltink HWG .The effect of alternating different water qualities on accumulation and leaching of solutes in a Mediterrnaean craeking soil[J]. Hydrological porcesses, 2002, 16(3):717~730.

[25] 牛东玲,王启基.盐碱地治理研究进展[J]. 土壤通报,2002,32(6):449~455.

[26] Willimas WD.UnPlumbed salt in a Parehed lnadseaPe [J]. Water scienee and echnoloy, 2001, 43(4): 85~91.

[27] Hparer, J.J.; Gilkes, R.J.Aeolina infiuences on the soils and landforms of the southen Yilgarn Craton of semi-arid, southwestern Australia [J]. GeomorPhology, 2004, 59(1~4): 215~235.

[28] Wada H.Techniques and strategies to ameliorate salt-affected lands in Northeast Thailand [J]. Jarq-japan agricultural research quarteryl, 1998, 32(2):79~85.

[29] Miller JJ, Pawluk S, Beke GJ.Soil salinization at a side-hill seep and closed basin in southern alberta[J]. Canadian jounral of soil science, 1993, 73(2):209~222.

[30] 鲁春霞,于云江,关有志.甘肃省土壤盐渍化及其对生态环境的损害评估[J].自然灾害学报,2001,(1):99~102.

[31] Salmaa RB, Otto CJ, Fitzpartiek RW. Contributions of ground water conditions to soil and Water salinization[J]. Hydrogeology journal, 1999(1):46~64.

[32] Ceuppens J, Wopereis MCS.Impact of non-drained irrigated rice cropping on soil salinization in the Senegal River Delta[J]. Geodemra, 1999, 92:125~140.

[33] Sehofield R, Thomas DSG, Kirkby MJ.Causal porcesses of soil salinization in Tunisia, Spain and Hungary[J]. Land Degradation Develpoment, 2001, 12(2):163~181.

[34] Mehta S, Fyrar AE, Brady RM, et al. Modeling regional salinization of the Ogallal aquifer, Southern High Plains, TX, USA[J]. Journal of Hydrology, 2000, 238:44~64.

[35] 张妙仙,杨劲松.地下水埋深对土壤及地下水盐分影响的信息统计分析[J].土壤,

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com