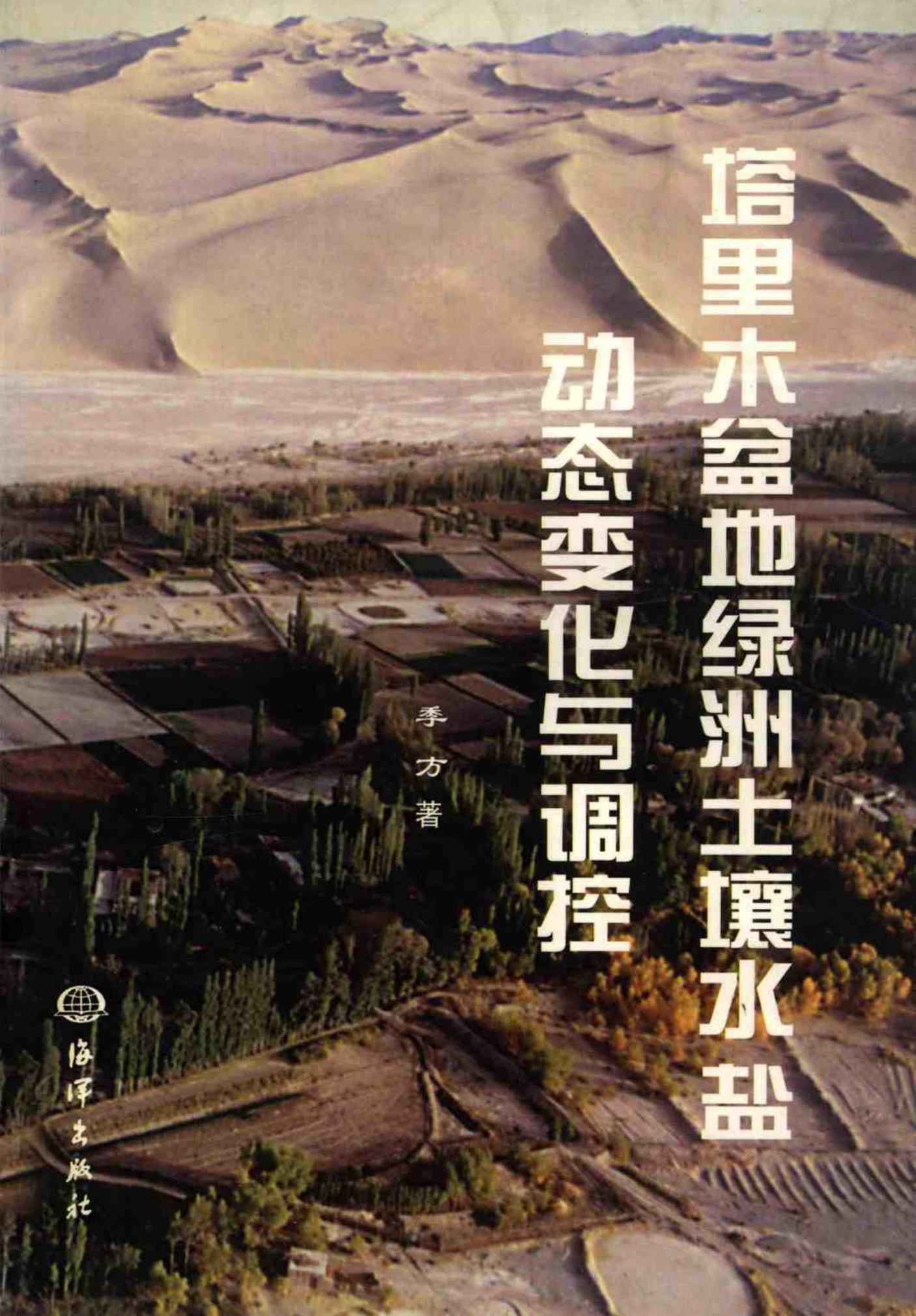


An aerial photograph of the Taram Desert in Xinjiang, China. The image shows vast, rolling sand dunes in the upper half, transitioning into a series of rectangular oases and agricultural fields in the lower half. The oases are characterized by dense green vegetation, primarily poplars, and some smaller structures. The overall scene illustrates the dynamic changes and management of the desert's green belts and water-salt balance.

塔里木盆地绿洲土壤水盐 动态变化与调控

季方著



海洋出版社

塔里木盆地绿洲土壤水盐 动态变化与调控

季 方 著

海洋出版社

2001 年·北京

内 容 简 介

在干旱地区,土壤盐渍化是影响区域农业持续发展的重要障碍因素之一,它的治理是一项长期而艰巨的任务。本书以大量定点观测资料为依据,从多层次、多角度对塔里木盆地绿洲土壤水盐动态变化与调控进行了系统研究。全书共分9章,论述了土壤水盐运动与盐渍化治理研究现状及进展,总结了绿洲土壤水盐运动模式,分析了人工绿洲土壤水盐运动变化过程和节水灌溉条件下人工绿洲水盐运动发展模式、以及冲积平原自然绿洲土壤水分补给和水盐运移,提出了人工绿洲和自然绿洲水盐动态调控与生态保护措施。本书内容丰富,资料翔实,图文并茂,对塔里木盆地农业生产发展,以及区域水土资源开发、环境整治和经济发展,具有重要指导意义和参考价值。

本书可供土壤、环境、生态、水利、农业、国土等学科有关人员及新疆和塔里木地区有关生产部门参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

塔里木盆地绿洲土壤水盐动态变化与调控/季 方著.

—北京:海洋出版社,2001.3

ISBN 7-5027-5224-2

I. 塔… II. 季… III. 塔里木盆地—绿洲—土壤—水盐体系—研究 IV. S151.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 11521 号

<http://www.oceanpress.com.cn>

海洋出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大惠寺路8号)

兰州中科印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2001年3月第1版 2001年3月兰州第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:11

字数:256千字 印数:1~500册

定价:40.00元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

盐渍土分布很广,涉及世界五大洲,从热带到寒带的近百个国家和地区,特别是在干旱和半干旱地区,它不仅面积很大,而且分布集中。在我国,对于土壤水盐运动和盐渍化治理的研究,在黄淮海平原取得了丰硕的成果。而地处于干旱区的新疆,特别是处于极端干旱区的塔里木盆地,虽然通过科学工作者的多年努力,在区域水盐运动和土壤盐渍化治理方面也取得了一些成果,但随着科学技术的发展和生产水平的提高,特别是人们生态环境保护意识的增强,迫切需要对一些新的问题进行深入研究。在20世纪90年代,随着塔里木盆地农田排水系统的初步完善,人工绿洲内部的水盐平衡逐步得到控制,却导致河流成为农田排水的出口,使塔里木河河水水质盐化加重,究其原因缺乏将整个盆地区域作为一个系统进行水盐运动和土壤盐渍化治理的调控。发展节水灌溉是干旱区实现农业持续发展的方向,以往的研究,多是针对干旱和半干旱地区自流灌溉条件下进行的,对节水灌溉条件下水盐运动和土壤盐渍化治理的研究甚少。另外,自然绿洲是农田生态系统的屏障,它的生产力水平和稳定性直接影响到人工绿洲的农业生产。在这一方面的研究也是非常薄弱的环节。本书力图从新形势下,区域土壤盐渍化治理和生态环境保护所面临的问题入手,对以往研究比较薄弱的几个方面进行探讨。

全书共分9章,第1~3章为概论,总结了前人土壤水盐运动和盐渍化治理的成果和进展,分析了研究区域自然和社会经济条件,概述了绿洲土壤水盐运动模式;第4~7章为绿洲水盐运动的具体剖析,分析了近40年人工绿洲水盐运动变化,探讨了节水灌溉条件下土壤水盐运动,论述了自然绿洲的土壤水分补给和水盐运移;第8~9章为绿洲水盐动态调控,着重分析了绿洲水盐动态调控与生态保护。本书受国家自然科学基金项目(49871048)资助,在野外工作和写作过程中得到了龚子同先生和樊自立先生的指导和许多同行们的大力帮助,尽管专著由作者撰写,但研究成果是项目组成员共同努力的结果。宋郁东研究员、刘培君研究员、张立运研究员、杨戈研究员、马英杰副研究员、王让会博士、赵元杰博士、赵虎博士、艾力西尔·库尔班助理研究员在野外定点观测和数据分析上给予了大力帮助,杜力女士、张惠女士、张惠芝女士、常青女士在室内分析和绘图上给予了热忱支持,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所编辑出版部的金炯先生、祝国存女士、孙良英女士和申巧南女士为本书的出版在编辑和图件的处理方面做出的辛勤劳动,在此一并表示衷心的感谢!

在塔里木盆地,土壤盐渍化是影响区域农业持续发展的重要障碍因素之一,所以土壤盐渍化治理是一项长期而艰巨的任务。不同学者从不同角度对土壤水盐运动和调控进行研究,将有助于研究的不断深化。在近几年有关塔里木盆地的多项研究中,笔者根据所遇到的问题,对绿洲土壤水盐动态与调控进行了初步的研究工作。其研究对于宏观问题的分析着眼于整个塔里木盆地,而对具体问题的剖析为了更加深入的研究,主要集中在塔里木河干流区域。在研究方法上,主要侧重定点观测和数据分析。在资料收集上,强调近40年的变化和对比。

作 者

2000年10月于金华

SALT-WATER DYNAMICS OF OASIS SOIL AND ITS MANAGEMENT IN TARIM BASIN

Abstract

According to part statistic data of United Nation's Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) and Food and Agricultural Organization (FAO), the area of saline soils is $9.54 \times 10^8 \text{ hm}^2$ all over the world. The area of saline soils is $0.99 \times 10^8 \text{ hm}^2$ in China. As saline soils have a direct influence on agriculture production, study on the pattern of salt-water movement and the control of salinization is of both theoretical and practical significance. In past decades, a lot of achievements on the pattern of regional salt-water movement and the control of salinization have gained in the Huang-Huai-Hai plain. However, the study on the pattern of salt-water movement and the control of salinization is not enough in the inland arid zone of Xinjiang. Author did some researches on the pattern of salt-water movement and the control of salinization in Tarim Basin in past years. Through field investigation, spots observation and sample analysis, preliminary results are gained as follows:

1. Oasis is mainly located in arid zone and forms a sharp contrast with desert landscape. Basic material source is water, main landscape is vegetation, human activities are concentrated in oasis. According to geomorphological types, oasis may be divided into five types: valley oasis, alluvial fan plain oasis, delta oasis, alluvial plain oasis, and lacustrine plain oasis in the artificial oasis areas of frequent human activities. The patterns of salt-water movement are different in the fan fringe of pluvial-alluvial fan and alluvial plain in natural oasis areas. As the patterns of salt-water movement are affected by level of water resources utilization in artificial oasis areas, they are different in different areas and are divided into extensive, inefficient, rational, efficient types.

2. The area of Halosols is $582.59 \times 10^4 \text{ hm}^2$ and occupies 74.1% of that of total Xinjiang in Tarim Basin. As extensive distribution, high salt content of natural soils, the influences of geomorphology types on salt-water movement, it caused soil salinization to be serious in the alluvial plain, enclosed and semi-enclosed bases, the lower parts of alluvial fan in artificial oases. The area of salinized croplands is up to 59.8% of that of total Xinjiang in Tarim Basin. The ways of the control of salinization have changed greatly in past 40 years, method of "dry drainage" has been replaced by present comprehensive control of salinization. Through perfecting drainage system, improving irrigation ways, reinforcing channel anti-seepage, some advances in the control of salinization have been achieved in Tarim Basin. However, some new problems occurred. Because drainage was carried to Tarim River, it caused degree of mineralization of river water to rise. At Aral station in the upper reaches of Tarim River, more than 5g/L of degree of mineralization of river water maintained one month in the middle 1970s, two months in the middle 1980s, three months in the middle and later 1990s.

3. The development of groundwater has a great potential in Tarim Basin. Sprin-

kler irrigation is easily used and extended in the near future. The way of the control of salinization with sprinkler irrigation is to remove the soil surface salt to definite depth and form a desalinized layer in root layer of crop growth, it does not remove the salt to out of irrigated district. The theoretical analysis on salt-water movement under the conditions of water-saving irrigation showed that seepage at field did not reach to groundwater, when crop was irrigated due to crop requirement. Practice of a case in the control of salinization indicated that when salt content of Halosols was up to 60~80g/kg with 1 m column, Halosols were reclaimed, first, salt accumulation layer at surface one would be removed to isolated belt, then irrigation in winter would be done for leaching salt before planting. Observed results with sprinkler irrigation suggested that light texture soil was desalinized quickly, whereas heavy one was desalinized difficultly. The change of groundwater in studied area showed that groundwater table rose obviously. The reasons were that over-irrigation occurred when planting protective forest and leaching salt, or seepage was produced from other non-saving water irrigation areas. Hence although water-saving irrigation is used, irrigation management should be reinforced.

4. Natural oases may be divided into flood land, river terrace, and old river plain in accordance with geomorphical types in the alluvial plain of Tarim River. In flood land area, depth and seasonal change of groundwater were mainly 1~2m and 1~1.3m respectively. In river terrace area, depth and seasonal change of groundwater were mainly 2.5~4m and 0.6~0.9m respectively. In old river plain area, depth and seasonal change of groundwater were mainly 5~10m and 0.25~0.5m respectively. Analysis results indicated that desalinized zone of groundwater was located in flood land and river terrace areas. Degree of mineralization of groundwater was 1~3g/L in flood land and river terrace areas, whereas it was more than 10g/L in old river plain. Hydraulic slope gradually lowered from flood land, river terrace to old river plain areas. River water had a different influence on the change of depth of groundwater, a main influence in flood land, a definite influence in river terrace, a weak influence in old river plain. Data contrast and calculation showed that curve equations about level of groundwater and distance as well as and depth of groundwater reflected their relation well.

5. Research results of groundwater influence on soil moisture in natural oases suggested that 1.1~2.4m depth of groundwater had an evident influence on soil moisture, 2.4~4.2m depth of groundwater had a definite influence on soil moisture, more than 4.2m depth of groundwater had a weak influence on soil moisture in surface layer. Average soil moisture content declined exponentially with increase of depth of groundwater. In Yingbaza section of Tarim River, groundwater had an obvious influence on soil moisture of whole profiles in flood land, whereas soil texture had interference to soil moisture distribution along profiles in river terrace. Evaporation of soil moisture and accumulation of salt were intensive in flood land, whereas weak in river terrace, extremely weak in old river plain.

6. Synchronous monitoring to river water and drainage quality in Tarim River indicated that drainage had an obvious influence on river water quality. Pollution of drainage raised not only degree of mineralization of river water, but also F-content. Analysis results showed that water quality salinized was aggravated at present. Only if multi-ways dealt with drainage, effect of drainage would be controlled in Tarim River. In addition, measures for the control of drainage include well drainage, channels anti-seepage, and water-saving irrigation. Regression analysis showed that water samples were divided into 3 parts according to value of electric conductivity, electric conductivity of water samples mutually correlated with degree of mineralization of water. Hence degree of mineralization of water samples may be directly converted with their electric conductivity. Artificial oases are at unstable desalinization stage as a whole, it is necessary that monitoring net of salt-water dynamics should be established, salt-water dynamics should be regulated through diversification.

7. As grasslands were poor quality and low productivity in the alluvial plain of Tarim River, nomadic way caused irrigation grassland to be out of control and water resources to be seriously wasted. The settlement for nomadic herdsmen, the establishment of artificial grassland, the development of intensive animal husbandry, and development of animal husbandry in agriculture area are some important measures for the management of salt-water dynamics. Under the impact of human activities, the volume of runoff decreased in the main stream of Tarim River. However, when the volume of runoff increased in the main stream of Tarim River, water consumption greatly rose in the upper and middle reaches of Tarim River, water supply sharply reduce in its lower reaches. So it is imperative that canalization should be carried out in the upper and middle reaches of Tarim River. As material of flood-control dikes come from sediment material, flood control dikes are mainly built in the middle reaches of Tarim River, implementation of engineering is relatively easy, engineering investment is able to be afforded, some sluice gates have been built, it is possible for canalization to be carried out. Canalization will not influence the growth of plants along both sides of the river, but influence the breeding of *Populus euphratica*. In addition, silt sediment on the river bed will increase. Rough calculation for plant ecological water requirement showed that water requirement of natural vegetation was $30.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ in Tarim Basin watershed. Complex shelter system composed of grass, shrub, and *Populus euphratica* belts should be gradually perfected through artificial management. Basic principles of ecological conservation include determining main region and secondary region, making overall plans and taking all factors into consideration, combining protection with reform of ecological environment. In order to protect "Green corridor" in the lower reaches of Tarim River, water use of the source flows should be controlled and canalization of the main stream should be put into effect and diversion works from Kongque River should be perfected.

Key words: Salt-water movement; The control of salinization; Tarim Basin

目 录

前言	(I)
Abstract	(II)
第一章 绪论	(1)
第一节 区域土壤水盐运动与盐渍化治理研究现状与进展	(1)
第二节 新疆土壤水盐运动和盐渍化治理研究现状与进展	(5)
第三节 塔里木盆地绿洲土壤水盐运动研究意义	(6)
第二章 研究区概况	(12)
第一节 自然概况	(12)
第二节 社会和经济概况	(24)
第三章 绿洲及其土壤水盐运动模式	(28)
第一节 绿洲及其类型	(28)
第二节 绿洲土壤水盐运动模式	(30)
第三节 小结	(34)
第四章 人工绿洲土壤水盐运动变化过程及其对河流水质的影响	(36)
第一节 塔里木盆地的盐成土与人工绿洲土壤盐渍化	(36)
第二节 土壤盐渍化治理方式与人工绿洲土壤水盐运动的关系	(42)
第三节 人工绿洲水盐运动对塔里木河水质的影响	(46)
第四节 小结	(55)
第五章 节水灌溉条件下人工绿洲土壤水盐运动发展模式	(56)
第一节 盐渍化治理的基本思路	(56)
第二节 水盐运动的理论分析	(57)
第三节 盐渍化治理的实例分析	(65)
第四节 小结	(77)
第六章 塔里木河冲积平原自然绿洲土壤水分补给	(79)
第一节 塔里木河英巴扎断面自然绿洲类型与监测点的设置	(79)
第二节 冲积平原自然绿洲地下水补给方式	(81)
第三节 英巴扎断面绿洲区域地下水的变化特点	(83)
第四节 英巴扎断面自然绿洲地下水矿化度变化	(87)
第五节 英巴扎断面绿洲区域水分补给和河水的相互关系	(89)
第六节 英巴扎断面自然绿洲地下潜水与距离的关系	(93)
第七节 小结	(95)
第七章 塔里木河冲积平原自然绿洲内部土壤水盐运移	(97)
第一节 绿洲区域土壤水分状况	(97)

第二节	绿洲区域地下水对土壤水分的影响·····	(102)
第三节	塔里木河冲积平原自然绿洲水盐运移·····	(111)
第四节	小结·····	(118)
第八章	人工绿洲水盐动态调控与盐渍化治理·····	(120)
第一节	农田排水控制·····	(120)
第二节	水盐动态调控与盐渍化治理·····	(128)
第三节	小结·····	(138)
第九章	塔里木河冲积平原自然绿洲水盐动态调控与生态保护·····	(139)
第一节	水盐动态调控的牧业生产方式——游牧定居·····	(139)
第二节	水盐动态控制的工程措施——人工渠化·····	(142)
第三节	生态保护基础——自然植被的生态需水估算·····	(149)
第四节	自然绿洲生态保护方略·····	(156)
第五节	土地沙漠化治理与绿色走廊保护·····	(161)
第六节	小结·····	(166)

Contents

Preface	(I)
Abstract	(II)
 Chapter One Introduction	(1)
1.1 Status and Progress of the Study on Regional Salt-water Movement and the Control of Soil Salinization	(1)
1.2 Status and Progress of the Study on Regional Salt-water Movement and the Control of Soil Salinization in Xinjiang	(5)
1.3 Significance of the Study on Soil Salt-water Movement in Oasis in Tarim Basin	(6)
Chapter Two General Situation of the Study Area	(12)
2.1 Natural Situation	(12)
2.2 Social-economic Situation	(24)
Chapter Three Oasis and the Models on Soil Salt-water Movement	(28)
3.1 Oasis and its Types	(28)
3.2 The Models on Salt-water Movement in Oasis	(30)
3.3 Preliminary Summary	(34)
Chapter Four The Change of Soil Salt-water Movement in Artificial Oasis and its Influence on River Water Quality	(36)
4.1 Halosols and Soil Salinization of Artificial Oasis in Tarim Basin	(36)
4.2 Relation between Control Ways of Soil Salinization and Soil Salt-water Movement in Artificial Oasis	(42)
4.3 Influences of Salt-water Movement in Artificial Oasis on Tarim River Water Quality	(46)
4.4 Preliminary Summary	(55)
Chapter Five The Models on Salt-water Movement under Water-saving Irrigation in Artificial Oasis	(56)
5.1 Basic Thought on the Control of soil Salinization	(56)
5.2 Theoretical Analysis on Salt water Movement	(57)
5.3 A Case on the Control of Soil Salinization	(65)
5.4 Preliminary Summary	(77)
Chapter Six Water Supply of Natural Oasis in the Alluvial Plain of Tarim River	(79)
6.1 Natural Oasis Types and Observation Spots Arrangement in Yingbaza Section of Tarim River	(79)
6.2 Supply Patterns of Groundwater in the Natural Oasis in the Alluvial Plain of Tarim River	(81)

6.3	The Characteristics of Change of Groundwater Level in the Natural Oasis of Yingbaza Section	(83)
6.4	The Change of Mineralization Degree of Groundwater in the Natural Oasis of Yingbaza Section	(87)
6.5	Relation between Runoff Volume and Water Supply in the Natural Oasis of Yingbaza Section	(89)
6.6	Relation between Distance and Depth of Groundwater in the Natural Oasis of Yingbaza Section	(93)
6.7	Preliminary Summary	(95)
Chapter Seven Salt-water Movement within the Natural Oasis in the Alluvial Plain of Tarim River		
		(97)
7.1	Soil Moisture Regime in the Natural Oasis	(97)
7.2	Influence of Groundwater on Soil Moisture in the Natural Oasis	(102)
7.3	Salt-water Movement in the Natural Oasis in the Alluvial Plain of Tarim River	(111)
7.4	Preliminary Summary	(118)
Chapter Eight The Management of Salt-water Dynamics and the Control of Salinization in Artificial Oasis in Tarim Basin		
		(120)
8.1	The Control of Drainage	(120)
8.2	The Management of Salt-water Dynamics and the Control of Soil Salinization	(128)
8.3	Preliminary Summary	(138)
Chapter Nine The Management of Salt-water Dynamics and Ecological Conservation in the Natural Oasis in the Alluvial Plain of Tarim River		
		(139)
9.1	Animal Husbandry Production Pattern of the Control of Salt-water Dynamics—the Settlement of Nomadic Herdsmen	(139)
9.2	Engineering Measure of the Control of Salt-water Dynamics—Canalization	(142)
9.3	Ecological Conservation Basis—Guess of Water Consumption of Natural Vegetation in Tarim River Watershed	(149)
9.4	Ecological Conservation Policies of Natural Oasis	(156)
9.5	The Control of Land Desertification and Protection of “Green Corridor” in the Lower Reaches of Tarim River	(161)
9.6	Preliminary Summary	(166)

第一章 绪 论

世界上目前除南极洲尚待调查研究外,其余各洲及其大多数主要岛屿的滨海地区和干旱、半干旱地带,涉及 100 多个国家和地区,都有各种类型的盐渍土分布。据联合国教科文组织(UNESCO)和粮农组织(FAO)不完全统计,全世界盐渍土面积为 $9.54 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。

在我国北自辽东半岛南至广西、广东、海南岛和台湾西海岸及南海诸群岛的滨海地带以及大致沿淮河—颍河—秦岭—西倾山—积石山—巴颜喀拉山—唐古拉山—喜马拉雅山—一线以北广袤的半干旱、干旱和荒漠地带,凡地势相对低平而地面和地下径流汇集,且出流滞缓的地区,几乎都分布有各种类型的盐渍土^[1],总面积达到 $0.99 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。在地处极端干旱地区且又是内陆封闭性质的塔里木盆地,不仅土壤盐渍化十分严重,而且盐分运移和变化也很迅速。在农业生产活动集中而又频繁的绿洲区域,水盐运动的状况直接影响着农业生产,它是影响区域农业生产发展的重要障碍因素,因此有必要了解塔里木盆地绿洲土壤的水盐动态变化,从而为区域土壤盐渍化治理提供基础资料和科学依据。绿洲土壤水盐动态变化与调控的系统研究,对于区域农业的持续发展不仅具有理论意义,而且具有重要的实践意义。

第一节 区域土壤水盐运动与盐渍化治理 研究现状与进展

一、区域土壤水盐运动研究现状与进展

土壤水盐运动是指土壤中水盐状况随时间和空间的变化。它是认识盐渍土发生演变和防治土壤次生盐渍化的理论基础,研究盐渍土的水盐运动规律,掌握水盐在区域和土壤中的动态变化,可作为土壤盐渍化预测预报的依据。我国农民在生产实践中已对土壤水盐运动具有一定的感性认识,并将土壤水盐运动规律形象地总结为“盐随水来,盐随水去”、“涝盐相随”、“小雨勾碱,大水压盐”和“七月八月地如筛,九月十月又上来”等。早在 20 世纪 30 年代 Schofield 和 Clasimov 等人就开始进行土壤水盐平衡的研究工作。20 世纪 40 年代 Kovda 对盐渍土区和盐渍土上的水盐运动进行了研究。后来 Kovda^[2]和 Polyakov^[3]对地下水在干旱、半干旱地区土壤形成过程中的作用进行了研究。20 世纪 80 年代以来,水盐运动的研究向着盐渍土形成及改良过程中溶质运移的数学模拟和区域水盐运动及其管理两个方向发展^[1,4~10]。前者以微观研究为主,后者则偏重于宏观及实际应用。

随着科学技术和生产活动的发展以及视野的扩大,人们越来越不能满足仅从单个土体和田块的角度来认识和改良盐渍土,而是将某一盐渍区及与其水盐运动有关的邻区作

为一整体,把这个地区的水盐运动作为一个统一的系统来观察研究,并进行调节和管理^[5]。

区域水盐运动的研究是区域水盐管理的基础和根据。我国学者在系统研究了半湿润季风气候影响下黄淮海平原的水盐运动特点和规律的基础上,提出了以调节浅层地下水为中心、井沟渠结合、综合治理旱涝盐碱的水盐管理原则和不同条件下的3种水盐调节管理模式^[1,5]。水盐平衡是区域水盐运动研究的基本理论和方法。同样,我国学者在黄淮海平原对水盐平衡的类型、土壤盐平衡、地块和区域水盐平衡以及大区 and 流域水盐平衡进行了系统的研究和总结。在黄淮海平原水均衡研究方面,提出了水均衡方程和模型^[1,5]。

综上所述,近几十年来区域水盐运动的研究状况和进展概括起来大致可以归结成以下几个方面。

(一) 不同气候条件下土壤水盐动态研究

降水及蒸发量不同,影响土壤中盐分的淋洗和累积过程,降水和蒸发的季节性和年际的分配不均,使土壤中水盐产生季节性和多年的动态变化。在湿润气候条件下,一年中盐分在土壤剖面中向下淋洗的过程,大于由于蒸发而引起的盐分累积过程,土壤剖面含盐的多年变化表现为逐渐脱盐过程^[1]。唐淑英等的研究表明,苏北滨海盐渍土位于湿润气候条件下,由于长期降水淋盐作用,土壤可以逐渐脱盐,其演化过程为潮湿正常盐成土(滨海草甸盐土)→淡色潮湿雏形土(中度盐化滨海草甸土),而土壤表层含盐量也随着降水存在季节变化^[11]。在半湿润一半干旱气候条件下,土壤水盐动态特点表现为土壤盐分的明显季节性变化。春季由于降水量远小于蒸发量,土壤产生强烈的积盐;夏季则在降雨入渗的影响下,上层土壤含盐量明显减少,秋季又复积盐;冬季由于土层冻结,土壤剖面中的水盐运动大大减弱^[1]。同时,由于受季风气候的影响,此区域降水量在年内分配不均,降水量的年际变化很大,因早年和涝年降水量的不同,土壤盐分的淋洗和积累也随之变化。石元春、俞仁培等人通过黄淮海平原的水盐运动研究得出了与上述类似的结果,并提出了旱涝盐碱的综合治理措施^[5,12]。罗家雄等曾研究过干旱区气候干热程度与土壤盐渍化的关系和弃耕地土壤含盐变化^[13],认为在干旱气候条件下,土壤水盐以向上运动占绝对优势。在地下水埋深浅的情况下,地下水蒸发十分强烈,导致土壤几乎全年处于积盐状况。王吉智研究了干旱条件下银川平原地下水埋深与土壤含盐量关系^[14],得出了地下水埋深愈浅,土壤含盐量愈高之结论。

1. 蒸发、入渗和土壤冻融过程中的土壤水盐动态研究

土壤水盐的上下垂直运动主要是在水分蒸发、入渗和土壤冻融这3种不同条件下发生的。土壤水分处于这3种状态的时间长短及其作用强度大小不同,决定土壤发生盐化或脱盐过程的趋向和强弱。对于蒸发条件下的水盐动态研究,已有不少成果,如:娄溥礼等进行了蒸发条件下土壤剖面水分分布研究^[15],尤文瑞和孟繁华等进行了蒸发条件下非饱和粉砂壤土、粘土水盐动态研究^[16,17],李韵珠等进行了蒸发条件下粘土层与土壤水盐运移研究^[18],欧阳丽等进行了蒸发条件下有粘土夹层粉砂壤土水盐运动研究^[19]。对于水分入渗条件下的水盐动态,也有不少学者进行过研究,如:尤文瑞等对水分入渗条件下粉

砂壤土水盐动态研究^[7]、朱耀鑫等对黄淮海平原雨季的土壤水盐运动研究^[20]。除此之外,还有学者对土壤冻融过程中的土壤水盐动态进行研究后指出,冻结期整个冻层的土壤含盐量明显增加,消融期表土层含盐急剧增加,下部消融层盐分因水分的向下运动而减少^[21]。

2. 土壤水盐运移的数学模型研究

土壤水盐运动十分复杂,目前还只能在忽略盐分子土壤中化合分解、离子交换、吸附解吸等作用下,建立水盐运动的数学模型。对于土壤溶质运移模型的建立或土壤水盐运移模型的建立,必须经过以下4个关键步骤^[22],即根据实际问题,选取最适宜的模型;通过田间和室内测试,确定模型中最主要的参数;利用当地所取的数据,对模型进行校正;验证模型,主要是对模型运行结果与田间已有的全部观测值进行匹配分析,得出模型反映真实世界的精度。Butters等^[23]和Fogg等^[24]把土壤溶质运移模型分为3类,即确定性模型,随机模型,传递函数模型。Warrick等^[25]采用数值方法模拟了一维土壤水盐运动,Frind^[26]采用交替方向伽辽金有限单元法对二维土壤水盐运动进行了数值计算,王福利等进行了土壤水盐运动数学模型研究^[8,27],而Bresler等建立了若干条件下水盐运动的理论和应用模型^[9,10,28,29]。

3. 先进的手段和仪器应用于土壤水盐监测

在土壤水盐监测的宏观研究上,已开始使用遥感手段进行土壤盐渍化的监测。西楔柯娃早在20世纪60年代初就曾利用航空像片进行盐碱地判读^[30]。Rao和Singh等用陆地卫星CCT磁带进行计算机盐渍土解译,可区分出2~3级不同盐化程度^[31~33]。在我国马步洲等通过应用各种遥感资料进行盐渍土解译的较系统研究表明,航空像片、陆地卫星MSS图象和CCT磁带对土壤盐渍状况都有较好的反映^[34]。田济马等利用不同比例尺的TM图象编制了黑龙江地区盐碱地分布图^[35]。为了快速和准确地测定土壤盐分,掌握土壤盐渍化发展趋势和水盐运动状况,定点监测也有了很大发展。Rhoades等^[36~39]用四电极法来测定土壤电导率,从而了解土壤盐渍化程度;李韵珠等^[40]则用四电极土壤电导仪进行盐渍化土壤调查和定位观测土壤盐分变化;肖振华等^[41]用四电极法进行了土壤含盐量测定的试验。

(二) 土壤盐渍化治理研究现状和进展

在我国盐渍土分布广泛,农民群众在私有制小农经济条件下,于生产实践中因地制宜创造了多种多样的排盐、压盐、抑盐、隔盐和躲盐等多种利用和改良盐碱地的措施,如:“开沟爽碱”、“围埝平种,蓄淡淋盐”、“种稻压盐”、“偏施土杂粪肥”、“铺生盖草”、“深翻窖草”、“条垅深翻”、“翻压绿肥”、“冲沟播种,躲盐巧种”和串种耐盐作物(包括绿肥)等,以便在盐碱地上得以从事农业生产。随着农业生产规模的日益扩大以及科学技术的迅速发展,人们对于盐渍土利用和改良的概念、规模和方法都在发生深刻的变化,日益摆脱小生产的影响,向着大生产和现代化的方向发展。近几十年来,土壤盐渍化治理的研究现状和进展可以概况成以下两个方面。

1. 土壤盐渍化治理的水利工程措施

(1) 排水措施 近 40 年来,对于排水措施在防治土壤盐渍化方面的作用及各种类型排水系统的规划设计等问题都进行了大量的试验研究工作,取得了不少成果^[42~46]。中国科学院南京土壤研究所盐土组进行了井灌井排对地下水位控制作用的研究^[47];王遵亲等则认为挖沟排水和发展机井地下水灌溉并举对区域盐碱地的改良有明显作用^[48];刘文政等指出,不同盐渍区的自然条件不同,排水措施因地制宜^[49,50]。

(2) 冲洗改良盐碱地 它是指为了改良盐碱地而大量灌水,以淋洗土壤中过多的盐分,使土壤根系活动层的盐分减少到一般植物能正常生长的程度时,即可开始种植作物。熊毅等^[51]曾对我国不同区域盐渍土冲洗定额和各种作物苗期的耐盐极限进行过总结;US Salinity Laboratory Staff^[52]、Keller 等^[53]和 Dutt 等^[54]对作物灌溉需要量和盐分淋洗需要量也进行过较多研究。

(3) 灌溉淋盐 在干旱和半干旱一半湿润的盐渍土地地区,由于蒸发量大于降雨量,土壤中所含盐分不能被充分淋溶,即使是经过冲洗改良的盐碱地,土壤和潜水中仍含有一定数量的盐分。因此在耕地中,特别是在底土和潜水含盐量较高的干旱地区和滨海地区,土壤往往有季节性返盐现象。返盐时盐分主要向土壤表层集中,但总含盐量并不太高。为了保证作物的正常生长,一般不需要专门冲洗,只须在灌溉时,在原有作物需水的灌溉定额中,适当增加一部分灌溉水量,使部分水量通过土层下渗淋洗土壤盐分,这种方式称之为灌溉淋盐。据研究灌溉淋洗需水量和淋洗时期的选择应根据不同区域实际情况而定^[1]。

2. 土壤盐渍化治理的农业生物措施

农业生物措施是调节土壤水、肥、气、热保证作物正常生长的重要手段。在盐碱地区,农业生物措施还具有调节土壤水盐动态的作用^[55~57]。改良利用盐碱地的措施很多,其主要的农业生物措施有以下几种:

(1) 平整土地 据研究,受微地形变化的影响,农田中稍高的微地形部位上的表土含盐量可高于低处数倍至 10 倍以上^[43,58]。据王应求等在山东实验区的观测结果^[59],一块高低不平的重盐碱地,经过平整以后,耕层土壤含盐量一般比原来降低 35% 左右。

(2) 培肥抑盐改土 农谚“牛瘦生癣,地薄生(盐)碱”,说明土壤水盐动态与土壤肥力状况息息相关。唐淑英等^[57]曾对培育熟化耕层的方法、抑制土壤返盐的机理进行了专门的研究,得出土壤熟化程度高地表返盐程度轻之结论。对比研究表明^[60],在盐斑地上施用有机肥耕层含盐量比不施用有机肥明显降低。陈恩凤等指出^[56],增加盐碱化土壤的有机质,既能改善土壤结构,减少地面蒸发,促进盐分淋洗,抑制盐分上升,同时还能促进土壤微生物的活动。

(3) 深翻客盐改土 一些研究结果也证明^[61,62],深翻对改良盐碱地有明显的作用。因为深翻可切断土体上下层的毛细管联系,土壤水分的蒸发相应减弱,并且由于疏松土层的孔隙率高,能促进雨水的下渗。所以深翻可抑制土壤返盐,并促进土壤淋盐。

(4) 种稻改良及水旱轮作 种稻使土壤长期受水淹没,土壤溶液被稀释,盐分通过排

水而淋失,因而盐分的危害减轻。“中国盐渍土”和“中国土壤”等专著都详细论述了种稻改良盐碱地的良好效果^[1,51]。

(5) 植树造林 植树造林特别是营造农田防护林,除了改造小气候外,还起到生物排水作用。含盐地下水的强烈蒸发,通常是干旱及半干旱地带土壤发生盐渍化的重要原因,因而,变地面蒸发为植物蒸腾,水分通过植物叶面蒸发散失,更有利于防止土壤盐分的积累^[1]。

(6) 种植耐盐植物 根据土壤含盐状况,种植耐盐作物、绿肥、牧草和各种经济植物,选育耐盐品种,不仅有利于增加经济收入,而且通过耕作利用,增加地面的覆盖,减少了土壤蒸发,在一定程度上还具有抑盐改土作用。耐盐作物包括向日葵、碱谷、糜子、大麦、高粱、甜菜等,耐盐牧草包括田青、苦草、草木犀、紫花苜蓿等,耐盐的经济植物包括大米草、咸水草、芦苇、罗布麻、沙棘等^[1]。

第二节 新疆土壤水盐运动和盐渍化治理 研究现状与进展

新疆位于干旱区,盐碱土在土壤资源中占有相当大的比重。因此,在农业生产的发展中,始终伴随着土壤盐渍化治理的重要任务。要实现农业生产的可持续发展,研究土壤水盐运动和进行土壤盐渍化的治理是必不可少的。新疆人民群众在长期的农业生产实践中已总结出许多经验。《新疆图志》总结道^[63]：“垦荒之法,先相土宜,生白蒿者为上地,生龙须草(按:实指芨芨草)者为中地,生芦苇者多碱(按:实指盐)为下地,然宜稻,既度地利乃芟而焚之,区画成方卦形,夏日则犁其土,使草根森露,曝之欲使其干也,秋日则疏其渠,引水浸之,欲其腐也。次岁春融,则草化而地亦腴,初种宜麦,麦能吸地力,化土性,使坚者软,实者松,再种宜豆,豆能稍减碱质,若不依法次第种之,地角坼裂,秀而不实矣,如是三年之后,五谷皆宜”。它记述了人民群众通过察看土质,开垦利用和改良土壤的方法。1949年以后,随着“屯垦戍边”大规模的土地开发,在新灌区由于大水漫灌,地下水位急剧上升,土壤次生盐渍化加重,而在老灌区由于农田扩大连片,灌溉面积和引水、用水量增加,打破了原来在无排水条件下,耕地同积盐地对峙存在的水盐平衡方式,导致了新、老灌区地下水位上升→土壤积盐→增加压盐水→地下水再上升的恶性循环。由于盐渍化同生产的矛盾日益尖锐,使得人们开始进行新形势下土壤水盐运动和盐渍化治理的研究。20世纪50年代末期,中国科学院新疆综合考察队就对新疆土壤盐渍化问题进行了研究^[64],提出了防止土壤次生盐渍化措施。其后为了解决生产实践中的实际问题,不同研究者多将注意力集中在土壤盐渍化治理方面^[13,65~67]。尽管许多土壤盐渍化治理的措施是从国外和国内其它区域学习及借鉴而来,但由于新疆特殊的自然环境条件,它在具体操作上却具有特殊性。

在新疆排水的方法有明排、竖井排、暗管排和扬排4种。① 明排。是改良盐碱土的主要方式,适用范围广,在任何需要排水的地方都可采用,它具有修建容易、投资省的特点。新疆明排排水沟采用浅、密、通系统,深度在1.5~2.0 m,间距在100~250 m。这样可以加快排水、排盐速度,极大地提高了改良效果,减少或消灭了盐斑^[65,68]。② 竖井排

水。试验结果证明,竖井排水比明排具有更多的优越性,它降低地下水位幅度大,控制稳定,脱盐效果好。据新疆生产建设兵团 147 团观测结果^[66],竖井排水前,地下水埋深 0.5~1.5 m。在建井 12 眼后,经 240 d 连续抽水,地下水埋深下降到 2.7~3.8 m。结合灌溉,其脱盐率在 40% 以上。③ 暗管排水。随着国内质轻、价廉的塑料排水管大量生产和施工机械的引进,暗管排水得以发展。据新疆生产建设兵团 29 团的试验结果^[68],与明排相比,暗管排水具有全年排水时间长、排盐量多、降低地下水位效果更明显、提高了土地利用率和减少清淤等优点。④ 扬排。在封闭的洼地或受高地下水位的顶托又无自然排水出路的地区,利用抽水机械进行排水,该方法在一定区域内是其它排水措施不能替代的^[66,68,69]。

在干旱区治理土壤盐渍化过程中,洗盐和种稻洗盐也是重要措施。在新疆多年的生产实践中,已制定出不同土壤质地和含盐量的洗盐定额^[13,67]。作为盐碱土改良和利用相结合的一种有效措施,种稻洗盐在新疆被广泛运用。黎立群等的研究表明,在南疆种稻改良盐土的脱盐作用明显^[70],种稻 1~2 a 后,土壤的脱盐率超过 50%。范德玉则认为种稻改土及水旱轮作既节水,又能达到改良盐碱地之目的^[71]。

生物和化学改良在盐碱地的改良中起着一定的作用。李述刚等^[72]进行了种植枸杞和碱茅等耐盐植物的试验,3~4 a 后土壤脱盐率均在 60% 以上。新疆生产建设兵团 29 团,在重盐碱地上种苜蓿,耕翻后种植棉花和小麦效果良好^[73]。据兵团下野地试验站观测^[66],施用石膏 2 年后土壤总碱度降低 30% 以上。李述刚和王周琼系统地总结了施用风化煤对改良碱土的效果^[74],证明施用风化煤对降低土壤碱度、改良土壤物理性质、提高土壤蓄水保墒能力和改善作物营养状况有良好的效果。对于利用农业措施进行盐碱地的改良,如平整土地、覆盖地面、适时耕作和施肥改土等方法及其技术要点,在新疆盐碱土改良的专著中均有阐述和分析^[13,65~68]。

第三节 塔里木盆地绿洲土壤水盐运动研究意义

如前所述,关于土壤水盐运动和盐渍化治理前人已进行了大量工作。特别是在我国的黄淮海平原,有关研究已取得丰硕成果,无论是在深度上还是广度上都有较大的进展。而地处干旱区的新疆,通过科学工作者的多年努力,虽然在区域水盐运动和土壤盐渍化治理方面也取得了一些成果,但随着科学技术的发展和生产水平的提高,许多工作还需要深化。为此,本书对“塔里木盆地绿洲土壤的水盐动态变化与调控”,主要从以下几个方面作进一步的研究。

一、绿洲作为一个整体进行土壤水盐运动和盐渍化治理研究

塔里木盆地不仅是典型的内陆干旱区,而且是干旱区内的极端干旱地带。这里干旱少雨,蒸发强烈,农业的发展必须依靠灌溉。由于盆地平原地区土壤的发育受区域自然环境的影响,加之灌溉农业的发展,土壤普遍存在盐渍化问题,即农业的发展与土地荒漠化之间的矛盾特别尖锐。在塔里木盆地宜农荒地中受盐渍化影响的面积达 $507 \times 10^4 \text{ hm}^2$,