

中国盐渍土研究的发展历程与展望*

杨劲松

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 盐渍土在我国广泛分布,西北、华北、东北及沿海是我国盐渍土的主要集中分布地区,耕地中也有大量盐渍化土壤分布。盐渍土是我国最主要的中低产土壤类型之一,人类活动对其作用明显。本文回顾了我国盐渍土研究工作的发展历程,分析了我国目前盐渍土相关研究工作的现状和近期主要研究工作进展,并结合目前国内外相关研究的前沿和热点问题,提出了我国盐渍土研究的展望。建议重点进行土壤盐渍化评估和预警、土壤水盐运移过程及其模拟、植物与土壤盐分相互作用机制、土壤水盐优化调控、盐碱障碍治理与修复和盐渍化的生态环境效应等方面的研究。

关键词 盐渍土;盐渍化;水盐调控;治理;修复

中图分类号 S156.4 **文献标识码** A

盐渍土在我国分布广泛,从热带到寒温带、滨海到内陆、湿润地区到极端干旱的荒漠地区,均有大量盐渍土的分布^[1]。我国盐渍土总面积约为 $3\ 600 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占全国可利用土地面积的 4.88%。西北、华北、东北地区及沿海是我国盐渍土的主要集中分布地区。其中,西部六省区(陕、甘、宁、青、蒙、新)盐渍土面积占全国的 69.03%。我国耕地中盐渍化面积达到 $920.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占全国耕地面积的 6.62%^[2,3]。盐渍土是我国最主要的中低产土壤类型之一,其生产力水平与其质量状况有非常密切的关系。同时,盐渍土质量的变动过程较快,受人类影响明显,不当利用条件下常迅速导致土壤的退化和生产力水平的降低。在人们开发和利用土壤和水资源,特别是干旱和半干旱地区水土资源的过程中,土壤盐渍化问题一直是必须重视的问题^[4]。盐渍土研究中的科学问题与生产实践结合紧密,盐渍土研究工作受到了科技工作者和社会的广泛关注。

本文回顾了我国盐渍土研究工作的发展历程,分析了我国目前盐渍土相关研究工作的现状特点和近期主要研究工作进展,结合目前国内外相关研究的前沿和热点问题,提出了我国盐渍土研究的展望。

1 中国盐渍土研究发展历程回顾和现状特点

盐渍土的研究开始于一个多世纪以前,到 20 世纪 20~30 年代,土壤学家开始用地球化学观点、原理和方法,研究盐渍土的发生与演变问题,将盐分在土壤中迁移转化的地球化学作用规律作为盐渍土研究的基础和核心。由于盐渍土分布广泛、农业地位重要,我国历来高度重视盐渍土的调查、利用和治理方面的研究工作。建国初期,国内组织的对东北、青海、西藏、新疆、宁夏、内蒙古、华北平原等地的土地资源考察和全国性的土壤普查,为摸清我国盐渍土资源状况和开展盐渍土研究打下了良好技术基础。在新疆、宁夏、内蒙河套地区、松嫩平原和辽河三角洲等地大规模开展的盐渍土的开垦、改良和利用工作,扩展了我国耕地资源面积,对当时我国农业生产的发展做出了重要贡献。我国在 20 世纪 50 年代开展的盐渍土资源的大规模考察、勘测垦殖、改良和利用的实践,促进了盐渍土研究工作的发展,为我国现代的盐渍土改良科学奠定了基础,并造就出了一批著名科学家。

* 国家 863 计划重点项目课题 (2007AA091702)、中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX1 - YW - 09 - 05)和新疆自治区科技攻关课题 (200733144 - 1 - 1)资助

作者简介:杨劲松 (1959 ~),男,博士,研究员,博士生导师,主要从事土壤盐渍化防控和盐渍土资源利用方面研究。E-mail: jsyang@issas.ac.cn

收稿日期:2008 - 06 - 28;收到修改稿日期:2008 - 07 - 22

20世纪60年代至70年代我国基础设施建设和农业发展较快,由于在农业发展过程中存在灌溉工程不配套、排水系统不健全、土地不平整、灌水技术粗放等问题,导致一些地区的地下水位剧烈抬升,土壤次生盐渍化广为发展,严重影响了农业生产发展。在这一阶段,针对次生盐渍化的困扰和危害,土壤科学工作者加强了地下水临界深度及其控制、灌溉渠系的布置和防渗、明暗沟和竖井排水技术等方面的研究,减轻和消除次生盐渍化的危害。同时,研究建立了围埝平种、沟畦台田、引洪温淤、冲沟播种、深耢浅盖、绿肥有机肥培肥改土、选种耐盐品种和生物排水等农林技术措施。在解决了生产问题的同时,也很好解决了盐渍土研究中的一些科学问题。

20世纪70年代以后,我国启动了多项与旱涝盐碱综合治理相关的国家科技攻关项目,如“黄淮海平原中低产地区的旱涝盐碱综合治理”。盐碱综合治理实践和相关科学研究工作对我国北方各盐渍土和中低产地区产生了广泛影响,推动了我国盐渍土及其改良工作发展。通过治理实践和科学研究,人们认识到,应该以现代科学理论和技术为指导,根据不同条件,建立相应的综合治理模式,推动盐碱治理工作的开展。在科技攻关期间,还根据不同类型区在黄淮海平原建立了多个综合治理试验站(区)。新疆、宁夏等地的排水种稻,吉林的综合改良苏打盐土、江浙鲁冀诸省的海涂开发、内蒙古一些地区的井排等均在综合治理方面取得了可喜进展。在这一阶段,我国的土壤科学家先后获得了国家科技进步特等奖等重要奖项,并完成了《中国盐渍土》等一系列专著。

进入21世纪以来,随着农业发展速度加快和土地资源开发利用强度的提高,一些地区原有的盐渍化问题加剧,同时还出现了一些新的盐渍化问题。在灌溉区扩展、节水灌溉技术大面积应用、设施农业技术的推广应用、绿洲开发、劣质水资源利用、沿海滩涂资源开发、后备土地资源的开发利用以及大型水利工程建设过程中,有关盐渍土资源的利用、管理和盐渍化的防控等方面的研究与技术研发工作受到了科技工作者的广泛重视,在不同利用条件下盐渍土资源的优化管理、盐碱障碍的修复与调控、水盐动态和土壤盐渍化时空规律评估、土地资源高强度利用条件下盐渍化的防控等研究方面取得了一系列研究成果,为我国盐渍土分布区和盐渍区的农业可持续发展、水土资源高效利用和生态环

境改善做出了重要贡献。

2 中国盐渍土研究的主要内容和研究工作进展

2.1 盐渍土和盐渍化的发生与演变

我国盐渍土分布面积大、分布区域广,类型众多,不同生物气候带的盐渍土具有不同发生特点和演变规律。盐渍土和盐渍化的发生与演变是盐渍土的基础性研究工作内容,主要包括:不同区域和不同自然条件下盐渍土的成因和演变规律、不同类型盐渍土的基本特性和区域分布特征、盐渍土的分类、不同类型盐渍土的分级、人为作用条件下盐渍化的发生与演变特征和盐渍土调查制图等。

近年来,一些土壤盐渍化热点地区,如新疆绿洲和东北松嫩平原盐渍化的发生和演变问题以及不当管理条件下和设施栽培条件下次生盐渍化的发生演变问题受到重视。何祺胜等对渭干河-库车河三角洲绿洲盐渍化成因进行了分析,认为干旱荒漠气候、含盐母岩和母质、活跃的地表水和地下水的补给是盐渍土形成的动力,人为活动是形成灌区次生盐渍地的重要条件^[5]。李晓军等运用遥感图像数据,分析了松嫩平原西部典型盐渍化区的土地利用变化和分布特征及其对盐渍化的影响。发现中部和南部地区耕地、草地和碱斑地之间发生相互剧烈转化,碱斑地分面积不断扩大^[6]。姚荣江等研究了黄河三角洲地下水作用条件下耕层土壤的积盐规律,从空间尺度对该区地下水矿化度与耕层土壤积盐规律进行了定量分析。研究发现耕层土壤盐分与地下水矿化度的空间分布具有一定正相关性,而与地下水埋深呈负相关性^[7]。赵莉等认为土壤次生盐渍化是我国保护地栽培生产中的一个重要限制因子,保护地土壤环境封闭、大量盲目施肥和灌溉不合理是导致保护地土壤次生盐渍化的主要原因。表层土壤中盐离子富集危害了农作物生长,影响产量和品质^[8]。

2.2 土壤水盐运移机理及其建模

土壤水盐运移过程和运移机理研究是盐渍土研究的核心问题,农田土壤水盐模型研究是阐明农田土壤水盐动态变化规律,进行农田水盐模拟和盐渍化预报的有效方法。因此该方面研究一直受到研究者们的高度重视。根据不同的研究目的和数据条件,研究者采用了不同模型方法来研究水盐运移过程,包括宏观水文模型、质量或水量平衡模型、

确定性机理模型、传递函数模型和随机统计模型等。

随着水盐运移机理及其建模研究工作的深入,近期更加重视复杂田间条件下的土壤水盐运移研究,重视模型的田间验证,使其有更好的应用前景。近年来开展的特色水盐运移研究工作主要包括:干旱区特别是灌区的土壤水盐平衡分析和水盐运移机理、咸水或微咸水利用条件下的水盐运移规律、冻融条件下的土壤水盐动态规律、滴灌条件下土壤水盐运移与盐分积聚规律及其模拟、非均质土壤盐分优先运移随机模拟、水-热-盐耦合运移的数值模拟、遗传算法和神经网络在水盐运移模型中的应用等方面的研究。

岳卫峰等研究并建立了内蒙古河套灌区非农区-农区-水域的水盐运移及均衡模型,并利用该模型对水分在各个环节的转化与消耗、以及水盐的迁移进行了定量分析。结果显示农区脱盐量的75%随地下水迁移到了非农区^[9]。杨艳等运用入渗模型研究了碱土、盐土在微咸水入渗条件下土壤水盐运移特性,研究发现土壤累积入渗量随矿化度的提高而增加,不同钠吸附比(SAR)微咸水入渗对盐土、碱土入渗能力的影响不大,碱土的水分和盐分运移与入渗水矿化度均呈正相关^[10]。李瑞平等对土壤冻融期间多年水分、盐分和温度的变化规律进行了分析,研究发现气温的降低引起了土壤温度的降低,从而引起水分和盐分的迁移,盐分的时间变异系数大于水分的变异系数,说明盐分的运移机制较水分运移机制复杂^[11]。同时还建立了季节性冻融土壤水盐动态预测的BP人工神经网络模型,对冻融土壤水盐耦合运移进行了联合预测。刘炳成等建立了描述土壤中水、热、盐耦合运移的数学模型并进行相应的数值研究,获得土壤中水、热、盐的动态迁移特性,探讨了土壤质地对盐分运移的影响,研究发现:盐分运移受土壤质地与结构的影响较大,并与土壤水分运移密切相关^[12]。刘春卿等研究了滴灌条件下不同流量土壤水盐运移及再分布规律。结果发现大滴头流量促进了水分的水平运动,水平扩散速率明显大于垂直入渗速率,滴灌结束后土壤盐分经历一个再分布过程并进一步向深层运移^[13]。

2.3 盐渍化的监测、评估、预测和预警

盐渍化的监测、评估和预警研究主要包括土壤水盐动态的监测技术方法,土壤盐分状况的评估技术方法,田间和区域盐渍化发生的风险评价和预警技术方法,以及典型或热点区域次生盐渍化发生与

发展趋势预测、预警和风险评估等。新的技术和方法在盐渍化的监测、评估和预警研究中得到了广泛应用,进一步提高了土壤水盐动态和盐渍化监测的效率和精度。在土壤盐渍化状况评估方面,土壤盐分的空间分布与变异特性、土壤盐分动态的时序演变特征等研究进一步深入。近期研究工作还建立与完善了不同尺度土壤盐分监测的技术和方法,分析比较了点尺度、田块尺度和区域尺度土壤盐分与土壤盐渍化关联属性的空间分布与变异特性,探索了土壤盐分与土壤盐渍化关联属性的尺度提升、不同尺度监测数据间的衔接和运用多尺度监测数据对土壤盐渍化状况进行综合解译和评估的技术与方法。电磁感应式大地电导率测量(EM)方法由于其无需电极插入、测量速度快,在土壤盐分含量和盐渍化调查、监测与评估研究中有广阔应用前景。运用EM-31和EM-38电磁感应式大地电导率仪、高精度GPS、数据采集器、动力牵引平台等构建的移动磁感式测定系统,可在田间快速进行大地电导率测量,运用数据解译模式结合GIS分析手段,可获得土壤剖面分层盐分含量和土壤盐分的空间分布数据与相关图件资料。在盐渍化的监测、评估的区域尺度研究方面,遥感信息方法获得了广泛运用。在点尺度方面,一些响应迅速、精度高的测量技术方法得到应用,增强了对过程性土壤盐分动态的监测能力。盐渍化的预警研究主要集中在土壤盐渍化发生与演变的热点地区开展,如西北干旱灌溉扩展和滴灌区、东北松嫩平原、部分引河灌区、大型水利工程影响区等。

姚荣江等运用电磁感应仪(EM38和EM31)及其移动测定系统,结合GIS和地统计学方法,研究了黄河三角洲典型地块土壤盐分与磁感表观电导率间的响应关系,分析了表观电导率的空间变异特征,并对土壤盐分空间分布进行了定量评价^[14]。买买提沙吾提等使用Radarsat SAR与Landsat TM影像进行主成分融合,提取了干旱区绿洲盐渍土地及其空间分布信息。主成份变换融合影像的光谱信息保持性、信息量均优于其他常用融合方法,分类精度较单一LANDSAT TM多光谱影像有较大提高。研究发现盐渍土地主要分布在绿洲的和沙漠之间的交错带,盐渍地的分布在绿洲内部呈条形状分布,而在绿洲外部呈片状分布,且绿洲外部重度盐渍地交错分布在中轻度盐渍地中^[15]。杨建锋等分析了现有土壤水分运动参数和溶质运移参数确定方法,归纳了包气带水和溶质运移模型从“点”尺度

向“田块”尺度扩展的途径^[16]。汤洁等运用 GIS-PMoFlow 联合系统确定了地下水环境预警警戒,采用以不至于发生土壤盐碱化的潜水临界水位作为上警戒线值,在对系统模型概化的基础上,进行了潜水位的数值模拟和预报,认为研究区 2015 年的警情较 1999 年增加,且以灌溉后潜水位上升引起的土壤次生盐渍化的警情为主^[17]。王少丽等通过对新疆农七师区域水盐监测、水盐平衡计算与分析,对现有水盐状况是否满足盐分控制要求作出评价,研究表明,引进的盐分只有大约 40% 从平衡区内排出,有 60% 左右的盐分滞留在平衡区内,其结果势必加重区域内土壤盐渍化的程度^[18]。

2.4 土壤水盐的优化调控

运用不同水利工程、灌溉管理、排水管理、田间和耕作管理、生物农艺等措施与方法调控土壤水盐动态,对调节区域水盐平衡和盐分的剖面分布特征、控制盐分积聚、治理土壤盐碱、防范次生盐渍化发生、抑制盐分对作物的毒害和影响、改善土壤质量和提高土地生产力水平,具有重要理论意义和实际应用前景。在单项调控机制研究基础上,根据不同地区自然条件和实际需求设立水盐调控目标,进行单项调控方案的系统集成和优化,形成土壤水盐优化调控方案,能提高水盐调控效率,改善调控效果,对生产实践具有更加重要的指导意义。近期开展的相关研究工作主要包括了土壤水盐调控的机理及其建模、区域水盐平衡调控规划技术和土壤水盐优化调控技术等。

王学全等在研究了内蒙古河套灌区的水盐动态特征基础上,提出了引水量增加、灌溉面积扩大、重灌轻排、灌排工程不配套、大水漫灌等是使灌区的地下水位迅速上升并加剧土壤盐渍化的原因。同时提出高效地利用灌溉水资源,采用渠井灌排技术和实施节水灌溉制度,来调控灌区水盐动态,能总体上使河套灌区的灌溉土壤逐步由积盐向脱盐方向实现良性循环发展^[19]。张妙仙等建立了蒸散发条件下农田土壤水盐动态简化模型,通过引入盐分影响下的作物蒸散发修正系数并与水盐生产函数相反反馈,进行土壤水盐动态的修正,从而应用于蒸散发期间田间水盐状况的调控管理^[20]。王葆芳等研究认为,采用灌溉与竖井提灌相结合的灌溉方式是较为科学的水资源利用模式。采取工程和生物相结合措施、竖井以灌代排和渠道防护林营造等方法,可对沿黄(河)灌区进行合理的水盐综合调控,以解决水资源浪费和土壤盐渍化问题^[21]。陈小

兵等以水盐生产函数为依据,计算了不同生育阶段棉花相对产量与土壤全盐的关系,提出了灌区水盐调控的对策,认为排水系统的通畅运行是控制土壤次生盐碱化的关键,应通过排水系统和减少灌溉定额使作物生长期的地下水埋深控制在一定深度^[22]。徐力刚等研究了作物种植条件下不同调控措施对土壤盐分和土壤水分的影响,研究了作物种植条件下土壤的水盐动态变化规律及引起变化的原因。综合分析了灌溉水矿化度、灌水次数、灌水量、有机肥施用量及覆盖 5 种不同试验因素下土壤水盐变化过程,研究了试验因子对土壤水分盐分动态的作用和调控机制^[23]。

2.5 盐碱障碍治理与修复

通过多年的改良和综合治理技术的应用,有不少地区的盐渍土得到了治理和改造,耕地质量和土地生产力水平得到了提高^[24~26]。但同时也有不少地区的盐碱问题仍然制约农业生产和土壤质量的提高,有些地区的盐渍化问题还有加重和扩展的趋势^[27~29]。盐碱障碍是影响土壤质量和造成土地生产力水平低下的重要原因。开展盐碱障碍的治理和修复研究,对合理和高效利用不同类型和不同程度的盐渍土资源、改善盐渍土壤质量、提高盐渍土地的生产力水平具有重要理论和实际价值。近期的研究工作较为关注耕地盐碱障碍治理与调控和不同类型盐渍土的快速治理与修复技术研究,特别是中低产田盐碱障碍、灌溉扩展条件下盐碱障碍、新型灌溉方式下的盐碱障碍、设施农业条件下的盐碱障碍、微咸水利用条件下的盐碱障碍、沿海滩涂盐碱障碍的治理和修复问题。除盐碱障碍的水利工程、耕作栽培、综合农艺、土壤肥力恢复、改良剂应用等治理和修复技术外,近年来生物措施和技术在土壤盐碱障碍治理和修复中的重要性不断增加。植被恢复技术、耐盐植物(作物)种植、林带生物排水功能构建、复合生物系统构建、生物有机肥料应用等在盐碱障碍治理和修复研究与实践方面发挥了重要作用。

胡伟等比较了三种耐盐牧草生物修复盐渍化耕地的效果,发现了不同品种牧草植株、不同生育期内对 K^+ 、 Na^+ 的选择吸收能力存在差异,种植小黑麦修复盐渍化耕地效果最佳^[30]。张凌云等进行了盐碱土壤修复材料对盐渍土理化性质影响的试验研究。通过施用盐碱土壤修复材料,土壤含盐量、土壤容重、土壤 pH 均有所降低,土壤孔隙度增加,土壤速效 N、P、K 含量和土壤有机质含量提高,

表明盐碱土壤修复材料能改善滨海盐渍土的理化性质,达到土壤改良的目的^[31]。盛连喜等是根据松嫩平原盐碱土强度和特征,提出了着眼于自然恢复与植物修复,并辅以人工调控和改良剂应用,促进盐碱化土地逐渐向良性方向发展的观点^[32]。刘虎俊等提出了在河西走廊的盐渍化土地上建立明沟排水、井排和干排(植物)的排水系统,将深耕、客土等农艺措施与淡水洗盐结合,应用地表覆盖、免耕和沟植技术形成盐渍化土地的工程治理系统^[33]。王志春等研究并提出了东北松嫩平原低洼易涝盐碱地开发水稻、盐碱化低产旱田改良、盐碱化草地恢复、盐碱湿地保育和盐碱泡沼养鱼的盐碱化土地治理对策^[34]。

2.6 盐渍土资源的可持续利用与优化管理

我国盐渍土资源分布广泛、类型众多,不同地域的自然条件存在差异。干旱与半干旱区土壤资源不合理利用也是加速土壤盐渍化的原因之一^[35]。因此,需要根据不同地区的土壤条件和其他盐渍化发生条件的特点,开展盐渍土资源的持续利用与优化管理研究,提高盐渍土利用中的管理水平,以提高盐渍土资源的利用效率,实现盐渍土资源的安全和可持续利用,避免次生盐渍化发生而导致的土地质量下降和弃耕。

在盐渍土资源的集中分布区域,如黄淮海平原地区、东北松嫩平原、西北干旱地区、沿海滩涂地区,盐渍土资源的持续利用与优化管理研究尤其受到重视。近期受到关注的研究内容主要包括:盐渍土资源可持续利用的技术措施、盐渍土利用综合管理措施与技术看案、次生盐渍化防控的土地利用管理措施和区域盐渍土资源可持续利用对策等。

李贻学等分析了黄河三角洲盐渍土可持续利用的限制性因素,提出了黄河三角洲盐渍土可持续利用的对策,包括:完善农田水利基本建设,采取水利工程措施、农业生产技术和生物措施,综合治理盐渍土。根据生态农业理论,统筹规划,用地与养地相结合,合理配置盐渍土的农、林、牧比例,完善盐渍土开发利用的政策法规^[36]。李彬等分析了吉林省盐碱地资源可持续利用对策,提出理顺盐碱地治理改造与开发利用的关系、加强盐生植物利用、发展盐碱土农业,充分挖掘盐碱地资源潜力的对策建议^[37]。李艳等开展了盐碱农田基于多个数据源的精确农作管理分区研究。研究发现不同管理分区之间土壤化学性质的均值存在显著差异。利用所选取的三个变量,应用模糊c均值聚类算法进行

精确农作管理分区划分,分区结果可以作为变量管理的决策单元用于田间变量管理作业中,为精确农业变量投入的实施提供有效手段和决策依据^[38]。

2.7 土壤盐渍化的生态环境效应

作为一个重要的土壤退化类型,土壤盐渍化与环境的关系研究逐步受到了重视。近期科技工作者在次生盐渍化的生态环境效应、盐渍区水土资源开发利用中的生态环境问题、大型水工程影响区盐渍化引发的生态环境问题、土地退化与生态环境的关系、气候变化与盐渍化演变、绿洲扩展和节水灌溉条件下的盐渍化及其生态环境问题等方面开展了相关研究工作。

马传明在分析我国西北地区盐渍化土地形成机制的基础上,指出上游灌区土地次生盐渍化是西北地区盐渍化土地开发利用过程中所引发的重要环境问题^[39]。李元寿等分析了西北干旱区水资源特点及利用现状,指出水资源利用上的过度和不当地不仅对水资源造成极大的浪费,而且引发了一系列生态环境问题,其中最突出的是内陆河中游农灌区盐渍化与下游荒漠化^[40]。郑度讨论了西北干旱区的土地退化、生态建设及区域发展等问题。指出干旱区土地退化主要为土地沙漠化、土地次生盐渍化和草地退化,采取生态修复和建立自然保护区等措施有助于环境整治与生态建设,在区域发展中应当重视水土资源的合理开发利用以及区域间环境与发展的协调问题^[41]。余世鹏等分析了大型水工程与长江河口地区土壤水盐变化的关系,指出三峡调蓄对长江河口水情和咸水入侵产生一定影响,其对盐渍化的影响和作用应该受到进一步关注^[42]。还有研究者提出,我国土地盐碱荒漠化与气候变化有着紧密的联系^[43, 44]。目前中国华北及东北地区气候有向暖干化发展的趋势,气候干旱加剧了土地盐碱化的发展。我国东部沿海及黄河、长江三角洲等地区,气候变化将导致海平面的升高,造成海岸地区地表水及地下水出流不畅,土壤盐分的水平运动受到影响,不利于区域内盐分的输出。海平面上升引起的海潮入侵、溯河倒灌和直接补给沿岸地下水等方式,将继续参与现代积盐过程,在一定程度上可能会延缓土壤向非盐渍化方向发展的进程,造成生态环境问题。

3 中国盐渍土研究展望

经过多年工作积累,我国的盐渍土研究取得了

长足进展。盐渍土基本特性及其评估技术方法等研究进一步深入,多学科方法与技术的综合运用得到了加强。盐渍土利用过程中的优化管理和土壤水盐动态的优化调控受到重视。关注土壤盐渍化的发生演变与生态环境的关系,将土壤盐渍化作为土地退化的一个重要方面和影响全球生态环境的重要因子来研究。人类活动对土壤次生盐渍化的影响、土壤盐渍化的预测预报和土壤盐渍化演变趋势等研究已逐步与生态环境的变化联系起来。环境友好、费用节省的生物治理和盐土农业技术受到了重视。

从科学需求角度,土壤中盐分运移、积聚及其变化过程,盐渍土的发生演变与新型盐渍化评估技术方法,土壤水盐调控,盐渍土资源的利用与管理,土壤盐渍化的防控,盐渍化的环境效应等,是国内外盐渍土研究的重点问题^[45~54]。而盐渍土资源作为我国重要的土壤资源和农业资源,其利用和管理更应该成为盐渍土研究工作的重点。盐渍土研究工作应深入阐明土壤水盐运移机制和土壤盐分动态变化规律,揭示植物与土壤盐分之间的相互作用机理,建立土壤的水盐调控理论体系和防抑盐碱障碍定向培育理论。同时,要针对我国主要盐渍土壤的盐碱障碍因子特点,运用综合管理技术措施,进行盐渍土壤的水盐与肥力状况的优化调控,通过盐渍土壤的定向培育提高其土壤质量,防范次生盐渍化的发生,以提高盐渍土的生产力水平,提高我国盐渍土资源的利用效率。展望我国的盐渍土研究,建议重点开展以下工作。

1) 土壤盐渍化的监测、评估、预测和预警研究:包括研究土壤水盐的动态监测技术、田间土壤盐分的优化评估技术方法、不同利用和管理条件下盐渍化发生的多尺度风险评价和预警技术方法,开展典型盐渍区或热点区域次生盐渍化发生与发展趋势预测、预警和风险评估研究,开展盐碱危害指标及土壤盐渍化危害诊断指标体系研究,完善盐渍土分级指标体系。

2) 田间尺度的土壤水盐运移过程及其模拟研究:重点研究土壤盐分运移、积聚的动力学机制,土壤水盐运移过程及其空间变异的动态模拟,土壤水盐运移模型的尺度提升,咸水或微咸水利用条件下的水盐运移规律,滴灌条件下土壤水盐运移与盐分积聚规律及其模拟,水-热-盐耦合运移的数值模拟,以及水盐运移的随机统计模型等。

3) 植物与土壤盐分的相互作用机制与盐渍土

的生物治理:包括植物对土壤盐分的响应机理、植物种植对土壤盐分动态的影响机制、生物作用对盐分运移与积聚的影响机理、植物抗盐机理及其调控理论、盐渍土的生物治理机制、盐土农业技术等。

4) 土壤水盐优化调控机制与技术研究:包括水利工程、灌溉、排水、田间和耕作、生物农艺措施的调控土壤水盐的机制,集成水盐调控目标的土壤水盐优化调控机制,区域水盐平衡调控规划技术、土壤水盐优化调控技术与集成模式,潜在盐渍区和边缘水质灌溉区土壤防盐调控机制。

5) 盐碱障碍治理、修复与盐渍土资源利用的优化管理研究:包括中低产田盐碱障碍、灌溉扩展条件下盐碱障碍、新型灌溉方式下的盐碱障碍、设施农业条件下的盐碱障碍、微咸水利用条件下的盐碱障碍、沿海滩涂盐碱障碍的治理技术与模式,盐渍土的快速治理与修复技术,土壤盐碱改良剂的研制,盐渍土的工程、水利、生物农艺培育技术,盐渍土利用过程中的优化管理技术等。

6) 土壤盐渍化的生态环境效应研究:包括次生盐渍化的生态环境效应、盐渍区水土资源开发利用中的生态环境建设、大型水工程影响区的盐渍退化与生态环境建设、土地退化与生态环境的关系、气候变化与盐渍化演变、绿洲扩展和节水灌溉条件下的盐渍退化及其生态环境变化等。

参考文献

- [1] 王遵亲,等. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993. 400~515. Wang Z Q, et al. Salt-affected Soils of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993. 400~515
- [2] 石玉林主编. 《中国 1:100 万土地资源图》土地资源数据集. 北京: 中国人民大学出版社, 1991. Shi Y L. ed. Land Resources Data Sets of "1:1 Million Map of Chinese Land Resources" (In Chinese). Beijing: China Renmin University Press, 1991
- [3] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998. The National Soil Survey Office. Soils of China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998
- [4] 赵其国. 土地退化及其防治. 中国土地科学, 1991, 5(2): 22~25. Zhao Q G. Land Degradation and Its Control (In Chinese). China Land Science, 1991, 5(2): 22~25
- [5] 何祺胜, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 塔里木盆地北缘盐渍地遥感调查及成因分析——以渭干河-库车河三角洲绿洲为例. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 24~29. He Q S, Tashpolat T, Ding J L, et al. Remote sensing investigation and cause analysis of saline soils in north of Tarim Basin: Taking delta oasis of Weigan and Kuqa rivers for example (In Chinese). Journal of Natural Disasters, 2007, 16(5): 24~29

- [6] 李晓军, 李取生. 松嫩平原西部土地利用变化及其盐渍化效应研究——以大安市为例. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 88~92. Li X J, Li Q S. Studies on land use change and the land salinization of the western Songnen Plain-A case study on Da'an city (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2005, 19(3): 88~92
- [7] 姚荣江, 杨劲松. 黄河三角洲地区浅层地下水与耕层土壤积盐空间分异规律定量分析. 农业工程学报, 2007, 23(8): 45~51. Yao R J, Yang J S. Quantitative analysis of spatial distribution pattern of soil salt accumulation in plough layer and shallow groundwater in the Yellow River Delta (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 45~51
- [8] 赵莉, 罗建新, 黄海龙, 等. 保护地土壤次生盐渍化的成因及防治措施. 作物研究, 2007, 21(5): 547~554. Zhao L, Luo J X, Huang H L, et al. The cause and control of soil secondary salinization in protected land (In Chinese). Crop Research, 2007, 21(5): 547~554
- [9] 岳卫峰, 杨金忠, 童菊秀, 等. 干旱地区灌区水盐运移及平衡分析. 水利学报, 2008, 39(5): 623~632. Yue W F, Yang J Z, Tong J X, et al. Transfer and balance of water and salt in irrigation district of arid region (In Chinese). Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(5): 623~632
- [10] 杨艳, 王全九. 微咸水入渗条件下碱土和盐土水盐运移特征分析. 水土保持学报, 2008, 22(1): 13~19. Yang Y, Wang Q J. Analysis water and salt transport characteristic of irrigation with saline water on alkaline and saline soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(1): 13~19
- [11] 李瑞平, 史海滨, 赤江刚夫, 等. 冻融期气温与土壤水盐运移特征研究. 农业工程学报, 2007, 23(4): 70~74. Li R P, Shi H B, Takeo A, et al. Characteristics of air temperature and water-salt transfer during freezing and thawing period (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2007, 23(4): 70~74
- [12] 刘炳成, 李庆领. 土壤中水、热、盐耦合运移的数值模拟. 华中科技大学学报(自然科学版), 2006, 36(1): 14~16. Liu B C, Li Q L. Numerical simulation of salt, moisture and heat transport in porous soil (In Chinese). J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. (Natural Science Edition), 2006, 36(1): 14~16
- [13] 刘春卿, 杨劲松, 陈小兵, 等. 滴灌流量对土壤水盐运移及再分布的作用规律研究. 土壤学报, 2007, 44(6): 1 016~1 021. Liu C Q, Yang J S, Chen X B, et al. Movement and redistribution of water and salt in relation to emitter discharge rate (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(6): 1 016~1 021
- [14] 姚荣江, 杨劲松, 邹平, 等. 基于电磁感应仪的田间土壤盐渍度及其空间分布定量评估. 中国农业科学, 2008, 41(2): 460~469. Yao R J, Yang J S, Zou P, et al. Quantitative evaluation of the field soil salinity and its spatial distribution based on electromagnetic induction instruments (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(2): 460~469
- [15] 买买提沙吾提, 丁建丽, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 多源信息融合技术在干旱区盐渍地信息提取中的应用. 资源科学, 2008, 30(5): 792~799. Mamat S, Ding J L, Tashpolat T, et al. Multi-source information fusion applied to extract salinized soil information in arid area (In Chinese). Resource Science, 2008, 30(5): 792~799
- [16] 杨建锋, 万书勤, 邓伟, 等. 地下水浅埋条件下包气带水和溶质运移数值模拟研究述评. 农业工程学报, 2005, 21(6): 158~165. Yang J F, Wan S Q, Deng W, et al. Review of numerical simulation of soil water flow and solute transport in the presence of water table (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2005, 21(6): 158~165
- [17] 汤洁, 卞建民, 林年丰, 等. GIS-PMODFLOW联合系统在松嫩平原西部潜水环境预警中的应用. 水科学进展, 2006, 17(4): 483~489. Tang J, Bian J M, Lin N F, et al. Application of integrated system of GIS-PMODFLOW to water environment early warning in west of Songnen Plain (In Chinese). Advances in Water Science, 2006, 17(4): 483~489
- [18] 王少丽, 杨继富, 李杰, 等. 新疆盐渍化灌区水盐平衡现状及对策. 中国农村水利水电, 2006(4): 12~15. Wang S L, Yang J F, Li J, et al. Status and countermeasure study on water-salt balance of irrigation district with salinization in Xinjiang Province (In Chinese). China Rural Water and Hydropower, 2006(4): 12~15
- [19] 王学全, 高前兆, 卢琦. 内蒙古河套灌区水资源高效利用与盐渍化调控. 干旱区资源与环境, 2005, 19(6): 118~123. Wang X Q, Gao Q Z, Lu Q. Effective use of water resources and salinity and waterlogging control in the Hetao irrigation area of Inner Mongolia (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2005, 19(6): 118~123
- [20] 张妙仙, 杨劲松. 灌溉入渗条件下农田土壤水盐动态简化模型及应用. 土壤学报, 2002, 39(1): 81~88. Zhang M X, Yang J S. The simplified model of salt-water regime in cropland soil under infiltration condition and its application (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(1): 81~88
- [21] 王葆芳, 杨晓晖, 江泽平. 引黄灌区水资源利用与土壤盐渍化防治. 干旱区研究, 2004, 21(2): 139~143. Wang B F, Yang X H, Jiang Z P. Utilization of water resources and soil salinization control in the Dengkou Irrigated Area, Inner Mongolia (In Chinese). Arid Zone Research, 2004, 21(2): 139~143
- [22] 陈小兵, 杨劲松, 张奋东, 等. 基于水盐生产函数的绿洲灌区水盐调控研究. 灌溉排水学报, 2007, 26(4): 75~78. Chen X B, Yang J S, Zhang F D, et al. Control of soil water-salinity variations based on crop-salt-water production function in Tarim irrigation area (In Chinese). Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(4): 75~78
- [23] 徐力刚, 杨劲松, 张妙仙, 等. 微区作物种植条件下不同调控措施对土壤水盐动态的影响特征. 土壤, 2003, 35(3): 227~231. Xu L G, Yang J S, Zhang M X, et al. Effects of regulation measures on water and salt regime of soil (In Chinese). Soils, 2003, 35(3): 227~231
- [24] 石元亮, 王晶, 李晓云. 盐渍土区域水分调控与综合治理研究进展. 土壤通报, 2001, 32(S1): 102~105. Shi Y L, Wang J, Li X Y. Controls of salt and water in saline soil and its comprehensive utilization (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(S1): 102~105
- [25] 田长彦, 宋郁东. 新疆土地退化及其防治对策. 干旱区研

- 究, 1997, 14(2): 63~67. Tian C Y, Song Y D. Strategy of protection and curing on land degradation in Xinjiang (In Chinese). *Arid Zone Research*, 1997, 14(2): 63~67
- [26] 樊自立, 马英杰, 马映军. 中国西部地区的盐渍土及其改良利用. *干旱区研究*, 2001, 18(3): 1~6. Fan Z L, Ma Y J, Ma Y J. Salinized soils and their improvement and utilization in West China (In Chinese). *Arid Zone Research*, 2001, 18(3): 1~6
- [27] 吴玮江, 王武衡. 干旱区农业灌溉引起的地质灾害及防治对策. *中国地质灾害与防治学报*, 1999, 10(4): 61~66. Wu W J, Wang W H. Prevention countermeasures of geological hazards caused by agricultural irrigation in semi arid area (In Chinese). *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 1999, 10(4): 61~66
- [28] 乔玉辉, 宇振荣. 河北省曲周盐渍化地区微咸水灌溉对土壤环境效应的影响. *农业工程学报*, 2003, 19(2): 75~79. Qiao Y H, Yu Z R. Effect of brackish water on soil environment in saline area of Quzhou of Hebei Province (In Chinese). *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(2): 75~79
- [29] 方生, 陈秀玲. 关于发展农业节水灌溉的建议. *中国农村水利水电*, 2001(7): 17~18. Fang S, Chen X L. Suggestions on the development of water-saving irrigation systems in agriculture (In Chinese). *China Rural Water and Hydropower*, 2001(7): 17~18
- [30] 胡伟, 单娜娜, 钟新才. 耐盐牧草生物修复盐渍化耕地效果研究. *安徽农学通报*, 2008, 14(7): 148~151. Hu W, Shan N N, Zhong X C. Effects of salt-tolerant forage on bio-remediating saline-alkali farmland (In Chinese). *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2008, 14(7): 148~151
- [31] 张凌云, 赵庚星. 盐碱土壤修复材料对滨海盐渍土理化性质的影响研究. *水土保持研究*, 2006, 13(1): 32~34. Zhang L Y, Zhao G X. Study on the effect of saline soil restoration material on physical and chemical properties of the coastal saline soil (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(1): 32~34
- [32] 盛连喜, 马逊风, 王志平. 松嫩平原盐碱化土地的修复与调控研究. *东北师大学报(自然科学版)*, 2002, 34(1): 30~35. Sheng L X, Ma X F, Wang Z P. Study on the recovery and control of the alkali-saline lands in Songnen Plain (In Chinese). *Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition)*, 2002, 34(1): 30~35
- [33] 刘虎俊, 王继和, 杨自辉, 等. 干旱区盐渍化土地工程治理技术研究. *中国农学通报*, 2005, 21(4): 329~333. Liu H J, Wang J H, Yang Z H, *et al*. The saline soil was improved by engineering techniques (In Chinese). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(4): 329~333
- [34] 王志春, 李取生, 李秀军, 等. 松嫩平原盐碱化土地治理与农业持续发展对策. *中国生态农业学报*, 2004, 12(2): 161~163. Wang Z C, Li Q S, Li X J, *et al*. Saline-alkali land management and countermeasures of sustainable agricultural development in Songnen Plain (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(2): 161~163
- [35] Yang J S. Recent Evolution of Soil Salinization in China and Its Driving Processes. *Proceedings of the 18th World Congress of Soil Science*, Philadelphia, July, 2006
- [36] 李贻学, 东野光亮, 李新举. 黄河三角洲盐渍土可持续利用对策. *水土保持学报*, 2003, 17(2): 55~61. Li Y X, Dongye G L, Li X J. Countermeasure on sustainable utilization of saline soil in Yellow River Delta (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(2): 55~61
- [37] 李彬, 王志春, 马红媛, 等. 吉林省盐碱地资源与可持续利用对策. *吉林农业科学*, 2005, 30(5): 46~50. Li B, Wang Z C, Ma H Y, *et al*. Saline-alkali soil resources and countermeasures of sustainable use in Jilin Province (In Chinese). *Jilin Agricultural Sciences*, 2005, 30(5): 46~50
- [38] 李艳, 史舟, 吴次芳, 等. 基于模糊聚类分析的田间精确管理分区研究. *中国农业科学*, 2007, 40(1): 114~122. Li Y, Shi Z, Wu C F, *et al*. Definition of management zones based on fuzzy clustering analysis in coastal saline land (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(1): 114~122
- [39] 马传明, 靳孟贵. 西北地区盐渍化土地开发中存在问题及防治对策. *水文*, 2007, 27(1): 78~81. Ma C M, Jin M G. Problems in exploitation of the salinization land in the Northwest China and the concerned prevention and cure countermeasures (In Chinese). *Hydrology*, 2007, 27(1): 78~81
- [40] 李元寿, 贾晓红, 鲁文元. 西北干旱区水资源利用中的生态环境问题及对策. *水土保持研究*, 2006, 13(1): 217~219. Li Y S, Jia X H, Lu W Y. The utilization of water resource and its influence on eco-environment in arid area of Northwest China (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(1): 217~219
- [41] 郑度. 中国西北干旱区环境问题与生态建设. *河北师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 30(3): 349~352. Zheng D. Environmental issues and eco-reconstruction in northwest arid region of China (In Chinese). *Journal of Hebei Normal University (Natural Science Edition)*, 2006, 30(3): 349~352
- [42] 余世鹏, 杨劲松, 刘广明, 等. 三峡调蓄过渡期长江河口地区不同水文年土壤水盐变化特征. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(3): 414~418. Yu S P, Yang J S, Liu G M, *et al*. On characteristics of soil water-salt changes in different hydrological years in Yangtze river estuary during the transition-period of impounding of the three gorges reservoir (In Chinese). *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(3): 414~418
- [43] 秦大河主编. 中国气候与环境演变(上卷): 气候与环境的演变及预测. 北京: 科学出版社, 2005. Qin D H. ed. *Climate and Environment Changes in China (volume): Climate and Environment Changes in China and Their Prediction* (In Chinese). Beijing: Science Press, 2005
- [44] 陈宜瑜主编. 中国气候与环境演变(下卷): 气候与环境变化的影响与适应、减缓对策. 北京: 科学出版社, 2005. Chen Y Y. ed. *Climate and Environment Changes in China (scroll): Measures to Adapt and Mitigate the Effects of Climate and Environment Changes* (In Chinese). Beijing: Science Press, 2005
- [45] Triantafyllis J, Ahmed M F, Odeh I O A. Application of a mobile electromagnetic sensing system (MESS) to assess cause and man-

- agement of soil salinization in an irrigated cotton-growing field
Soil Use Manage, 2002, 18 (4): 330 ~ 339
- [46] Mankin K R, Karthikeyan R. Field assessment of saline seep remediation using electromagnetic induction. Transactions of the ASAE, 2002, 45 (1): 99 ~ 107
- [47] Hendrickx J M H, Borchers B, *et al*. Inversion of soil conductivity profiles from electromagnetic induction measurements: Theory and experimental verification. Soil Sci Soc Am. J., 2002, 66 (3): 673 ~ 685
- [48] Burt C M, Isbell B. Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation. Transactions of the ASAE, 2005, 48 (6): 2 115 ~ 2 121
- [49] Schoups G, Hopmans J W, Young C A, *et al*. Sustainability of irrigated agriculture in the San Joaquin Valley, California. Proc. Natl Acad Sci USA, 2005, 102 (43): 15 352 ~ 15 356
- [50] Incrocci L, Malorgio F, Della B A, *et al*. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. Sci Hortic -Amsterdam, 2006, 107 (4): 365 ~ 372
- [51] Nys E, Raes D, Le Gal P Y, *et al*. Predicting soil salinity under various strategies in irrigation systems. J. Irrig Drain E-ASCE, 2005, 131 (4): 351 ~ 357
- [52] Herrero J, Perez-Coveta O. Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district. Geoderma, 2005, 125 (3/4): 287 ~ 308
- [53] de Paz J M, Visconti F, Zapata R, *et al*. Integration of two simple models in a geographical information system to evaluate salinization risk in irrigated land of the Valencian Community, Spain. Soil Use Manage, 2004, 20 (3): 333 ~ 342
- [54] Mmolawa K, Or D. Experimental and numerical evaluation of analytical volume balance model for soil water dynamics under drip irrigation. Soil Sci Soc Am. J., 2003, 67 (6): 1 657 ~ 1 671

DEVELOPMENT AND PROSPECT OF THE RESEARCH ON SALT-AFFECTED SOILS IN CHINA

Yang Jingsong

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Salt-affected soils are extensively distributed in Northwest, North, Northeast and coastal regions in China, and large areas of arable land are salt affected as well. So they are one of the most important low-yield types of soils. Apparently under influences of human activities, their productivity is closely related to their quality. While reviewing the development of the study on salt affected soils in China, the paper analyzed the status quo of the research and recent advancement in major fields of the study, and discussed prospects of the study by referring to the frontiers and hot spots of relevant researches both at home and abroad. The paper also suggested that emphasis be laid on topics of assessment and forecast of prediction of soil salinization, soil salt-water regime and modeling, mechanism of the interaction between plant and soil salt, optimal regulation of soil salt-water regime, management and remediation of soil salinity, eco-environmental impacts of salinization, etc.

Key words Salt-affected soils; Salinization; Salt-water regulation; Management; Remediation