

网络出版时间:2012-09-25 10:08

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120925.1008.030.html>

新疆盐碱地成因及改良措施研究进展

胡明芳, 田长彦, 赵振勇, 王林霞

(中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

[摘要] 土壤盐碱化不仅导致土壤生产力降低, 而且引发诸多生态环境问题。新疆受不同程度盐碱危害的耕地面积约占新疆耕地总面积的 1/3, 盐碱化已经成为新疆农业开发和持续发展的重大限制条件和障碍因素。随着土地资源的紧张, 必须寻求有效措施防治和改良盐碱土壤。文章主要阐述了新疆盐碱地的现状与分布, 并根据国内外研究进展, 回顾与分析新疆盐碱地的成因与改良技术发展状况, 最后对今后需进一步研究的问题进行了展望。

[关键词] 新疆; 盐碱地; 改良措施

[中图分类号] S156.4⁺1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)10-0111-07

Salinization causes and research progress of technologies improving saline-alkali soil in Xinjiang

HU Ming-fang, TIAN Chang-yan, ZHAO Zhen-yong, WANG Lin-xia

(Xinjiang Institute of Ecology and Geography, China Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Soil salinization not only reduced soil productivity, but also led to many eco-environmental problems. Xinjiang's arable land affected by various degrees of salinity hazard takes up about 1/3 of the total cultivated land, and soil salinization has become the major constraints and obstacles of agricultural development and sustainable development in Xinjiang. With the tension of the land resources, we must find effective measures to control and improve saline-alkali soils. Accordingly, based on relevant research advances, the paper reviewed the formation of saline-alkali soil in Xinjiang and development of the improvement technologies, described the status quo and distribution of saline-alkali land in Xinjiang, and recommended the further research areas in the future.

Key words: Xinjiang; saline-alkali soil; improvement technologies

盐碱土是盐土和碱土的统称, 指含盐量在0.2%以上, 或者土壤胶体吸附一定数量的交换性钠, 碱化度在20%以上, 对作物正常生长有害的土壤, 也称为盐渍土。土壤盐碱化不仅导致土壤生产力降低, 而且引发诸多生态环境问题。新疆是中国最大的盐土区, 据2001年统计, 新疆盐碱土的面积为 $2\,181.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占全国盐碱土总面积($9\,913 \times 10^4 \text{ hm}^2$)的22.01%; 在新疆地区 $407 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的

耕地中, 受不同程度盐渍化危害的耕地面积达 $122.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占总耕地面积的30.12%, 占低产田面积的63.20%, 其中受到中度、重度盐渍化威胁的低产田占总耕地的22.06%; 在 $1\,031.75 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的宜农荒地中, 受盐碱限制的面积达 $515.11 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占总面积的49.93%^[1]。因此, 土地盐碱化已经成为新疆农业开发及持续发展的重大限制条件和障碍因素。

[收稿日期] 2012-06-01

[基金项目] 新疆维吾尔自治区科技计划项目(201120106-2); 中国科学院西部之光项目(XBBS200811); 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-07-02)

[作者简介] 胡明芳(1973—), 女, 江苏沛县人, 助理研究员, 硕士, 主要从事干旱区绿洲农业生态研究。E-mail: hmf0501xxx@sina.com

[通信作者] 田长彦(1961—), 男, 陕西山阳人, 研究员, 博士生导师, 主要从事干旱区土壤生态学研究。E-mail: tianchy@ms.xjbu.ac.cn

随着人口增长、土地退化、土地资源紧张等问题的出现,开发利用盐碱土不但可以增加粮食产量,缓解粮食危机,而且可改善生态环境,提高人们的生活质量^[2]。因此,必须寻求有效措施防治和改良盐碱土壤。笔者对新疆盐碱土成因与改良利用技术研究进展进行了综述,旨在为合理开发利用新疆盐碱地提供理论和实践指导。

1 新疆盐碱地的现状与分布

根据 1985—1990 年第 2 次新疆土壤普查汇总资料,新疆耕地总面积为 $4.09 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中盐渍化耕地面积为 $1.27 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占耕地总面积的 31.10%,轻度盐渍化耕地占耕地面积的 22.32%,中度、重度盐渍化耕地面积占耕地总面积的 8.78%^[3-4]。根据 2005 年中巴资源卫星遥感影像解译和实际调查结果,新疆耕地总面积达 $5.05 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中盐渍化耕地面积 $1.62 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占耕地总面积的 32.07%;轻度盐渍化耕地为 $122.89 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占绿洲耕地总面积的 24.33%;中度盐渍化耕地为 $31.75 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占绿洲耕地面积总数的 6.28%;重度盐渍化耕地为 $7.376 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占绿洲耕地面积总数的 1.46%^[5-6]。与第 2 次土壤普查结果相比,2005 年新疆绿洲轻度盐渍化耕地面积比重增加,中度、重度盐渍化面积比重降低。

新疆除伊犁谷地、阿勒泰地区和塔城部分地区土壤含盐较少外,其余地区土壤都有不同程度的盐渍化,具有盐渍荒漠化并存、积盐剧烈、表聚性强、土壤盐分组成复杂等特点。北疆从东至西,南疆由西而东,土壤积盐程度均呈现加剧的趋势,盐渍化耕地约 1/3 分布于北疆,约 2/3 分布于南疆;北疆土壤中的盐以硫酸盐或氯化物-硫酸盐为主,伴随着碱化过程;南疆土壤中的盐以氯化物或硫酸盐-氯化物为主,南北疆苏打化广泛分布;东疆吐部托盆地土壤不同程度地含有硝酸盐^[7]。

在第 2 次新疆土壤普查中,耕地盐渍化以天山南麓、塔里木盆地最西部各灌区最重,叶尔羌河与喀什河流域耕地盐渍化面积占灌区耕地的 50% 以上。2005 年调查结果显示,天山南麓和塔里木盆地西部灌区盐渍化依然严重,北疆的个别地区盐渍化加重。绿洲内部的古老灌区、大多数的兵团所在地随着灌区续建配套、节水改造工程的实施,耕地盐渍化呈不断减轻的趋势,甚至有的地区已基本脱盐^[8]。例如,塔里木河干流上游地区土壤盐渍土总面积持续增加,但土壤盐碱强度明显减弱,重度盐渍土面积由

1999 年的 $6.89 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 下降为 2004 年的 $6.06 \times 10^5 \text{ hm}^2$,中度盐渍土面积由原来的 $2.20 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 增至 $4.23 \times 10^5 \text{ hm}^2$,轻度盐渍土面积呈波动变化状态^[9];焉耆盆地经历了积盐-脱盐过程后,目前灌区内部 74% 的面积属于非盐碱地和轻度盐碱地,这是多年来灌溉排水洗盐的结果^[10-11]。但是在原有绿洲的外围和新开垦的绿洲上,新垦耕地大多是在盐碱地上开发的,绝大部分是中度、重度盐碱化耕地^[12]。例如,自 20 世纪 80 年代末以来,新疆渭干河三角洲耕地面积增加了 $6.18 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中盐渍化耕地 $4.84 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占新增耕地的 78.31%,且新增耕地盐渍化较重^[13]。

2 新疆盐碱地的成因

新疆盐碱地的形成原因是多方面的,但总体而言主要包括自然因素和人为因素。

2.1 自然因素

2.1.1 干旱荒漠气候 新疆四周为高山所环绕,是一个远离海洋的封闭内陆盆地。气候干旱,降水稀少,北疆平原区年平均蒸发量可达 700~1 200 mm,是年降水量的 3~6 倍;南疆的年平均蒸发量为 1 000~2 000 mm,是年降水量的 7~20 倍^[14]。这种高温干燥和强烈蒸发的条件,决定了土壤中上升水流占绝对优势,淋溶和脱盐过程十分微弱,造成土壤普遍积盐。

2.1.2 含盐成土母质与典型的内陆地形 新疆各县市灌区北部或者周围都有山区,同时新疆又是典型的干旱、半干旱地区,山区岩石和成土母质普遍含有盐分,经洪水或经常性地面水的侵蚀作用,溶解度小的碳酸盐和石膏首先在山前洪积扇或洪积-冲积平原的上部沉积,而易于溶解的氯化物-硫酸盐类在洪积扇或洪积-冲积平原中下部积聚,氯化物或硫酸盐-氯化物则在扇缘及扇缘带以下的地区积聚。

2.1.3 水动力与水文地质条件 在新疆 570 条河流中,除伊犁河、额尔齐斯河为外流河外,其余均为内流河,多由山区流向盆地,具有流程较短、渗漏严重等特点。山区盐分随地表水和地下水被带至灌区,成为土壤盐分补给。此外,地下水埋深较浅和矿化度过高也是造成土壤盐碱化的重要因素。例如,农二师盐碱地多数处于积盐过程,其中地下水埋深小于 3 m 的盐碱地面积占调查面积的 78.4%,地下水矿化度 > 3 的盐碱地面积占调查面积的 46.8%^[15]。

2.2 人为因素

2.2.1 大量引水开荒导致水土失衡 近 50 年来,由于在流域尺度上未对水土资源进行统一规划,大规模的引水垦荒工程导致了各流域上、中、下游用水失衡,中上游开荒、下游撂荒成为各流域普遍存在的现象,土地弃耕撂荒后,土层底部的盐分上升到地表,造成土壤盐碱化;耕地灌溉面积快速扩展的同时,次生盐碱化的面积也在增长。近 40 多年来,新疆累计开垦盐碱荒地达 $340 \times 10^4 \text{ hm}^2$,而实际保留面积只有 $186.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其余 $153.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的土地大部分因土壤次生盐碱化的发展而于耕种不久后便弃耕^[16]。

2.2.2 水库渗漏与灌排体系不完善 平原水库蒸发、渠系渗漏严重是造成灌区次生盐碱化的重要因素;灌区灌溉面积扩大、引水量控制不当、排水不畅等造成了地下水位普遍抬升,排盐量逐年减少,这也是灌区次生盐碱化发生的重要原因^[17-18]。例如,对新疆农二师的盐碱地成因调查发现,灌溉渠道防渗率为 26.6%,其中农渠防渗率仅为 3.56%,并且长期引用咸水进行灌溉^[15]。

2.2.3 农业措施的影响 新疆开发利用盐碱地一直采用大定额灌溉结合排水系统冲洗改良盐碱地。这一方法导致灌区地下水位长期稳定在临界深度以上,耕地始终遭受着次生盐渍化的威胁。随着灌溉的扩展和大规模节水灌溉的实施,新疆的土壤盐渍化出现了新的问题和趋势。由于滴灌条件下淋溶作用微弱,难以利用灌溉水有效地淋洗盐分,盐分仅在土层中转移而无法消除,导致膜下滴灌在整个土体内的积盐速率大于常规地面灌溉^[19]。刘春卿等^[20]通过对新疆玛纳斯河流域中下游的石河子垦区灌溉水样和土壤样品的分析发现,垦区土壤含盐变异强烈,碱化倾向明显;滴灌条件下盐分表现出在一定层面上积累的趋势;灌溉方式、灌溉水质和滴灌年限都明显影响着土壤的盐渍状况。张伟等^[21]对新疆农六师的耕地调查也发现,自 2000 年前后开始逐步大面积推广膜下滴灌措施以来,土壤次生盐渍化问题开始慢慢显露。因此,在长期膜下滴灌条件下,应加强现有排水系统的维护建设,重视各项抑盐技术措施的综合运用。

此外,化肥过量投入也是引起次生盐渍化的一个因素。张伟等^[21]在对农六师耕地的调查中发现,速效磷含量为 210.47 mg/kg ,速效钾含量为 492.45 mg/kg 。这表明,养分的富积也是土壤含盐量增高的原因之一。

归结以上几点,干旱荒漠气候是形成盐碱地的重要条件,成土母质含盐是土壤盐碱化的重要成因,水文地质是土壤盐碱化的主要动力,人为因素是灌区次生盐碱化的重要条件^[22]。

3 新疆盐碱地的改良

新中国成立初期,新疆开始大面积农垦。由于排灌体系不健全,土地大面积盐渍化,从 1956 年开始,以生产建设兵团为主开展了盐碱地改良试验研究。20 世纪 60 年代初,由于老灌区的不断开垦、灌溉,土壤盐渍化加重,新疆各地相继开展了盐碱地改良试验^[5]。

新疆盐碱地改良及治理技术的发展在近 50 多年中大致分为以下 3 个阶段:1)无排水压盐阶段。20 世纪 50~60 年代,通过对农业改良措施以及土壤理化性质和水盐运移规律的研究,新疆各地主要采用无排水压盐方式即灌水和种稻洗盐方式对盐碱地进行改良。2)排水洗盐阶段。随着经济发展和科研人员对于水盐运动规律认识的进一步提高,人们开展了多学科的综合研究,注意耕地土壤的综合治理,各灌区修建了一批干排渠,通过排水将部分盐分带出。到 20 世纪 60 年代中期至 70 年代初,人们总结出了一整套以水利工程改良盐碱地的技术,即“排、灌、平、肥”综合集成技术;至 80 年代初,人们增加了暗管排水、扩大了竖井排水,此时,以水利改良盐碱地的措施可概括为“排、灌、平、肥、林”。该阶段由于灌溉定额较高,采用大水漫灌方式灌溉,地下水位较高,土壤盐渍化现象仅有一定程度的改善。3)综合防治阶段。20 世纪 70 年代后期到 80 年代,科研人员开展了作物抗盐育种研究,培育出许多小麦、玉米、棉花抗盐新品种(品系),生物改良盐碱地得到了快速发展。20 世纪 80 年代到 90 年代,人们发现,因为干旱地区一般为内陆河流,无排水排盐渠道,在盐碱地改良中,盐分随河流排泄到下游,出现上游改良、下游土壤盐渍化的现象,因此,盐碱地改良进入流域整体治理阶段。相关人员进行大型灌区水盐运移及次生盐碱化的预报和防治研究,提出了土壤次生盐碱化发生与预报的自动控制及其理论依据^[23]。20 世纪 90 年代至 21 世纪,随着人们对生态环境影响认识的提高,盐碱地改良进入到与生态环境治理相结合的阶段,即从整个流域出发,将盐碱地改良与生态环境治理综合进行,全面规划。人们采取了节水灌溉、改造渠系、农业化学改良等一系列措施,并注重各种单项技术的优化组合,开展了生态

自修复与保护研究,另外生物化学土壤改良也有了很大发展^[1,5,10,24],并将数学分析和物理化学的模拟方法、区域性土壤改良服务的航测和卫星测量方法等运用到盐碱地发生过程、防治及改良等相关研究当中^[13,25-36]。目前,新疆土壤盐渍化防治已取得了较大进展,盐碱地改良措施主要包括以下几种。

3.1 水利工程改良措施

水利工程改良措施主要包括建立完善的灌溉系统和现代化排水系统。根据各流域的特点,人们修建水库、灌水渠道和排水渠道网络,水平排水主要为明沟、暗管形式,垂直排水主要为竖井排灌。刘子义^[27]在新疆农二师进行的 6 年排水试验表明,明沟排水土壤脱盐率达 32.6%,暗管排水土壤脱盐率达 48.2%。研究证明,竖井排灌措施是改良盐碱地的一条有效途径,在土壤盐渍化日趋严重,明渠排水、灌渠防渗、定额灌溉改良措施作用不明显的情况下,竖井排灌在解决上述生态环境问题中将会发挥越来越大的作用^[17,28]。

3.2 生物改良措施

生物改良措施主要有植树造林、种植牧草及培育和种植耐盐植物,耐盐植物利用生物排水降低地下水位,提高地表覆盖度,减少地面蒸发,防止土壤表面积盐^[29],从而减轻或抑制盐碱对农作物的危害;耐盐植物还通过改善土壤结构调节地温,提高土壤肥力,从而提高土壤抵御盐碱危害的能力。中国科学院在新疆阜康生态站的试验结果表明,连续 2 年种植耐盐禾本科牧草,0~40 cm 土壤的脱盐率可达 67.3%以上^[30];在盐水灌溉下连续种植 15 年盐生植物,土壤 1 m 剖面均为脱盐状况,脱盐率达 80%以上,但是脱盐以后的土地利用需要多根系、深根系与浅根系作物搭配轮作,以保持土壤脱盐状态^[31]。通过种植具有高湿度效率和高蒸散发速率特点的耐盐树种和灌木来进行生物排灌,也是改良盐碱地的一种有效措施^[7,30]。研究表明,生物排灌对于降低新疆地下水位和推进表层盐分淋溶起到了很有效的作用。耐盐植物的选择是生物改良盐渍土的首要前提,新疆地区耐盐植物主要为杨树、胡杨、草木樨。据试验,1 株成年杨树年吸收地下水达 80 m³,一条林带吸收的地下水量相当一条排水渠的排水量^[32]。

3.3 农业改良措施

农业改良措施主要有增加土壤有机质、起槽种植、避盐栽培和种植水稻等方法^[33],这些措施在新疆盐碱地改良中已有广泛应用。但是对于种稻改良

盐碱土,目前认为其存在很多问题:1)种稻改良盐渍土的效果不稳固,有些种稻条田当年脱盐以后,在旱作 1~3 年后,盐分又回升,甚至又恢复到原来的含盐水平^[34]。2)种稻使稻田周围农田地下水位抬升,土壤盐渍化过程加剧。3)大量的引水及高矿化度水的排泄,导致河水水量减少,水质恶化^[35]。因此,大量灌水,种稻洗盐,不能从根本上改良盐渍土,改良盐渍土的根本途径是完善排水系统,降低地下水位^[36]。

3.4 化学改良措施

化学改良措施主要是在盐渍化土壤中施加石膏、磷酸、矿渣等改良剂,降低土壤中的盐碱含量^[37-38]。施用石膏等化学改良剂增加可溶性钙(Ca²⁺),通过离子代换作用将土壤中的钠(Na⁺)代换出来,结合灌溉使之淋洗,达到改良盐碱土的目的,化学改良措施一般用于重度盐碱土改良^[39]。利用燃煤烟气脱硫石膏改良碱化土壤是从 20 世纪 90 年代后期才开始的,2009 年新疆油田公司减排造林项目区,利用燃煤烟气脱硫石膏进行盐碱地改良,土壤 pH 值和全盐含量明显降低,改良后树木的平均成活率提高了 41%^[40]。此外,黄腐酸类等土壤化学改良剂在新疆盐碱地改良中也取得了良好的效果^[41-42]。但是,目前对化学改良剂在不同盐碱土壤的应用模式及应用效果还缺乏深入研究。

目前,在新疆盐碱地改良措施当中,水利工程改良和农业改良措施在生产实践中已经广泛应用,化学改良措施和生物改良措施是目前研究的重点。综合来看,农业改良措施只能局部减轻土壤盐渍化程度;生物改良措施虽能降低土壤含盐量,但不能彻底改良盐渍化土壤;化学改良措施虽然见效快,但容易引入新的离子造成二次污染,且资金投入和技术要求都很高,对大面积盐碱地的修复实施起来比较困难。经过多年实践,以上 3 种方法都不能大面积防治土壤盐渍化,因此迄今为止,新疆大面积改良土壤盐渍化的方式仍是以“排水洗盐”为前提来展开,然后再种植作物。稳定脱盐型土壤在新疆分布仍然较少,主要分布在灌溉和排水系统比较完善,明沟排水和竖井排灌相结合的地区。但是,“洗盐”用水量大,排水系统建设投资大,需要用长期的收益积累来补偿;另外,排水造成灌区下游土地次生盐渍化,影响了生态系统良性循环^[1]。

4 展 望

经过多年的改良,新疆盐碱地虽然有不同程度

的改善,但在盐碱地利用中重灌轻排所致的排灌比不适、上排下灌使灌溉水质恶化以及平原渗漏的影响仍然存在,而盲目开荒、土地不平整、种植作物单一等造成的土壤用养失调、有机肥施用量减少导致的作物抗盐性能降低等问题日益严重。而对于普遍含盐的新疆土壤,随着灌溉的扩展和大规模节水灌溉的实施,土壤盐渍化发展又呈现出新的问题和规律,例如膜下滴灌条件下的积盐问题、干涸盆地内陆盐分出路问题等。因此,对节水灌溉条件下新疆的土地盐碱化现状和演变规律进行研究,不仅具有重要的理论意义,更对新疆绿洲的持续、稳定、健康发展具有重要的现实意义。所以,水盐运移规律的研究仍是新疆盐渍化土壤改良理论研究的重点。不同改良措施对盐碱土地的改良效果各不相同,在生产实践中,合理搭配各种改良措施才能取得良好的效果。综合现有的治理措施不难发现,生物改良措施是盐渍化土地恢复最经济有效的措施,而且盐渍地修复最终目标也是实现植被的恢复与重建。目前,国际上盐碱地的改良利用已由以水利工程治理为主向生物治理转变,重视开发利用植物耐盐性的研究与应用,利用现代生物技术培育耐盐品种,使得盐碱土直接利用成为了可能^[43-44]。因此,今后应将转基因技术和其他技术手段相结合,培育更多的耐盐植物品种,并将其运用到实际当中,同时积极开展土地盐渍化发生过程、机理、防治及合理利用等相关研究,如微咸水资源合理灌溉技术、覆盖技术与盐碱土壤结构调理剂、植物与土壤盐分的相互作用机制、盐碱土的发生演变与调查监测评估等研究^[45-46],以进一步对盐碱地进行改良和合理开发利用。

建立区域水盐监测体系,寻求最佳的宏观生态调控模式和环境保护策略,开展区域水盐研究各种信息的数字化、智能化及计算机决策自动化技术基础研究,将是盐碱地改良研究的新方向^[47]。

[参考文献]

- [1] 罗廷彬,任 巍,谢春虹. 新疆盐碱地生物改良的必要性与可行性 [J]. 干旱区研究,2001(3):46-47.
Luo T B, Ren W, Xie C H. Necessity and feasibility of biotic improving the saline and alkaline land in Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 2001(3):46-47. (in Chinese)
- [2] 邢军武. 盐碱农业:新农业革命的目标、现状与前景 [J]. 世界科技研究与发展,1999(2):78-80.
Xing J W. Saline-alkali agriculture: The goal, status and prospects of the new agricultural revolution [J]. World Sci-Tech R&D, 1999(2):78-80. (in Chinese)
- [3] 樊自立,乔 木,徐海量,等. 合理开发利用地下水是新疆盐渍

化耕地改良的重要途径 [J]. 干旱区研究,2011,28(5):737-743.

Fan Z L, Qiao M, Xu H L, et al. Rational groundwater exploitation and utilization, an important approach of improving salinized farmland in Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 2011, 28(5):737-743. (in Chinese)

- [4] 季 方,樊自立,李和平. 新疆 1:100 万土地资源图总说明书 [C]//中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所. 新疆土壤与土地资源研究文集. 北京:科学出版社,1991:11-19.
Ji F, Fan Z L, Li H P. The total instructions of 1:1000000 land resource map of Xinjiang [C]//Xinjiang Institute of Biology, Pedology and Desert Research, Chinese Academy of Sciences. Xinjiang soil and land resource study series. Beijing: Science Press, 1991:11-19. (in Chinese)
- [5] 乔 木,田长彦,王新平. 新疆灌区土壤盐渍化及改良治理模式 [M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2008:17-30,95-96
Qiao M, Tian C Y, Wang X P. Soil salinization and improving-governance model in Xinjiang irrigation area [M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 2008:17-30,95-96. (in Chinese)
- [6] 李和平,田长彦,乔 木. 新疆耕地盐渍土遥感信息解译标志及指标探讨 [J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2):218-223.
Li H P, Tian C Y, Qiao M, et al. On remote sensing data interpretation key and index of saline soil of arable land in Xinjiang [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(2):218-223. (in Chinese)
- [7] 木合塔尔·吐尔洪,木尼热·阿不都克里木,西岐·泰,等. 新疆南部地区盐渍化土壤的分布及性质特征 [J]. 环境科学与技术,2008,31(4):22-26.
Muhtar T, Munira A, Yasushi N, et al. Distribution and characteristics of salinized soil in the south region of Xinjiang [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 31(4):22-26. (in Chinese)
- [8] 李义玲,乔 木,吴世新,等. 基于 3S 技术的新疆绿洲耕地盐渍化现状调查及治理对策研究 [J]. 新疆农业科学,2008,45(4):642-649.
Li Y L, Qiao M, Wu S X, et al. A study on status investigation and control countermeasures of salinization of cultivated land in Xinjiang Oasis based on 3S technology [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2008, 45(4):642-649. (in Chinese)
- [9] 闫正龙,王晓国,高 凡,等. 塔里木河干流上游地区土壤盐渍化时空变化监测分析 [J]. 干旱区资源与环境,2010,24(10):105-110.
Yan Z L, Wang X G, Gao F, et al. Monitoring analysis on spatio-temporal changes of the soil salinization in the upper stream of Tarim river [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(10):105-110. (in Chinese)
- [10] 董新光,钟瑞森,刘 丰. 近 50 年博斯腾湖与孔雀河水盐演变过程 [J]. 科技导报,2006,24(1):66-70.
Dong X G, Zhong R S, Liu F. Differentiation of water-salt-interaction in Bostan lake and peacock river in recent fifty years [J]. Science & Technology Review, 2006, 24(1):66-70. (in

- Chinese)
- [11] 王水献,杨鹏年,董新光,等. 内陆河流域绿洲灌区盐碱地改良分区及治理模式探究以新疆焉耆县平原灌区为例 [J]. 节水灌溉, 2008(3): 5-8.
Wang S X, Yang P N, Dong X G, et al. Study on control mode and amelioration regionalization for salt-affected land in Oasis irrigation district of inland river basin [J]. Water Saving Irrigation, 2008(3): 5-8. (in Chinese)
- [12] 乔玲,张芳,邹德华. 新疆灌区盐碱地成因分析及治理措施 [J]. 中国农村水利水电, 2008(8): 89-90.
Qiao L, Zhang F, Zou D H. The genetic analysis and recovering methods of saline and alkali soil in Xinjiang irrigation area [J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(8): 89-90. (in Chinese)
- [13] 王芳芳,杨涵. 基于 RS 和 GIS 的新疆渭干河三角洲的耕地及盐渍化分析 [J]. 冰川冻土, 2009, 31(4): 672-678.
Wang F F, Yang H. Study of the cultivated land and its salinization in the delta of Weigan river based on RS and GIS [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(4): 672-678. (in Chinese)
- [14] 魏云杰,许模. 新疆土壤盐渍化成因及其防治对策研究 [J]. 地球与环境, 2005, 33(增刊): 593-597.
Wei Y J, Xu M. Study on soil salinization and countermeasures of its prevention in Xinjiang [J]. Earth and Environment, 2005, 33(Suppl.): 593-597. (in Chinese)
- [15] 张辉. 新疆农二师盐碱地形成原因与治理措施 [J]. 甘肃水利水电技术, 2010, 46(2): 42-44.
Zhang H. Causes of soil salinization and control measures in the second agricultural division of Xinjiang production & construction corps [J]. Gansu Water Conservancy and Hydropower Technology, 2010, 46(2): 42-44. (in Chinese)
- [16] 陈小兵,杨劲松,刘春卿. 大农业条件下新疆土壤盐碱化及其调控对策 [J]. 土壤, 2007, 39(3): 347-353.
Chen X B, Yang J S, Liu C Q, et al. Soil salinization under integrated agriculture and its countermeasures in Xinjiang [J]. Soils, 2007, 39(3): 347-353. (in Chinese)
- [17] 陈模,杨绍斌. 焉耆盆地盐渍化土壤的形成与改良 [J]. 国土与自然资源研究, 1992(3): 46-49.
Chen M, Yang S B. Formation and improvation of saline soil in Yanqi basin [J]. Land & Natural Resources Study, 1992(3): 46-49. (in Chinese)
- [18] 岳川. 浅析新疆灌区水盐平衡与土壤盐渍化关系 [J]. 甘肃水利水电技术, 2011, 47(9): 38-40.
Yue C. The relationship between regional water-salt balance and soil salinization of Xinjiang irrigation area [J]. Gansu Water Conservancy and Hydropower Technology, 2011, 47(9): 38-40. (in Chinese)
- [19] 刘洪亮,褚贵新,赵风梅,等. 北疆棉区长期膜下滴灌棉田土壤盐分时空变化与次生盐渍化趋势分析 [J]. 中国土壤与肥料, 2010(4): 12-17.
Liu H L, Chu G X, Zhao F M, et al. Study on the variation and trend analysis of soil secondary salinization of cotton field under long-term drip irrigation condition in northern Xinjiang [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2010(4): 12-17. (in Chinese)
- [20] 刘春卿,杨劲松,陈小兵,等. 新疆玛纳斯河流域灌溉水质与土壤盐渍状况分析 [J]. 土壤, 2008, 40(2): 288-292.
Liu C Q, Yang J S, Chen X B, et al. Quality of irrigation water and soil salinity of the Manas river valley in Xinjiang [J]. Soil, 2008, 40(2): 288-292. (in Chinese)
- [21] 张伟,吕新,马云峰,等. 次生盐渍化棉田膜下滴灌盐分运移规律研究 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49(5): 1089-1100.
Zhang W, Lü X, Ma Y F, et al. Research on salt transfer saw at the condition of drip irrigation at the secondary-salinized cotton field [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(5): 1089-1100. (in Chinese)
- [22] 张飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽. 干旱区土壤盐渍化及其对生态环境的损害评估: 以新疆沙雅县为例 [J]. 自然灾害学报, 2009, 18(4): 55-62.
Zhang F, Taxifulati T, Ding J L. Soil salinization in arid area and its economic loss evaluation of eco-environmental damages: A case of Shaya county in Xinjiang [J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(4): 55-62. (in Chinese)
- [23] 姜卉芳,董新光,郭西万,等. 新疆焉耆盆地水-盐平衡模型的率定与检验 [J]. 灌溉排水, 2000, 19(1): 78-80.
Jiang H F, Dong X G, Guo X W, et al. A model of water and salt balance for Yanqi basin in Xinjiang [J]. Irrigation and Drainage, 2000, 19(1): 78-80. (in Chinese)
- [24] 鄯金标,张福锁,毛达如,等. 新疆盐渍土分布与盐生植物资源 [J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 299-303.
Xi J B, Zhang F S, Mao D R, et al. Saline-soil distribution and halophyte resources in Xinjiang [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(3): 299-303. (in Chinese)
- [25] 亢庆,张增祥,王长有,等. 艾比湖绿洲农业区土地利用动态与盐碱化影响的遥感应用研究 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 73-78.
Kang Q, Zhang Z X, Wang C Y, et al. Application of remote sensing technique for land use changes and soil salinization in agricultural area of Oasis [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2): 73-78. (in Chinese)
- [26] 亢庆,张增祥,赵晓丽,等. 基于遥感技术的干旱区土地盐碱化分级 [J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(3): 144-148.
Kang Q, Zhang Z X, Zhao X L, et al. Remote sensing application to rapid survey of land salinization based on multi-source images [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(3): 144-148. (in Chinese)
- [27] 刘子义. 暗管排水技术在新疆干旱重盐碱地区的应用 [J]. 新疆水利, 1993(3): 11-19.
Liu Z Y. Application of subsurface drainage in arid-severe salinity region in Xinjiang [J]. Xinjiang Water Resources, 1993(3): 11-19. (in Chinese)
- [28] 李平,赵鸿斌,田原,等. 塔里木河流域土地盐渍化改良与竖井排灌工程 [J]. 地质灾害与环境保护, 2002, 13(2): 48-52.
Li P, Zhao H B, Tian Y, et al. Salinity soil improvement and

- shaft drainage and irrigation engineering in Tarim River Basin [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2002, 13(2): 48-52. (in Chinese)
- [29] 宁虎森, 吉小敏, 梁继业, 等. 牧草对塔里木河上游灌区盐渍土的适应和改良效应初探 [J]. 草业科学, 2010, 27(11): 71-76. Ning H S, Ji X M, Liang J Y, et al. Adaptation of forage plants to saliferous soil and improvement of these forage plants for saliferous soil in the irrigation region of upper reaches of the Tarim river [J]. Pratacultural Science, 2010, 27(11): 71-76. (in Chinese)
- [30] 任 崑, 罗廷彬, 王宝军, 等. 新疆生物改良盐碱地效益研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 211-214. Ren W, Luo T B, Wang B J, et al. Biological improvement of saline and alkaline land in Xinjiang [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(4): 211-214. (in Chinese)
- [31] 罗廷彬, 任 崑, 李 彦. 新疆盐碱地长期利用盐水灌溉土壤盐分变化 [J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(5): 36-40. Luo T B, Ren W, Li Y. Salinity changes for long-term irrigation of saline water in saline soil in Xinjiang [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2004, 23(5): 36-40. (in Chinese)
- [32] Zhao C Y, Wang Y C, Song Y D, et al. Biological drainage characteristics of alkalized desert soils in north-western China [J]. Journal of Arid Environments, 2004, 56(1): 1-9.
- [33] 毛国新, 刘继兵. 农十师土壤次生盐渍化成因及改良措施 [J]. 新疆农垦科技, 1999(2): 37-38. Mao G X, Liu J B. Causes of secondary salinization and improvement methods of soil in the second agricultural division of Xinjiang production & construction corps [J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 1999(2): 37-38. (in Chinese)
- [34] 黎立群, 董汉章, 王遵亲. 新疆种稻改良盐土的问题 [J]. 土壤学报, 1980, 17(4): 365-372. Li L Q, Dong H Z, Wang Z Q. The problem of washing salt in soil by plant rice in south Xinjiang [J]. Acta Pedologica Sinica, 1980, 17(4): 365-372. (in Chinese)
- [35] 俞仁培, 尤文瑞. 土壤盐化碱化的鉴别与防治 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 40-49. Yu R P, You W R. Identification and control of soil salinization and alkalization [M]. Beijing: Science Press, 1993: 40-49. (in Chinese)
- [36] 沈玉凌. 新疆阿克苏地区种稻改良盐渍土问题 [J]. 干旱区研究, 1998, 15(3): 56-59. Shen Y L. The problem of washing salt in soil by plant rice in Aksu, Xinjiang [J]. Aridd Zone Research, 1998, 15(3): 56-59. (in Chinese)
- [37] Sadiq M, Hassan G, Mehdi S M, et al. Amelioration of saline-sodic with tillage implements and sulfuric acid application [J]. Pedosphere, 2007, 17(2): 182-190.
- [38] 陈 欢, 王淑娟, 陈昌和, 等. 烟气脱硫废弃物中的应用及效果 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 38-43. Chen H, Wang S J, Chen C H, et al. The application and effect of desulphurized waste of flue gas in improving alkali soil [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(4): 38-43. (in Chinese)
- [39] 王利民, 陈金林, 梁珍海, 等. 盐碱土改良利用技术研究进展 [J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(1): 143-148. Wang L M, Chen J L, Liang Z H, et al. Research progress of improvement and utilization of saline and alkali soil [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(1): 143-148. (in Chinese)
- [40] 李 彦, 衣怀峰, 赵 博, 等. 燃煤烟气脱硫石膏在新疆盐碱土壤改良中的应用研究 [J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1682-1685. Li Y, Yi H F, Zhao B, et al. Study on improving Xinjiang sodic soils amelioration with desulfurized gypsum [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(7): 1682-1685. (in Chinese)
- [41] 张江辉, 白云岗, 张胜江, 等. 两种化学改良剂对盐渍化土壤作用机制及对棉花生长的影响 [J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 384-388. Zhang J H, Bai Y G, Zhang S J, et al. Effect of two kinds of soil ameliorant on saline soil improvement and cotton growth [J]. Arid Zone Research, 2011, 28(3): 384-388. (in Chinese)
- [42] 王新平, 赵春艳, 加孜拉, 等. 不同土壤改良剂对新疆盐碱土壤的改良效果研究 [J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(4): 133-135. Wang X P, Zhao C Y, Jia Z L, et al. Influence of different soil amendments on physico-chemical properties of saline-alkali soil in Xinjiang [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(4): 133-135. (in Chinese)
- [43] Miyama M, Tada Y. Transcriptional and physiological study of the response of Burma mangrove (*Bruguiera gymnorhiza*) to salt and osmotic stress [J]. Plant Mol Biol, 2008, 68: 119-129.
- [44] 张士功, 邱建军, 张 华. 我国盐渍土资源及其综合治理 [J]. 中国农业资源与区划, 2000(2): 52-56. Zhang S G, Qiu J J, Zhang H. Saline soil resources and comprehensive management of China [J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2000(2): 52-56. (in Chinese)
- [45] 郭洪海, 杨丽萍. 滨海盐渍土生态治理基础与实践 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 212-288. Guo H H, Yang L P. Basis and practice of Coastal saline soil ecological management [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007: 212-288. (in Chinese)
- [46] 李志杰, 孙文彦, 马卫萍, 等. 盐碱土改良技术回顾与展望 [J]. 山东农业科学, 2010(2): 73-77. Li Z J, Sun W Y, Ma W P, et al. Review and prospects of improvement technology for saline-alkali soil [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2010(2): 73-77. (in Chinese)
- [47] 蔺 娟, 地里拜尔·苏力坦. 土壤盐渍化的研究进展 [J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2007, 24(3): 318-323, 328. Lin J, Dilbar S. Progress in the study on soil salinization [J]. Journal of Xinjiang University: Natural Science Edition, 2007, 24(3): 318-323, 328. (in Chinese)