

土壤水盐定向迁移及排盐新模式研究

周和平¹, 彭立新^{2,3}, 徐小波¹

(1. 新疆维吾尔自治区水利管理总站, 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆水利水电科学研究院, 乌鲁木齐 830049;
3. 新疆下板地水利枢纽工程建设管理局, 新疆喀什 844000)

[摘要] 综述了我国盐碱地改良技术现状;研究了干旱地区节水灌溉条件下农田不同地面条件土壤水盐定向迁移特征,提出了“盐分上移地表排”的排盐模式,对我国干旱农业灌区盐碱地改良治理新方法的研究探索具有现实意义。

[关键词] 土壤水盐定向迁移;排盐新模式;旱区

[中图分类号] S27 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)11-0120-07

土壤盐碱化是一个世界性的难题,全世界盐渍土面积约 $10 \times 10^8 \text{ hm}^2$;我国盐渍土面积约 $3\,460 \times 10^4 \text{ hm}^2$,耕地盐碱化 $760 \times 10^4 \text{ hm}^2$,近 1/5 耕地发生盐碱化,其中原生盐化型、次生盐化型和各种碱化型分布分别占总面积的 52%,40%和 8%。

新疆盐碱化耕地约 $133.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$,近 1/3 耕地盐碱化,其中 80%以上为土壤次生盐碱化。新疆除伊犁河谷、阿勒泰地区和塔城部分地区土壤盐碱化较轻之外,其他地区土壤均有不同程度盐碱化,天山南麓、塔里木盆地西部各灌区最为严重,一些耕地由于次生盐碱化加重而被迫成为弃耕地。盐碱危害造成大量中、低产田,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。

几十年来,国家和地方投入大量人力、财力和物力改造盐碱地,收到了较好的治理效果。随着我国盐碱地改良技术和研究的不断发展,在土壤盐分成因规律和特征、农田节水灌溉水盐运行机理、盐碱地改良利用技术措施等诸多方面都有新的发展和突破,取得了新的成果。盐碱地改良利用实践证明,盐碱地预防和治理是一个系统的综合治理工程,也是一个循序渐进逐步显效的过程。

1 盐碱地改良技术现状

随着人口增长和水土资源的日趋短缺,我国把中、低产田的治理、开发与持续发展纳入国家经济建设规划之中。在工程排水洗盐技术、碱土改良、生物化学改良、电磁改良技术应用,以及盐碱土壤基础理论方面进行了卓有成效的研究。

“盐随水来,盐随水去;盐随水来,水散盐留。”^[1]就是人们在长期治理过程中发现和总结出来的土壤盐分运行受水分运行支配的基本规律。

1.1 水利改良技术

地下渗管排盐是耕地盐碱化改良的常用方法之一,它基于“盐随水来、盐随水去”的水盐运行规律,通过铺设暗管将土壤中的盐分随水排走^[2],并将地下水位控制在临界深度以下,达到土壤脱盐和防止生盐渍化目的。渗管铺设一般为水平封闭式。一级管和二级管相结合,一级管的渗入水汇入二级管中,然后流入污水管排走。若污水管道埋的深度较浅不能自行排泄渗水,可在二级管末端设集水井,定期强排。渗管的埋设深度、间距、纵坡等参数主要取决于耕地作物种类、土壤结构、地下水位埋深及气候等情况。

黄河三角洲所在中心城市东营市,利用荷兰暗

[收稿日期] 2007-05-09;修回日期 2007-09-21

[作者简介] 周和平(1958-),男,湖北孝感市人,新疆维吾尔自治区水利管理总站高级工程师,中国管理科学院特约研究员,主要从事节水灌溉和盐碱地改良技术研究,E-mail: xjslzhp@126.com

管排碱技术实施盐碱地改良工程^[3],暗管排碱利用专业埋管机械将PVC渗管埋入地下1.8~2.0 m处,将地下盐水截引到暗管,集中起来排到明渠中,使得灌区当年地下水水位下降0.5 m,含盐量可降低0.1%,满足多种作物的生长发育要求。

魏云杰等^[4]论述了新疆土壤盐渍化形成的地质、地貌、土壤质地和人为灌溉方式不合理等原因,总结了新疆土壤盐渍化的治理研究过程及国内外防治土壤盐渍化的措施,提出了竖井排灌工程是防治新疆土壤盐渍化最有效措施。通过工程实例证明了竖井排灌具有降低地下水水位和灌溉作用,且经济效益明显。

1.2 土壤改良剂

营养型酸性土壤改良剂(NPK 增效剂)^[5],采用蒙脱石、橄榄石、硫矿等多种天然矿物为原料,在改良酸性土壤、平衡作物养分、提高化肥利用率等方面有显著功效;北京飞鹰绿地科技发展公司^[6],将有机络合催化理论引入盐碱土壤改良,研制出“禾康”盐碱土壤改良剂,是一种棕红色略带酸味无毒无害的有机液体化肥,可直接作用于土壤,适用于中、低产田改造、盐碱地的治理、荒漠绿化等;康地宝技术^[7],利用盐土植物(盐蒿、海蓬子等)及作物自身通过根系分泌物改善根际微环境来适应逆境的机制,通过生物络合、置换反应,清除土壤团粒上多余的 Na^+ ,活化盐碱土壤中难利用的P, Fe, Ca, Mg等微量元素,使其转变为可利用状态被植物吸收,解除植物生理缺乏症状。对于受盐碱侵害的农田和新开垦土地,利用有机生化高分子络合土壤中成盐离子,随灌溉水将盐分带到土壤深处,降碱脱盐,解除盐分对作物的毒害作用; Na^+ 吸附剂^①具有很强的交换能力,对盐碱土中的 Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- 等有吸附能力,改良后的土壤可以降低pH值和碱化度,吸附 NH_4^+ 和 K^+ 并提高土壤阳离子交换量,从而达到改土、脱盐的目的,使土壤向有利于植物生长方向发展。

1.3 土壤水盐运移研究

目前节水灌溉条件下的水盐运移等方面的研究较多。张琼等人^[8]研究了棉花膜下滴灌在土壤含盐量为0.08%和0.8%情况下,灌溉周期对土壤水盐运动和棉花生长的影响,试验结果表明:在总灌水量相同的情况下,高含盐量土壤在棉花的花铃期高频灌溉与低频灌溉相比,可以有效降低湿润体体内土壤盐分含量,并且得到了棉花增产28%的结果,而对于低盐土,灌溉频率对棉花生长和产量没有显著

影响。

罗廷彬等人^[9]对新疆部分盐碱灌区调研显示,在地下水水位3~5 m、中壤土条件下,利用盐碱地2~5 g/L盐化水灌溉,土壤1 m剖面均为脱盐状况。灌溉盐化水15年后,1 m土壤残留阴离子浓度较小,多点平均为1.855 mol/L。其中 HCO_3^- 相对较多,1 m多点平均为0.202 mol/L。 K^+ , Na^+ 浓度很大,1 m多点平均为1.246 mol/L。这时土壤1 m全盐多点平均为0.248%,在灌溉水矿化度不直接危害作物生长时,不影响耕作和作物正常生长。由此表明,盐化水在盐碱地上无排灌溉可行。

雷志栋等人^[9,10],通过对新疆叶尔羌河流域平原绿洲一些典型洼地水量平衡的观测,论述了洼地在容泄绿洲排水、排盐方面的早排作用和能力,提出在绿洲排水规划时,可以将早排(或内排水)作为一种重要的排水方式,选择合适的洼地作为主要的早排规划区,在进行水资源合理配置时,应重视盐分的宏观运、贮规划。

土壤旱季自然积盐再加咸水灌溉,土壤呈明显积盐趋势。尹美娥^[11]的试验研究表明,小定额灌溉,砂壤土的积盐程度较中壤土高;大定额灌溉,砂壤土的脱盐效果较中壤土为好。随着灌水定额的增加,从咸水带入土中的盐分渗透到作物根层以下的盐量越多。雨季为土壤自然脱盐季节,经过降雨淋洗后,土壤含盐量可降至灌前水平,年内0~60 cm土层一般不发生盐分累积。

沈万斌等人^[12],提出灌区土壤产生次生盐渍化的防治方法,认为盐随水来但不易随水而去,提高灌溉效率,加强排水,建立盐土地处理系统,可保证灌区农业的可持续发展。

1.4 作物水盐动态模型、灌溉制度研究

水盐模型以及灌溉制度等研究是盐碱土壤管理利用研究的主要内容之一。根据作物水盐动态响应函数分析^[13],可把握作物生长与土壤水盐运动关系,从而建立节水、控盐、高产灌溉制度优化设计模型,为节水灌溉和微咸水利用提供决策依据。实例分析表明,研究淡水、微咸水交替灌溉条件下灌溉制度的优化设计,合理的模型及管理方法,可为实施节水控盐提供明显的经济和环境效益。

王仰仁等^[14],在作物水盐生产函数和农田水盐动态模型基础上,以单位面积纯收益最大为目标函

① 刘慧媛,刘海棠.园艺盐碱土改良肥在银川的绿化效应[D].山东省德州市盐碱土绿化研究所,2003

数提出了制定咸水灌溉制度的模型。并以山西省永济市试区进行的棉花咸水灌溉试验资料为依据,求得了有关模型参数;利用该试区 35 年系列降雨、旬蒸发量资料,对 3 种不同灌水时间和灌水次数、7 种灌溉咸水浓度,共计 49 种可能组合的农田土壤盐分和产量进行了模拟,并与该试区大田试验数据进行了比较。以模拟产量为依据,在对当地深井和浅井灌溉效益分析的基础上,提出了咸水灌溉制度及其相应的地下水开发利用策略。

含盐劣质水灌区作物生长受土壤盐分和含水量状况的影响,国内外不少学者对作物产量和土壤含盐量的关系进行研究,建立了一些作物的水盐模型^[15~18]。总体上讲,这些模型将作物产量或相对产量表示为全生育期灌水量和土壤平均含盐量的函数,为灌区灌溉管理提供了一定的理论依据,但作为全生育期模型,尚不能据此对作物生长期土壤水盐状况进行动态管理。张展羽等^[19]在上述研究基础上,考虑作物对土壤盐渍度的敏感性随生长发育阶段不同而变化这一基本现象,提出作物不同生育阶段水盐动态响应模型,用以指导含盐劣质水或盐渍化灌区的优化灌溉管理。

赵丹等人^[20],根据甘肃省河西走廊疏勒河流域灌区节水灌溉条件下的土壤水盐变化野外和室内实验成果的分析,建立了相应的水盐动态模拟模型。经数值模拟计算,得出在一定灌水方案下的土壤盐分分布及脱盐状况,并对适宜该地区特点的水盐调控措施进行了初步探讨。

1.5 盐碱地改良利用实践

我国 20 世纪 50—60 年代,开始在天津等地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;70 年代盐渍土改良进入工程与农业措施相结合的综合治理发展阶段。在黄淮海平原建立了 12 个试验区后又在松嫩—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。开展了“六五”~“九五”攻关研究,取得了重大成果,使我国盐碱地综合治理技术已走在世界前列。

土壤改良剂的研究应用也在 20 世纪 60—70 年代开始。在土壤物理、化学改良剂方面做了不少的研究,如石膏、氯化钙、工业废酸、工业废弃物磷石膏、粉煤灰等等,均取得了一定的效果;70 年代后应用电磁技术,在全国盐渍土地区进行了改土试验;90 年代后生物化学土壤改良技术有了发展,如中国农业大学研制的盐碱土壤生化改良剂——康地宝已推

广应用。

1.6 存在问题

盐碱地水利灌排技术的重要内容是健全有效的农田灌排基础设施,采取的措施主要为农田布置多且较深的明渠工程、地下暗渠或竖井排灌等工程技术,这些传统的灌排工程客观地存在以下问题:

1) 洗盐排水消耗过多水资源,一般需要 4 500~7 500 m³/hm² 的大灌水定额,因此灌溉用水量高,不利于节水;

2) 灌溉排水工程量大,排水工程投入较高一般 9 000~12 000 元/hm²,因此不经济,而且灌排工程施工烦琐;

3) 众多排水沟渠和大量土石方工程量占用农田,农田土地损失 6%~10%;

4) 灌排工程维护工作量和难度较大,尤其是地下暗管排盐系统管护运行费用较高,一般年均维修保养费用 900~1 500 元/hm²。

2 土壤水盐定向迁移现象分析

2.1 土壤水盐迁移的新现象

笔者研究了不同节水灌溉条件下的土壤水盐运行演变特征^[21,22],发现在干旱少雨、蒸发强烈灌溉农田,用有机薄膜防止农田表面水分蒸发,在科学灌溉、微灌节水技术以及田间作物合理布局的综合作用下,农田土壤水盐在遵循传统的水盐运行规律的同时,土壤盐分开始重新分区,产生定向迁移现象。不同节水灌溉条件下的土壤水盐迁移现象形成过程如图 1 所示。

2.2 土壤水盐定向迁移模式

在农田同一介面(地表裸露或是农田地表均铺设防止水分蒸发覆盖物)常规灌溉(较大灌水定额的沟灌、畦灌或格田灌溉)条件下,土壤水盐运移所遵循的一般规律(图 2)是:当大定额灌水时,由于土壤剖面含水量高,在重力水作用下,土壤水盐向下层运移,此时将土壤盐分带入下层;当灌水结束后,在干旱灌区由于受到强烈的蒸发作用,随水分蒸发将土壤盐分向上层运移,水分蒸发盐分则在土壤上层聚集,即按“盐随水来,盐随水去;盐随水来,水散盐留”的土壤水盐运行基本规律。常规灌溉条件下的土壤盐分运行基本规律有一个重要特征,表现为随着每次灌溉水量的消长在垂直方向上水盐上下循环运移;在水平方向上土壤水盐运移基本处于均匀分布状态,盐分布尺度差异主要源于农田不平整和微

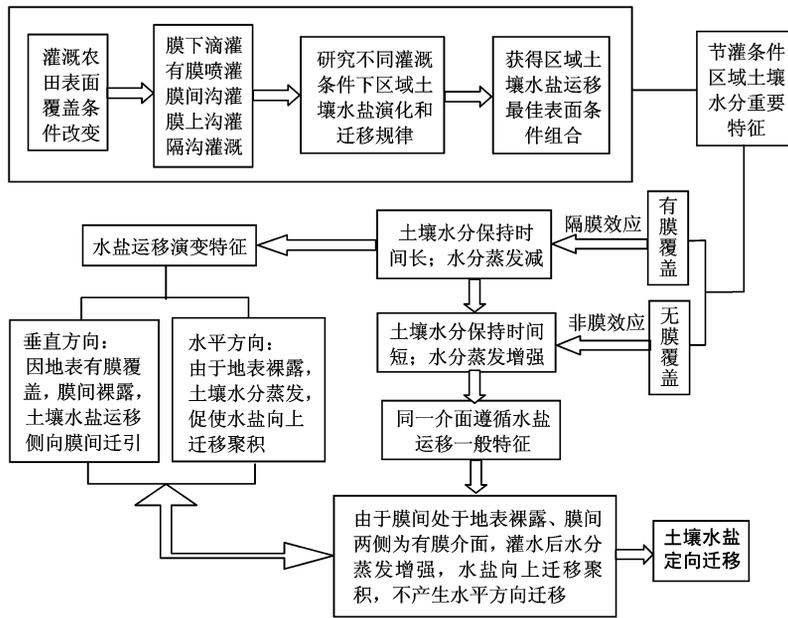


图1 不同节水灌溉条件下土壤水盐迁移形成过程

Fig.1 Water-salt directional movement under the condition of the water saving irrigation

小区域高低变化所至,但不明显,本质上土壤水盐无侧向迁移因。在农田不同介面方式、微灌节水技术(滴灌、微喷灌、或灌水次数多灌水定额小的沟畦灌方法)以及灌区干旱等综合条件作用下,土壤水盐运移在遵循传统的水盐运行规律的同时,有其特殊的变化(见图3),当多频次、小灌水定额灌水时,土壤基本处于非饱和态,缺少重力水作用,土壤水分不易下层渗透,土壤剖面处在一种湿润状态,土壤水盐溶液浓度降低,由于农田覆盖与裸露介面之间的隔膜互补作用,土壤中的水分总是由势能高的地方流向势能低的地方,即由吸力值小(有覆盖层土壤水)的地方流向吸力值大(无覆盖层土壤水)的地方,非饱和土壤由于存在各点土壤水势能随距离的变化率的势梯度,土壤水盐不具有向下层运移的能量,此时,土壤盐分不会带入下层,膜下的土壤水盐具有向膜间侧向迁移的驱动力。与此同时,由于作物布局在有膜覆盖层之处,即覆膜介面下土壤湿润保持时间长,土壤盐分浓度降低的环境有利于作物生长;当灌溉结束后,在干旱灌区强烈的蒸发作用,土壤水盐在垂直、水平空间运移在遵循传统盐随水来,盐随水去;盐随水来,水散盐留的基本规律同时,土壤水盐运移和迁引方向发生了以下显著的运移特征。

2.2.1 水平方向土壤水盐向膜间区域迁移 在农田地表具有覆盖物的下层土壤湿润体,因地表覆盖

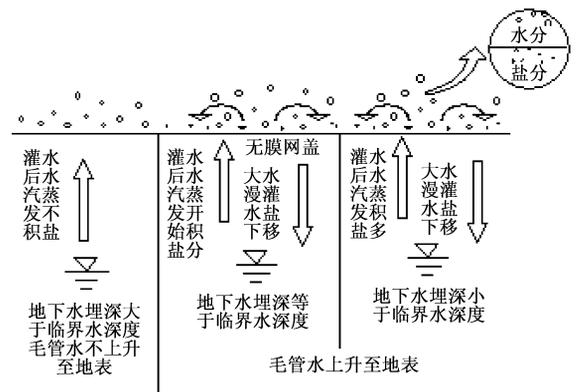


图2 常规灌溉土壤水盐运移规律

Fig.2 Water-salt movement under the irrigation

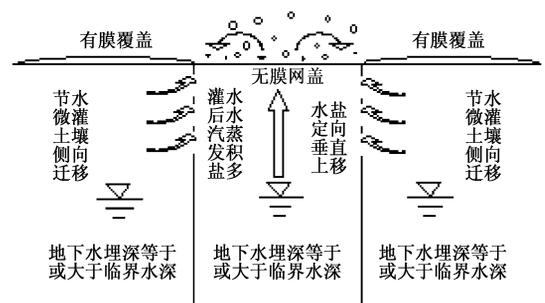


图3 覆膜与裸地间隔微灌土壤水盐运移特征

Fig.3 The symptom of water-salt movement

物具有切断减少或阻止土壤水分蒸发的“隔膜效应”，因此土壤中的水分不具备垂直向上蒸发的通道，必须寻求新的转换通道来释放水分，由于膜间裸地与大气蒸发连通，因此，驱使农田地表具有覆盖物下层的土壤水分，水平方向上土壤水盐向膜间区域迁移。其内在条件取决于隔膜效应；其水盐迁移载体是膜间露裸区域与大气蒸发连通通道；其迁引动因是土壤水势梯度和干旱区水分蒸发。

2.2.2 垂直方向土壤水盐向膜间露裸表层运移和聚集 基于地表无覆盖层的“非膜效应”，膜间露裸区域与大气连通形成了“水分蒸发—水盐上移—盐分表聚”的水盐运移通道。

当多频次小定额的适时适量灌水时，土壤湿润深度适宜，土壤水分处于非饱和状态，不会引起灌溉水量的深层渗透，土壤水盐不会带入深层；当灌水结束后，在干旱强烈的蒸发作用下，土壤水盐通过水分蒸发—水盐上移—盐分表聚的循环运行通道向土壤上层运移，水分蒸发盐分则在土壤上层聚集。

可以看出，在地表无覆盖层实施微灌条件下，土壤水盐运移有其自身特征：随着每次灌溉水量的消长，在垂直方向土壤水盐保持向上运移；在水平方向土壤水盐运移处于非均匀分布状态，即覆盖层下的土壤湿润积盐甚少，露裸层面下盐分聚集，具有明显的盐分布尺度差异。

2.2.3 土壤水盐区域之间的流通与转移 在农田微灌条件下，由于覆盖和裸露两种层面间隔分布，所产生的“隔膜效应”和“非膜效应”的相互作用，土壤水盐在覆盖和露裸两种层面的区域之间发生流通和转移。图4为土壤水盐在覆盖和露裸两种层面之间的相互转移及运行特征。

深度具有对土壤水分的保持能力(Sbc)；对于地表无覆盖层的裸露区域，即在非膜效应的情况下，因干旱强烈蒸发而导致土壤水盐垂直向上运移(Fsy)，在有覆盖物与裸露区域之间，基于土壤水势梯度和干旱区水分蒸发作用，以土壤毛管孔隙为载体，由此土壤水分与大气连通形成一个“水分蒸发—水盐上移—盐分表聚”的循环运行通道(Dsy)。

在以上情况下，覆盖层面下湿润体中的水分因“隔膜效应”，必然以新的方式转换和输送水分，由此产生水平方向土壤水盐侧向迁移(Fcy)，并通过转换通道(Dsy)来释放水分，形成水盐流通和定向汇流及盐分在土壤表层聚集。

上述土壤水盐的演变与运行特征的描述，得出土壤水盐运移具有新的演化特征及迁移规律，其构架核心是：在灌溉农田地表具有防蒸发覆盖层与裸露区域间隔布局的条件、以限额灌溉定额配置、以合理的节水灌溉条件下，农田区域性土壤水盐具有重新分配演化规律及水盐运行特征：水平方向土壤水盐侧向迁移，土壤水盐向着作物生长行间的表层层迁移和积累；垂直方向土壤水分处于非饱和状态，土壤盐分浓度降低，不仅能提高作物适应耐盐环境生长，而且，由于垂直方向因农田地表覆盖层的“隔膜效应”，使得在垂直方向土壤水分蒸发减弱，从而驱使土壤水盐侧向迁移，最终向作物生长行间的裸露区域表层定向迁移积累。

3 盐分上移地表排模式的探讨

在对土壤水盐定向迁移现象研究的基础上，笔者提出了“盐分上移地表排”^[23]灌区农田排盐新模式(见图5)。

3.1 物理排盐法

选用一种具有质地较轻、透水性好、吸附和保存盐分能力强，而且经济的高分子材料，作为吸附盐分的排盐设施，一次铺设在农田作物行间的表层深度。当作物生长和收获周期完成后，吸附积淀和保存在材料设施的土壤盐分，经人为机械化搬运回收经化工厂分离处理再利用，以形成循环经济变废为宝。物理排盐法，适用于灌区农田平缓坡度很小，农田边际无盐分归属的低洼处的条田。

3.2 自流排盐法

研究选用一种质地较轻、透水性好、吸附和保存盐分能力强，而且经济的高分子材料，作为吸附盐分的排盐设施。这种材料设施的基本形状为椭圆环形

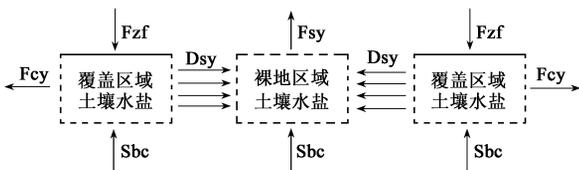


图4 土壤水盐区域之间流通与转移特征

Fig.4 The characteristics of the water-salt fluxion and transferation anin certain area

可以看出，在有覆盖层，即在隔膜效应的情况下，由于农田表层覆盖的作用，减少或阻止了土壤水分蒸发，所以在有覆盖层的地表土壤水分蒸发量(Fzf)明显减弱，由此在覆盖层下形成了水汽发散分布，且由于微量灌溉使得土壤水分不下渗，并在适宜

- [15] Kenneth H S. Water-Salinity-Production Function[J]. ASAE, 1985, 38(6):79~83
- [16] Dinar A. Production Function of Crop relating to Water Quality, Soil Salinity and Drainage Volume[J]. Agri W M, 1991
- [17] 艾尔斯 R S, 韦斯科特 D W. 农用水质[M]. 北京: 农业科技出版社, 1988. 6~8
- [18] 许越先, 刘昌明, 沙和伟. 农业用水有效性研究[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 112~119
- [19] 张展羽, 郭相平. 作物水盐动态响应模型[J]. 水利学报, 1998 (12): 125~123
- [20] 赵丹, 邵东国, 代涛. 干旱灌区水盐动态模拟与实验研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, (2): 42~45
- [21] 周和平, 徐小波, 兰玉军. 膜下滴灌条件下水盐运移研究综述[J]. 节水灌溉, 2006, (4): 8~10
- [22] 周和平. 我国盐碱地改良技术综述及展望[J]. 现代农业科技, 2007, (11): 159~161
- [23] 周和平, 徐小波, 王永增. 新疆土壤次生盐化主要成因及对策[J]. 灌溉排水学报, 2006, 5(B): 153~154

The Stable Movement of Salty Water Soil and Pattern Research of Removing the Salt

Zhou Heping¹, Peng Lixin^{2,3}, Xu Xiaobo¹

(1. The Chief Management Station of Water Conservancy in Xinjiang, Urumqi, 830000, China;

2. Xinjiang Institute of Water Resources and hydropower, Urumqi 830049, China;

3. The Water Conservancy Construction Hub Management Station in Xiabandi, Kashi, Xinjiang, 844000, China)

[Abstract] Through the research of the water-salt movement under different ground condition for the water saving irrigation in dry area, it has been found that there is the symptom of redistribution of water and salt in certain area; when the evolvement of water and salt movement occurs in vertical and horizontal direction, there is also the important symptom of sideward movement and has certain domino effect. This paper analyses the technology for treatment of the salt soil at home and abroad, and discusses the new mode of salt drainage under both the condition of water-salt directional movement and the condition of salt movement to the earth's surface. The study has the practical meaning for research and discussion on the new method of salt soil amending in dry agricultural area in China.

[Key words] water-salt directional movement; new mode of salt drainage; research and discussion