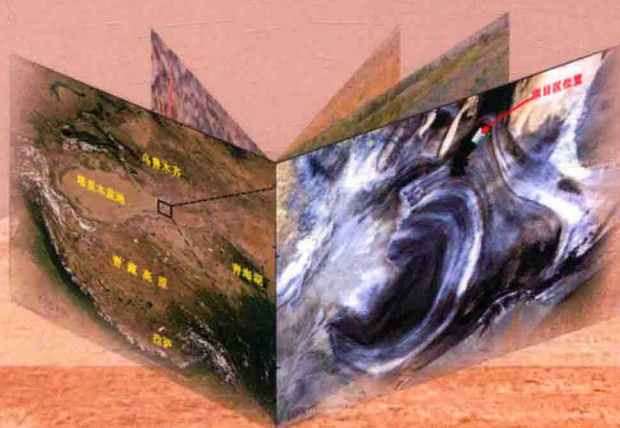


罗布泊中部地区的极端环境与 植物引种驯化研究

孙永强 李从娟 赵元杰 罗西超 等 编著



非外借



科学出版社

罗布泊中部地区的极端环境与 植物引种驯化研究

孙永强 李从娟 赵元杰 罗西超 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书由孙永强、李从娟、赵元杰和罗西超等编著,是在国家自然科学基金项目、新疆维吾尔自治区科技支撑项目以及国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司的大力支持下取得研究成果的集成。全书共分 12 章,对罗布泊地区自然环境特点进行了梳理,重点对罗中地区重盐碱环境下植物的引种、驯化、种植、管理和应用示范等进行了介绍,同时也对极端条件下植物与环境相互作用的原理进行了探讨。

本书可供生态学、地理学以及与干旱区研究相关的科研工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

罗布泊中部地区的极端环境与植物引种驯化研究/孙永强等编著. —北京:科学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-03-057231-8

I. ①罗… II. ①孙… III. ①植物-种质资源-研究-新疆 IV.① Q948.524.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 083454 号

责任编辑:何雯雯,王希挺/责任校对:刘凤英

责任印制:李 冬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京科信印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 5 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:330 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

罗布泊地区属于极端干旱的荒漠区，是亚洲大陆的干旱中心、塔里木盆地的积盐中心、东亚沙尘暴的重要源区、古丝绸之路的重要通道，也是我国生态环境最为脆弱的地区之一。早在 2002 年，中国科学院学部西北干旱区生态环境建设与可持续发展咨询考察组就提出了“塔里木河下游及罗布泊地区生态重建与跨越式发展”的“新楼兰工程”，为该地区的生态建设和社会经济发展搭建了理论框架，其中的重点便是生态建设。2013 年，习近平总书记提出的“一带一路”战略构想为丝绸之路的复兴提供了重要机遇，也为广大的科技工作者深入研究罗布泊地区的生态环境理论与生态建设技术提供了新的平台。

罗布泊地区钾盐分布很广，含量较丰富，资源储量巨大。目前，已建成的国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司是我国乃至全球最大的硫酸钾生产基地。通过耐盐植物引进筛选、小区试验和植被重建技术的研发，开发出适宜该地区种植的盐生植物、重盐碱地改良技术和植被重建配套技术等，不仅能够改善基地干部职工的生产生活环境，而且能为新疆盐碱地的改良利用提供技术支撑，为干旱区的可持续发展提供借鉴。

项目组成员在极端恶劣的条件下，研究罗布泊重盐碱地区植物引种、驯化与管理等，并从生理生态两方面对极端干旱和重度盐碱环境条件下的植物生长发育进行系统观测，取得了丰富的成果，值得祝贺。但由于时间短暂，没有解决的科学和技术问题仍然很多，需要包括项目组成员在内的科技工作者们继续努力，为罗布泊地区社会经济持续发展和生态环境不断改善继续努力。

相信在不久的将来，罗布泊将不再是一块不毛之地，她将会变成荒漠中的一块绿洲。将不毛妆成锦绣，把荒漠绘成丹青，罗布泊将成为一颗熠熠生辉的沙海遗珠。

夏训诚
2017 年 8 月

前 言

在罗布泊这种极端恶劣的环境下，植物难以生存。据统计，罗布泊地区现有植物种类约占新疆维管束植物的 1%、全国的 0.13%，是国内植物种类最少的地区之一。特别是“大耳朵”区域，几乎寸草不生，被称为“生命禁区”。多年以来，其恶劣的水土条件被视为“绿化禁区”。但它却是古丝绸之路的咽喉地带，是连接亚洲、非洲、欧洲的东西交通要道，人类历史文化最长的大动脉，几千年来在世界历史上留下了光辉灿烂的一页，具有重要的经济和战略地位。因此，在该区开展植物引种驯化与植被重建研究工作不仅有利于极端环境的生态恢复，而且对于提升我国盐碱土改良和盐生植物资源开发管理的整体水平有重要意义，也能为“一带一路”生态环境建设和资源开发利用提供示范。

罗布泊地区赋存独特的自然资源。罗布泊地区钾盐分布很广，含量较丰富，钾资源储量巨大。目前，已建成的国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司是我国乃至全球最大的硫酸钾生产基地。但罗布泊严酷的生态环境条件已严重地影响到矿区的生产和生活，企业迫切需要绿化盐碱地，改善周边环境。强烈的社会需求和基础条件的改善，为在该地区进行系统的环境观测和植物的引种驯化研究提供了可能。

在国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司的大力支持下，在国家自然科学基金联合基金重点支持项目（U1303285）、新疆维吾尔自治区科技支撑项目（201433113）、国家“万人计划”后备人选科技创新领军人才项目（QN2016BS0162）、中国科学院青年创新促进会人才项目（2017476）、阿拉善肉苁蓉高产稳产及种源基地建设示范等项目的共同资助下，在罗布泊“大耳朵”及其周边区域进行了自然环境的系统观测和植物引种驯化研究，并取得了丰富的成果。

本研究的技术力量依托中国科学院新疆生态与地理研究所、国家荒漠-绿洲生态建设工程技术研究中心、河北师范大学等。该研究团队的主要成员有孙永强、李从娟、张恒、王世杰、范敬龙、王海峰、赵元杰、默文平等。其中，孙永强博士为中国科学院新疆生态与地理研究所副研究员、新疆农业大学硕士生导师，现任国家荒漠-绿洲生态工程中心副主任，针对罗布泊地区极端干旱盐碱环境人工植被种植及生态恢复等技术难题，通过为期 5 年的罗布泊地域盐生资源植物引种利用与生态建设技术开发试验，开展荒漠植物及盐生植物的引种、驯化、种植、栽培和管护等，筛选出在罗布泊地区补充灌溉可以生存的抗逆植物种 30 余种，打破了罗布泊“死亡之海”及“生命禁区”的魔咒，开发出了极端干旱盐碱环境条件下植物种植和维护管理技术，建成了罗布泊生态建设的先导示范区，形成了罗布泊生态建设和基地绿化的技术体系。为今后矿区基地绿化和罗布泊地区生态建设工程提供技术支撑和示范样板，提升了新疆盐碱地的改良水平。为今后“一带一路”沿线类似环境地区盐生资源植物开发利用、生态建设和基地绿化等提供了科技支撑和示范样板。

本书前言由孙永强、赵元杰、雷光元执笔。第一章由孙永强、赵元杰、李从娟、雷光元、王世杰执笔。第二章由赵元杰、范敬龙、王海峰、罗西超、徐新文、李菊花执笔。第三章由赵元杰、孙永强、雷光元、张恒、谢贻军执笔。第四章由赵元杰、张恒、赵江涛、李从娟、王世杰执笔。第五章由李从娟、张恒、孙永强、王世杰、王海峰、赵江涛、肖新光执笔。第六章由张恒、李从娟、孙永强、高培、赵江涛、谢贻军执笔。第七章由李从娟、孙永强、罗西超、王世杰、范敬龙、赵江涛执笔。第八章由李从娟、孙永强、罗西超、张恒、党延喜执笔。第九章由李从娟、李守江、范敬龙、高洁、罗西超、高培、默文平执笔。第十章由王世杰、孙永强、李从娟、罗西超执笔。第十一章由王世杰、李从娟、徐新文、党延喜、罗彦强执笔。第十二章由王世杰、孙永强、张恒、党延喜、谢贻军执笔。孙永强、李从娟、赵元杰负责全书统稿，徐新文、孙永强、罗西超、王世杰、张恒、高洁、范敬龙、姜峰、赵江涛、党延喜、肖新光等提供部分照片，李从娟、王世杰、范敬龙、高洁、高培等负责图表的清绘工作。

作者

2017年11月

目 录

前言

第一章 研究背景及研究意义	1
第一节 研究背景	1
第二节 研究的必要性与意义	2
第三节 盐碱土改良及盐生植物开发利用研究进展	4
参考文献	9
第二章 罗布泊中部地区极端干旱气候	11
第一节 气温	11
第二节 降水	13
第三节 相对湿度	14
第四节 风况	15
第五节 气候变化	16
参考文献	18
第三章 罗布泊中部地区干旱地貌	19
第一节 罗布泊西岸地区河湖地貌	19
第二节 罗布泊雅丹地貌	23
第三节 库姆塔格沙漠	25
第四节 盐壳	26
参考文献	29
第四章 罗布泊中部地区土壤与植被	30
第一节 罗布泊中部地区的盐化土壤	30
第二节 罗布泊中部地区的植物类型及其分布	33
第三节 主要植物种类及其生理生态特征	34
第四节 新疆盐生植物开发利用现状及前景	45
参考文献	51
第五章 罗布泊中部地区植物引种试验示范区建设	54
第一节 生态恢复与重建工程建设意义与原则	54
第二节 盐碱土改良技术的借鉴与启示	55
第三节 试验示范区的规划与布置	61
第四节 全隔离客土引种试验基地建设	63
第五节 不同隔离方式植物引种试验区建设	69
第六节 原状土植物引种及土壤改良试验地建设	71
第七节 试验示范区的扩建与重整	73
参考文献	76
第六章 罗布泊中部地区植物引种试验观测	78
第一节 基地小气候观测	78
第二节 植物生长动态观测	83

第三节 土壤水分和养分观测	87
第四节 土壤水盐动态及植物生理生态观测	89
参考文献	94
第七章 罗布泊中部地区不同种植方式对引种植物的影响	96
第一节 不同种植方式下植物在 2013 年长势分析	96
第二节 不同种植方式下植物在 2014 年长势分析	113
第三节 沟状客土滴灌林地土壤水分动态及其对植物生长的影响	117
参考文献	121
第八章 罗布泊中部地区不同土壤条件对引种植物的影响	122
第一节 苗木存活率	122
第二节 客土及隔离对植物生长状况的影响	123
第三节 土壤改良对植物生长状况的影响	130
第四节 氮肥添加及干旱胁迫对植物营养与土壤肥力的影响	137
第五节 原状土区植物生长对土壤的改良作用	138
参考文献	140
第九章 罗布泊中部地区引种植物极端环境适应性种植及其生态效应	142
第一节 引种植物种子萌发实验	142
第二节 盐地碱蓬对高盐碱土环境的适应性	146
第三节 干旱胁迫下梭梭的光合生理特征	150
第四节 暗管排盐技术处理前后的土壤养分变化	156
第五节 主要引种植物叶片生理生化指标的主成分分析和聚类分析	157
参考文献	164
第十章 罗布泊中部地区极端环境植物引种与种植关键技术	168
第一节 重盐碱地客土改良技术	168
第二节 原状土种植技术	171
第三节 苗木防风养护技术	174
第四节 盐碱土壤透气技术	176
第五节 高盐碱环境盐生植物引种筛选与种植技术	177
参考文献	195
第十一章 罗布泊中部地区引种植物管护措施	196
第一节 灌溉系统维护	196
第二节 引种植物日常管护	199
第三节 水肥管理	201
第四节 防高温和保水措施	202
第五节 盐尘防护	203
第六节 除草与病虫害防治	204
第七节 种植场地日常管护	205
参考文献	207
第十二章 罗布泊中部地区植物种植技术推广示范	208
第一节 罗中钾盐矿区综合区新食堂公共用地绿化工程	208
第二节 罗中钾盐矿区综合区办公楼与食堂之间公共用地绿化工程	210
第三节 植物绿化效果	212
致谢	217

第一章 研究背景及研究意义

第一节 研究背景

随着全球人口增加及可再生资源的破坏,造成了许多如森林毁坏、土地退化、荒漠化等生态环境问题;工业化、城镇化进程不断加速,耕地面积不断减少,但粮食需求量仍在不断增加,对土地的需求也不断地增长和向多样化发展,中国要守住 18 亿亩耕地红线的任务极其艰巨!

我国干旱区是耕地等后备资源最为丰富的地区之一。但干旱地区生态环境脆弱,在开发利用自然资源的同时,必须充分注意生态环境的保护,使其持续平衡和稳定发展,达到良性生态循环。

依据《中国 1:100 万土地资源图》土地资源数据集,中国盐渍土面积 $3630.53 \times 10^4 \text{hm}^2$, 占全国可利用土地面积的 4.88%。西部六省区(陕、甘、宁、青、内蒙古、新)共有盐渍土 $2506.33 \times 10^4 \text{hm}^2$, 占全国盐渍土面积的 69.03%。其中,新疆盐渍土面积最大,达到 $1336.11 \times 10^4 \text{hm}^2$, 占可利用土地面积的 19.75%, 占全国盐渍土总面积的 36.8%。对盐渍土资源的开发和合理利用是解决我国耕地资源不足的一个重要途径,但亟待开展相关理论和技术的研究。

罗布泊位于欧亚大陆腹地、塔里木盆地的最东端,南靠阿尔金山,北邻天山南支(库鲁克山),东抵北山,西为塔克拉玛干大沙漠,干涸前湖面面积约 5400km^2 , 地面海拔约 780m, 是塔里木盆地的汇水和集盐中心(图 1.1)。

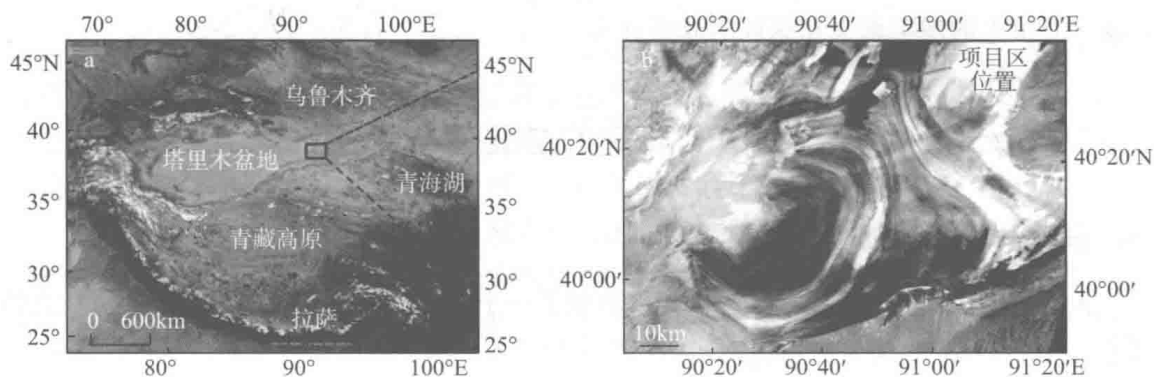


图 1.1 研究区地理位置

罗布泊地区表现为极端干旱、饱和盐渍土、盐尘、温差大、低营养的极端生态环境。在此区域开展盐生植物资源引种研究的目的在于:①研究极端高盐环境下,盐渍土的开发和合理利用途径,揭示盐生植物的生长和适应规律。②改善罗布泊钾盐矿区荒漠生态景观和小气候,使工作生活在矿区的职工能够看到绿色,生产和生活环境得到改善。

罗布泊“大耳朵”湖盆深约 5.2m,西南陡,东北缓,西南平均坡度 0.19%,东北平均

坡度 0.09‰, 为一偏心的浅水湖盆, 湖盆最低处位于湖心 (90.455°E, 40.186°N) 处, 从湖盆外缘到湖心, 高程依次降低, 呈自然过渡形态, 并未发现湖心高岛的存在。干涸后的罗布泊“大耳朵”构造在影像上较稳定, 是目前塔里木盆地硫酸钾资源最为丰富的区域。

国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司地处罗布泊“大耳朵”区域, 是我国最大的硫酸钾生产企业。目前已具备年产 130 万吨的产能, 未来总产能将扩大至 300 万吨/年, 成为全球最大的硫酸钾生产企业, 对国家经济社会、科技发展等意义重大。除主业外, 公司经营层积极探索, 瞄准盐渍土与盐生资源植物开发和利用, 为企业创造新的经济增长点, 让罗布泊从昔日的“死亡之海”变成造福新疆乃至全国各族人民和服务于“三农”的“幸福之海”, 也为国家和自治区相关科研项目的开展提供了实践基地。

通过“罗布泊地域盐生资源植物引种利用与生态建设技术开发试验研究”项目的实施, 筛选出在罗布泊可以生存的高抗逆植物, 开发出在这种极端环境条件下植物种植和维护管理技术, 建成罗布泊生态建设先导示范区, 形成罗布泊生态建设和基地绿化的技术体系, 最终让矿区出现绿色, 使在罗布泊腹地工作生活的广大职工的生产和生活环境得到初步改观, 为今后罗布泊及类似地区盐生植物资源的开发利用、生态建设和基地绿化等提供科技支撑和示范样板。其中初步解决的关键科学问题包括: 筛选、培育出适宜罗布泊极端干旱、盐碱和盐尘环境下生存的高抗逆植物种, 罗布泊极端恶劣的环境条件下植物种植和绿地可持续管护技术, 极端干旱、盐碱和盐尘环境下盐渍土、客土和改良土条件下的水盐交换变化规律及其对植物生长的影响过程, 罗布泊极端恶劣环境条件的基地绿化和生态建设技术体系。

本项目研究成果, 不仅能为极端干旱、饱和盐渍土、盐尘、温差大的地域应用提供技术支持和示范样板, 相当于“重造一份中国耕地”, 为在生态环境类似的地区推广运用奠定了科学基础; 而且通过罗布泊盐渍土盐生植物资源引种研究项目的开展, 产生了直接的经济效益和重大的生态社会效益, 为推进我国生态文明建设、破解经济社会前进中的种种难题, 有重大的现实意义和深远的战略意义。

第二节 研究的必要性与意义

一、国际干旱区生态建设发展需求

人类进入 21 世纪, 科学技术的发展达到了一个新的阶段, 极大地推动了经济社会的进步。另一方面, 人类生存面临的问题仍然十分突出, 如气候变化、土地沙漠化、盐碱化、环境污染等。在发展中国家, 由于人口数量日益增长, 耕地面积不断减少, 大量森林、草地、湿地等被开垦为耕地, 破坏了原有植被和土壤结构, 导致生态系统单一化、土地盐碱化。在 2002 年 9 月约翰内斯堡召开的第二次国际可持续发展会议指出: 继第一次国际可持续发展会议 (1992 年, 里约热内卢) 10 年之后, 全球面临的人口-环境-资源问题更加严重, 其中土壤盐碱化和次生盐碱化问题在世界范围内广泛存在, 特别是在干旱、半干旱地区问题更为严重。据联合国教科文组织 (UNESCO) 和联合国粮农组织 (FAO) 不完全统计, 全世界盐碱地面积为 $9.54 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 占全球陆地面积的 10%, 广泛分布于 100 多个

国家和地区。而且,全球盐碱地以每年 $1.0\times 10^6\sim 1.5\times 10^6\text{hm}^2$ 的速度在增长。土壤盐碱化和次生盐碱化问题,已经成为一个世界性的资源和生态问题。为此,查清盐碱地的资源现状、探讨盐碱土的成因和特征、研究盐碱地的改良利用,对缓解土地资源压力、改善生态环境是十分必要的。

二、我国生态建设发展的迫切需要

目前,我国盐碱地为 $9.913\times 10^7\text{hm}^2$,并且还存在约有 $1.733\times 10^7\text{hm}^2$ 的潜在盐碱地。我国盐碱土和盐碱化土壤的形成,大部分与土壤中 Na^+ 的累计有关,因而盐碱化度普遍较高,严重的盐碱土壤地区植物几乎不能生存。土壤盐渍化,让大量的土地资源荒芜,让生态环境更恶劣,让盐碱地区的人民群众贫困程度加剧。目前,随着科学技术的发展,盐碱地已经逐步成为很珍贵的土地资源,因为有许多生物包括盐生植物、微生物,都可以适应这一环境,形成独特的生物资源。利用这一资源的根本途径在于恢复植被,改善土壤结构。其中,利用盐生植物对盐碱地进行绿化是重要的措施之一,它不仅可以改善环境,调节小气候,而且可以直接利用盐碱地生产所需产品,增加供给,减轻耕地压力,还可以增加就业,吸收剩余劳动力,提高农民经济收入;并且,越来越多的科技工作者正以满腔的热情投入到治理盐碱地的工作之中,并取得了丰富的成果。可以说,盐碱土的治理是我国生态建设的迫切需要。盐土农业的开发和生态建设是新疆经济建设和生态立区的重要举措,也是一个新的增长点,对新疆生态恢复和环境保护都将产生重要的影响。

三、新疆盐碱地改良利用关键技术研制的需要

新疆是中国荒漠化大区,也是中国最大的盐土区,面积达 $1.1\times 10^7\text{hm}^2$,约占全国盐土面积的 $1/3$ 和新疆土地面积的 6.6% ,现有耕地的 $1/3$ 面积存在次生盐渍化,成为新疆农业低产的主要原因。“盐渍化”面积大、种类多,被外国学者称为“世界盐渍土博物馆”。目前,在新疆 $1.7667\times 10^7\text{hm}^2$ 的后备耕地资源中,有 90% 的盐碱地因为缺水而得不到开发。随着新疆国民经济和社会的快速发展,人口增长和耕地减少的矛盾日益突出,这种严峻形势迫使人们在控制人口、节约耕地、提高土地产出的基础上寻求并开发新的土地资源和改善生态环境。因此,在罗布泊腹地重盐碱地上开展适宜植物的种植技术、土壤改良和植被重建等关键技术的研发,将为新疆盐碱地的持续改良利用提供有益的技术支撑。

新疆盐碱危害造成大量中低产田和农民贫困,使大面积土壤资源难以利用,农业综合生产能力下降,严重影响农业生产发展和农民生活水平的提高。因此,新疆早在“十一五”规划中确定的重点内容之一就是大力开展盐碱地的综合治理工作。目前,盐碱地改良利用规划编制工作正式启动,伽师、阿图什、库车、尉犁等 6 个盐碱地改良试点区已经开始实施。新疆盐碱地改良利用工作的启动,对于我国内陆干旱灌区农村经济可持续健康发展、国土治理、生态环境保护等具有重要意义。

四、罗布泊地区重要矿产资源开发和改善生态环境的当务之急

罗布泊地区属于极端干旱的荒漠区,是全球最干旱的地区,被称为地球的“旱极”。特别是干涸的湖盆区,无地表水,地下水位很高,且为咸水;降水量仅 $10\sim 20\text{mm}$,蒸发量在 3000mm 以上,干燥度可达 $30\sim 60$,相对湿度在夏季几乎为 0 ,植物难以生存。多年以

来,其恶劣的水土条件被视为“绿化禁区”。但它却是古丝绸之路的咽喉地带,是连接亚洲、非洲、欧洲的东西交通要道,是人类历史文化最长的大动脉,几千年来在世界历史上留下了光辉灿烂的一页,具有丝绸之路重要的经济和战略地位。

罗布泊地区钾盐分布很广,含量非常丰富,钾资源储量巨大。目前,已建成的国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司,是我国乃至全球最大的硫酸钾生产基地,缓解了我国钾肥资源严重紧缺的状况。但罗布泊严酷的生态环境条件已严重地影响到矿区的生产和生活,迫切需要绿化盐碱地,改善周边环境。当务之急就是尽快在原有耐盐植物引种选育的基础上,通过耐盐植物引进筛选、区域试验和植被重建技术的研发,提供适宜该地区种植的盐生植物、重盐碱地改良技术和植被重建配套技术。

五、研究意义

罗布泊地区曾经生态环境良好,孕育出楼兰古文明。之后却河流断流,湖泊干涸,加之气候极端干燥,灌溉水源缺乏,盐碱较重,风沙活跃,土地荒漠化严重,对农林牧业生产带来很大困难,尤其对农业发展不利,影响着当地人民生活与社会经济发展,威胁国道畅通,生态环境亟待重建。但其具有丰富的矿产、光热和土地资源,有利于发展适宜的盐生植物,重建盐生植被。因此,在罗布泊腹地开展盐生植物种植,盐生植物资源利用,建立盐生植被技术的试验研究,不仅对于改善当前罗布泊腹地钾盐矿区的周边生态环境、调节小气候、保障矿区生产具有实用价值,也能为今后扩大罗布泊地区的生态建设工程,发展盐生植物产业提供技术支持和示范。对于提高盐碱土地的利用率,开发新的土地资源,再建一个绿色的罗布泊,带动地方经济的发展,提高农民经济收入均具有重要的现实意义。同时,对新疆、我国乃至国际的盐碱地改良和利用可提供有益的借鉴,产生积极的影响。

第三节 盐碱土改良及盐生植物开发利用研究进展

一、盐碱土改良研究进展

土壤盐渍化是一个世界性的资源问题和生态问题。据世界粮农组织和教科文组织的统计,全球有各种盐渍土约 $9.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 占全球陆地面积的 10%, 广泛分布于 100 多个国家和地区(萨伯尔奇, 1987)。而且, 由于土壤的次生盐渍化, 世界盐渍土面积还在不断增加。据统计, 巴基斯坦 $233.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 总灌溉土地中, 次生盐渍化面积达 $35.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$; 叙利亚每年约有 2000 hm^2 土地因次生盐渍化而丢弃; 美国每年新增盐渍土约 $8.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 至 $12.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。来自世界粮农组织和教科文组织的一项统计报告表明, 全球灌溉土地面积中, 约 50% 的土地不同程度上遭受着次生盐渍化和水淹的危害, 每年约有 $1.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 的土地由于土壤的次生盐渍化而丢弃。在我国, 20 世纪 70 年代中后期莱州湾地区发生的海水入侵灾害, 导致约 3330 hm^2 土地次生盐渍化, 因土壤盐渍化每年减产粮食达 20%~40%, 十年间造成经济损失数十亿元, 土壤中有机质、速效磷、速效氮和全氮含量大幅度下降, 区域生态系统遭到严重破坏; 更值得警觉的是, 土壤盐渍化总是多发生在干旱、半干旱地区的绿洲地带, 以及经济比较发达的沿海地区、各大河流、三角洲和土壤肥沃的冲积平原, 其

生态破坏性和对人类生存的危害显而易见。美索不达米亚地区早期文明的衰退就被认为是土壤盐渍化的结果。另据联合国环境规划署 (UNEP) 1997 年的调查统计, 在旱地土壤退化中, 因土壤盐渍化造成的荒漠化土地约为 $111.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 仅次于风蚀和水蚀, 居第三位。而土地荒漠化是目前世界上最严重的资源与环境问题之一, 仅 1984~1985 年, 因土地荒漠化导致非洲约 1000 万人离乡背井, 约 3000 万人因此遭受饥饿, 因荒漠化每年生产损失达 260 亿美元, 为防止荒漠化, 每年还要投资 45 亿美元。这些实例表明, 土壤盐渍化已经并还在成为危及人类生存的重大资源与环境问题。土壤盐渍化这一古老的生态灾难再一次向人类敲响了警钟。

总结已有经验, 人类治理和利用盐渍土不外乎两种途径, 一是基于对盐渍土本性的探索和认识, 通过工程的、化学的和物理的措施, 治理和改良盐渍土, 使其适应更多作物的生长; 二是通过对植物抗盐机理的深入研究, 选择、引种和培育新的抗盐经济作物, 使其适应盐渍土环境。对第一种途径的探索和尝试, 可以说人类付出了巨大努力。目前对盐渍土的形成机理、发生发展规律已经有了深刻的了解, 工程治理盐渍土在某些地区也取得了成功。然而, 在盐渍土治理过程中, 人们发现, 抬高地面、淡水压碱、淡水洗盐等工程治理措施的应用, 受到气候、水文等条件的严重限制, 它只适合于降水较多和淡水资源丰富的地区, 而且投资巨大, 并易造成土壤返盐。经历长期、反复的探索和实践之后, 20 世纪 50 年代联合国教科文组织提出对盐生植物的开发利用进行研究, 90 年代由美国国家研究委员会国际事务办、国际科技开发办 (BOSTID) 组织多国专家小组正式提出了盐土农业的概念, 标志着第二种途径越来越引起人们的重视和青睐。开发利用盐生植物, 发展海水灌溉农业和盐土生态农业成为目前人们关注的热点。

新疆维吾尔自治区是我国盐渍土分布最广、面积最大的省级行政区, 也是世界上盐渍土分布比较集中的地区, 区内蕴藏着极为丰富的盐生植物资源, 是区域未来经济发展宝贵的潜在资源。由于土壤盐渍化是导致新疆土地荒漠化的第二位要因, 因此, 盐渍化土地的生态建设关系到新疆生态建设和环境治理的成败。随着西部大开发的持续深入, 对新疆盐生植物资源的认识、了解和开发利用必将成为新疆未来经济发展和环境治理的关键环节。此外, 对新疆盐生植物生物多样性的调查了解也将为世界盐生植物资源数据库的建设提供基础资料, 为人类更全面、更客观地了解盐生植物资源及其分布提供帮助。

二、盐生植物开发利用研究进展

关于盐生植物的概念, 目前有着不同的定义。实践中, 人们常把生长在盐沼、盐碱荒漠等含盐环境中的植物统称作盐生植物。19 世纪, 阿拉伯人把体内含盐的植物称为盐生植物; 相应地, 不含盐的植物称为甜土植物。1809 年, Pallas 给盐生植物的定义是: 生长在盐渍环境中的植物。Waisel (1972) 把盐生植物定义为: 在高含盐生境中生长并完成其生活史的植物。Aronson (1989) 提出盐生植物是指只在盐渍生境中生长的植物。1980 年, Greenway 给盐生植物的定义则是: 能在 3.3bar (相当于 70mmol/L 单价盐) 渗透压盐水生境中自然生长的植物区系。Gorham (1995) 给盐生植物下了一个更加确切的定义: 能耐 0.5%NaCl 的植物叫做盐生植物。目前, Greenway 的定义被较多地采用 (赵可夫和李法曾, 1999)。从以上这些定义不难看出, 人们对盐生植物主要有两种不同的理解: 一种理解是

只要能在盐渍土中生长并完成其生活史的植物就称为盐生植物，这一理解没有规定盐渍环境的含盐量，把许多较耐盐的非盐生植物也划归盐生植物的范畴，显然不够科学；Gorham（1995）和 Greenway（1980）的定义规定了盐渍环境的含盐量，但却忽略了盐渍土类型。因为绝大部分盐生植物在不同类型的盐渍土环境中，其耐盐能力差别很大，因而，Gorham 和 Greenway 的定义也不够全面，而且野外应用也很不方便，比较适合对室内水培或土培植物的划分。更科学的定义应该根据植物在不同盐渍生境中的耐盐能力来划分，然而这一划分首先要基于对众多植物耐盐生态生理及耐盐能力的测试和排序，但目前仅有很少一些植物的耐盐能力进行过测定。因此，根据植物的耐盐能力划分盐生植物还缺乏必要的研究积累。显然，对盐生植物的划分标准还有待于进一步研究和探讨。

目前，关于盐生植物的起源主要有两种不同的观点：一种观点认为盐生植物的进化可能是一种次生进化，亦即由非盐生植物进化而来，进化过程为：海藻—淡水藻—甜土植物（被子植物、裸子植物、蕨类、苔藓）—陆生盐生植物—海生大型植物。然而，相反的观点则认为非盐生植物是从盐生植物进化而来，这一观点的支持证据主要有：对芒麦草起源的认识，对栽培甜菜祖先盐生甜菜的发现，以及非盐生植物抗盐机理—脉内在循环的发现（赵可夫和李法曾，1999）。

盐生植物生物多样性及其资源状况的研究是盐生植物研究领域一项很基础的研究内容。为此，许多有盐渍土分布的国家和地区都曾对区域盐生植物种类及资源状况进行过调查，其中研究比较深入的国家和地区主要有印度、澳大利亚、巴基斯坦、以色列、墨西哥、北美、非洲、地中海、埃及等。表 1.1 列出了世界及几个主要国家和地区的盐生植物种类资源。根据这些区域性的调查研究结果，盐生植物区系组成有一个很明显的特征：尽管盐生植物物种比较丰富，但却集中分布于藜科、禾本科、菊科、豆科、白花丹科和怪柳科等几个少数科中，裸子植物中很少见到盐生植物，表明盐生植物区系组成的优势现象明显。

Aronson（1989）在查阅了世界许多国家和地区盐生植物资源文献的基础上，编撰了

表 1.1 世界主要国家和地区盐生植物种类

国家或地区	种类			文献出处
	种	属	科	
全球	2600	776	126	Menzel and Lieth,1999
全球	6000			Houerou,1993
全球	1560	550	117	Aronson,1989
埃及	80	32	17	Shaer and Gihad,1994
北美	200			Glenn et al,1994
地中海	1100			Houerou et al,1994
保加利亚	115			Khristo,1974
中国	423	199	66	赵可夫和李法曾，1999
阿拉伯	150	55	22	Batanouny,1994
南美	>150			Brevedan et al,1994
巴林岛	97			Abbas and El Oqlah,1992

《世界盐生植物数据库》一书,收集记载盐生植物种 1560 余种,分属 117 科、550 余属。该书被认为是盐生植物种类及资源研究的经典之作,尽管研究人员普遍认为该书收集到的盐生植物种类还很不全面(赵可夫和李法曾,1999)。根据 Aronson (1989) 的统计,世界 1560 余种盐生植物中,沉水植物 6 科 40 余种,低海岸盐生植物 8 科 12 属。从对这些盐生植物的生活型分布看,大约 90% 的种为多年生植物,一年生植物及其他类型的种占 10%~12%。多年生植物中,乔木与灌木约占 47%;从科属分布看,绝大部分为被子植物,被子植物中又以双子叶植物居多;被子植物中约 1/3 的科属有盐生植物分布,约一半的盐生植物集中分布于 20 个科中,其中藜科植物中盐生植物分布最多,仅滨藜属植物就有 400 余种,其次是番杏科、石竹科、十字花科、禾本科、菊科、豆科和白花丹科。裸子植物中很少有盐生植物分布,目前记载的仅 4 属。缺乏比较进化的气孔和表皮被认为是裸子植物中很少有盐生植物分布的主要原因。

在 Aronson (1989) 研究统计的基础上, Menzel 和 Lieth (1999) 将世界盐生植物的记载增加到 2600 种、776 属、126 科,这是目前有关盐生植物记载最全的名录。该名录中同时记载了部分盐生植物的耐盐能力,但未注明盐生植物的生活型、用途、分布,也缺乏图片等。根据该名录与中国盐生植物和新疆盐生植物的比较分析发现,我国许多盐生植物未被收录,表明该名录所收集的盐生植物也还不全面,人类对世界盐生植物的认识和了解还很欠缺。

赵可夫和李法曾 (1999) 通过多年的调查研究,编撰了我国第一部盐生植物专著,书中收集盐生植物 423 种(包括变种),隶属 66 科、199 属。该书填补了我国在盐生植物种类方面的研究空白。书中约 300 种没有被 Aronson (1989) 的《世界盐生植物数据库》一书收录。

综合目前区域性及世界范围内盐生植物调查研究的结果可以发现,尽管盐生植物物种十分丰富,但在盐渍生境中能够形成优势群落或成为优势种的植物主要是藜科中的滨藜属、藜属、碱蓬属、猪毛菜属、盐角草属、盐节木属、盐穗木属,禾本科的碱茅属、鼠尾粟属、网茅属、大米草属,以及菊科、豆科、白花丹科、怪柳科等植物。这些群落优势种主要是多年生植物,很少有一年生植物和裸子植物。一年生植物在盐渍生境中很少形成优势群落,可能是植物种子耐盐能力较低,在干旱、盐渍环境中难于萌发的缘故。

三、盐生植物的开发利用现状

人类对盐生植物的利用由来已久。近几十年来,迫于人口增长、耕地减少、粮食不足、资源短缺和生态破坏等问题,盐生植物的开发利用逐渐引起全社会的普遍关注。以色列、美国、墨西哥等许多有盐渍土分布的国家和地区纷纷开展盐生经济植物的筛选与培育试验,很多盐生植物的利用价值被评估,海水灌溉农业也应运而生,一些盐生经济植物可望在海水灌溉条件下驯化成栽培作物。盐生植物及盐渍土的开发利用为人类解决耕地问题、粮食问题、资源问题和生态问题等带来了希望。

盐生植物的用途是多方面的。综合目前的研究文献,盐生植物广泛应用于饲料牧草、粮食、油料、园艺、薪柴、蔬菜、化工、医药以及植被恢复与生态建设等各个方面。

盐生植物一直是盐渍土地区主要的饲料牧草资源。在干旱半干旱的盐渍土地区,大部

分盐生植物是天然的饲料牧草。近年来,许多发展中国家都在致力于优质盐生牧草植物的引种和种植,许多牧草被证明可以在中、重盐渍土上生长。澳大利亚种植盐生植物 *Maireana brevifolia*、*Atriplex amnicola*、*A. undulata* 和 *Halosarcia* spp., 发展畜牧业, 获得良好效果, 农民因此从盐渍土上获得了经济收入。这项技术在巴基斯坦得到推广, 并获得了初步成功。墨西哥在干旱的盐湖地区种植了 20000hm² 的禾本科盐生植物, 起到了良好的防风降尘效果, 同时为牛的饲养提供了优质饲料。在地中海地区, 滨藜属盐生植物被广泛引种, 并用于牧草生产和植被恢复。阿尔及利亚、突尼斯、摩洛哥和利比亚等国家则开展了田间试验项目, 对盐生牧草的适应性进行评估。结果表明, 滨藜属植物 (*Atriplex*) 具有较高的抗旱、抗盐能力, 其中, *A. nummularia* 在利比亚、西班牙、摩洛哥、突尼斯等国家被大面积种植。

盐生牧草植物的营养价值及适口性是优质牧草的重要指标。由于特殊的耐盐机理, 盐生牧草常常积累较多的非蛋白态氮, 如脯氨酸、氨基乙酸等, 因而盐生牧草蛋白质含量一般都很高。滨藜属等一些非豆科牧草叶中粗蛋白含量可高达 10%~20%, 但这些有机氮中大约有一半不能被牲畜利用; 另一方面, 盐生植物叶中盐分含量高 (15%~50%), 降低了牲畜适口性, 这是阻碍盐生牧草发展的一个重要原因。可以作为饲料牧草的盐生植物很多, 但主要是禾本科植物、豆科植物和藜科的滨藜属植物。

盐生植物抵抗盐胁迫需要消耗大量的能量。据 O'Leary (1979) 的估计, 一个大米草群落通过合成脯氨酸和甜菜碱来抵抗盐胁迫, 每公顷要消耗淀粉 1.2t, 因而, 盐生植物的经济生产力一般比较低, 地中海地区一般变化在 0.5~0.9t/hm²。灌溉可显著提高牧草产量, 一般可提高 1 倍左右; 利用海水或高盐水灌溉, 也能获得较高的产量。

利用盐生植物重建盐生植被, 实现盐渍土生态系统的良性循环是盐渍土地区生态建设长期采用的重要措施。阿拉伯地区很久以前就利用怪柳、枣属等盐生植物防风固沙、降低尘埃; 澳大利亚的东南部, 土壤的盐渍化和高地下水位是制约区域农牧业发展的重要环境因素, 曾采用工程排水降低土壤盐分, 但投资大而且占用土地, 种植木麻黄、怪柳、白干层、桉树等深根性盐生植物对降低地下水位和土壤脱盐取得良好效果, 节约了资金和土地。据当地的试验, 种植桉树, 通过植物蒸腾每天排水可高达 25~40L, 是普通草场的 8 倍 (Greenwood, 1986); 在澳大利亚西南部和北非地区, 种植盐生植物排水脱盐也都取得了良好效果。在干旱半干旱地区种植盐生植物, 提高植被覆盖率, 抑制土壤返盐也有很多成功的例子。1971 年, 墨西哥开始了一项盐碱地植被恢复与重建计划, 到 1992 年共种植盐角草属植物 (*Distichlis spicata*) 和怪柳属植物 (*Tamarix* spp.) 5000 余 hm², 其中 60%~80% 的种植地块植被覆盖良好, 起到了良好的土壤脱盐和生态防护效果。

在干旱半干旱地区的发展中国家, 薪柴是农牧民非常关心的问题。根据各地的调查, 盐生植物中有很多种可以作为薪柴经营。Aronson (1989) 在其《世界盐生植物》一书中记载了 290 种具有潜在经济开发价值的薪柴。在干旱半干旱地区, 常见的盐生薪柴主要为怪柳科植物和藜科植物; 在热带、亚热带的滨海地区, 红树则是最常用的薪柴资源。

盐生植物中还蕴藏着许多具有观赏价值的植物, 其中有些盐生观赏植物已经被鉴定。在以色列, 许多项目正致力于耐盐观赏植物的研究开发, 一种盐生观赏植物 (*Maireana sedifolia*) 已经商品化, 生产切花出口欧洲 (Redouane, 1996)。Forti (1986) 报告了许多具有开发价值的耐盐或盐生观赏植物。Lieth 等 (2000) 通过多年的研究筛选出许多盐生观

赏植物,如 *Sesuvium portulacastrum*、*Aster tripolium*、*Limoniastrum monopetalum*、*Batis maritima* 和 *Tamarix nilotica*。这些盐生观赏植物具有很高的耐盐能力,而且具有较高的美化观赏价值,可用于园林绿化、盆景制作等。此外,许多补血草属植物花朵美丽,经久不落,非常适宜于切花生产。

现在,人们对盐生植物的开发利用加快了研究的步伐。20 世纪 70 年代中期开始,美国亚利桑那大学环境研究室用 18 年时间、耗资 2000 万美元从事盐生经济植物的筛选和培育。筛选出的盐生油料经济植物盐角草 SOS-10 新品种,可在 5%盐浓度环境下正常生长,株高达 50cm,产籽量在 $2\text{t}/\text{hm}^2$ 以上,其产量超过或相当于大豆和向日葵;种子含植物油 25%以上,其中亚油酸占 74%左右。经榨油后的盐角草饼中含蛋白质 43.5%,可用作猪牛的饲料,经处理脱除皂甙(saponins)以后还可作为禽类的饲料。该品种开始在印度、沙特阿拉伯、科威特等地推广,中国长江以南地区也开始引种。

在沙特阿拉伯东北海岸 Rasul-Zawr,由伯赫(Behar)公司投资 670 万美元完成了一项完全用海水浇灌盐角草的大规模种植试验。每 50hm^2 土地配置 3 台水泵,以 $28\text{m}^3/\text{min}$ 的速度直接从阿拉伯湾抽取海水,通过一个大型程控中枢灌溉臂架进行浇灌。海水提供了盐角草生长所需的水分和大部分养料,只要适量增施氮肥,盐角草即可旺盛生长。伯赫公司为该项开发计划选定的最优种植指标为 4500hm^2 ,由 90 个大型程控中枢灌溉臂架浇灌。据估计,盐角草一旦扎下根来,在沙特阿拉伯两条干旱、几乎是不毛之地的海岸线上最终可种植 $20.0\times 10^4\text{hm}^2$ 盐角草,每年可生产出 $1.2\times 10^8\text{t}$ 的食用植物油及大量饲料。印度也已完成引种,计划种植 $10.0\times 10^4\text{hm}^2$ 。

除盐角草外,滨藜、碱蓬、海马齿苋等盐生植物的开发利用也受到人们的重视。法国 Le Houerou(2000)报道,海水灌溉种植滨藜每公顷可收获干物质(地上部)10~15t,其中含可消化干物质 40%~70%,粗蛋白 10%~12%。利用海水灌溉种植苇状羊茅、鼠尾粟、车轴草、百脉根、黑麦草、野大麦、草木樨、苜蓿等盐生植物的试验也均获得了初步成功。试验结果表明,用海水灌溉的每公顷干物质产量可达 5~20t,比不灌溉的提高了 50%以上。

在欧洲,人们对盐生植物的开发利用也非常重视。欧洲共同体拿出巨资筛选盐生经济植物,发展盐生经济植物先锋农场,实施“海岛和滨海地区综合生物多样性战略”,从而实现生态的可持续发展。经过多年的努力和多国间的联合工作,培育出了许多适合海水浇灌条件下栽培的盐生观赏植物、盐生食用植物和盐生牧草植物。

在我国,南京大学仲崇信教授 20 世纪 60 年代从英国引种大米草,70 年代在江浙一带大面积推广,江苏、山东一带也有引种,曾经是沿海滩涂重要的群落建群种。20 世纪 90 年代,中国科学院海洋研究所经过多年的研究,提出了一整套盐生植物碱蓬栽培及加工利用的技术方法,为我国开发利用盐生植物奠定了基础。

在盐渍土分布地区,人们还有利用盐生植物防病治病的习惯,许多盐生植物如柃柳、猪毛菜、补血草等被名医广泛应用,但这方面的研究报道很少,也缺乏对盐生药用植物的筛选和培育。可见,盐生植物在各行各业的利用价值甚广,因此,开展盐碱地的改良和盐生植物开发利用有重要意义。

参 考 文 献

陈永志,王弭力,杨志琛,等. 2001. 罗布泊硫酸镁亚型卤水制取钾混盐工艺试验研究[J]. 地球学报, 22(5):