

徐鹏程,冷翔鹏,刘更森,等. 盐碱土改良利用研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):293-298.

# 盐碱土改良利用研究进展

徐鹏程<sup>1</sup>, 冷翔鹏<sup>1</sup>, 刘更森<sup>2</sup>, 宋长年<sup>1</sup>, 房经贵<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095; 2. 青岛农业大学园艺学院, 山东青岛 266109)

**摘要:**土壤盐渍化使得植物根区积累过多的可溶性盐,影响了植物水分吸收,甚至能够引发盐中毒,从而降低植物活力,延缓植物生长。采用适当的措施进行盐碱改良是十分必要的。本文从生物措施、物理措施、化学措施等方面对盐碱土改良研究情况进行了综述,并展望了今后进一步的研究问题。

**关键词:**盐碱土;改良措施;研究进展

**中图分类号:** S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)05-0293-06

根据中国科学院的统计,分布在我国西北、东北及滨海地区的盐碱荒地和盐碱障碍耕地总面积超过 3 333.3 万  $\text{hm}^2$ ,其中具有农业利用潜力的近 1 333.3 万  $\text{hm}^2$ ,占我国耕地总面积的 10% 以上,挖掘潜力巨大。合理利用我国的盐碱地资源有利于保障国家的耕地面积,这关乎国家粮食安全问题,十分重要。我国在盐碱地改良利用技术的研究和推广方面已取得众多的成果。在盐碱地发展的果树种植等产业,利用了众多土壤改良的关键技术,实现了经济发展与环境保护的可持续发展<sup>[1]</sup>。为了更好地研究盐碱土壤改良的改良措施,本文综述了国内外盐碱土改良措施的研究,以期对盐碱土改良研究提供借鉴。

## 1 土壤水盐运动的研究

盐碱土壤的改良在很大程度上是对水盐运动的调节。研究溶质在土壤中的移动过程和规律,对于解决土壤盐渍化、改善盐碱土壤有重要作用。土壤水盐运动的研究开始于 Lapidus 和 Amundson 提出的一个类似于对流-弥散方程的模拟模型。Nielson 首先推导出了溶质运移的基本方程,即对流弥散方程。之后,美国加州大学 Jury 教授提出随机传输函数模型,也称为“黑箱模型”,可较好地揭示溶质在均质多孔介质中的运移机理及时间、空间对溶质运移的影响。另外,美国国家盐改中心的 van Genuchten 教授提出了考虑土壤中不动水体影响的可动水-不动水体模型,分析了可动水、不动水体的作用及相互影响。目前,对流-弥散方程模型、黑箱模型、可动水-不动水体模型构成了当今世界上溶质运移研究的三

大学派<sup>[2]</sup>。

我国研究人员利用已有的水盐运动的方程模型,对土壤盐碱问题进行了深入的研究,并取得了丰富的成果。陈丽湘等模拟盐渍化土壤水盐运动状态,分析得出在水分迁移速度极低的情况下,盐分的水动力弥散成为盐分迁移的主要形式,验证了深层土壤中地下水蒸发对于土壤水盐运动是一个十分重要的影响因素,对盐分的运移速度有直接影响<sup>[3]</sup>。在土壤水盐平衡的潜水“临界深度”方面,研究表明当潜埋深大于临界深度,地面潜水蒸发停止,地下水和土壤中的盐分不再积累于地表,土壤积盐与潜埋深呈负相关<sup>[4]</sup>。研究还表明在潜埋深小于 2 m 的情况下,只要土体中有淡水向上运动蒸发,就会产生盐分的向上移动;在潜埋深大于 2 m 的情况下,潜水并不能直接参与上层土体的水盐运动过程<sup>[5]</sup>。徐力刚等建立了小麦种植条件下土壤水盐运移的数学模型,并应用数学模型自主开发了模拟软件 SWSTM,模拟变化天气和变化地下水位条件下农田土壤中冬小麦水盐运移过程,以实现对小麦实际生产可能遇到的问题进行预报的目的<sup>[6]</sup>。

## 2 盐碱改良措施

科学家们针对盐碱土壤的理化性质,已经相继尝试了多种改良方法来改良盐碱土,并取得了许多成功经验。研究人员根据取得的经验总结了主要改良措施的改良原理:第 1 步是将可交换性  $\text{Na}^+$  从土壤胶体上替换下来,这是改良苏打盐碱土的根本,一般用  $\text{CaSO}_4$  提供  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{CaSO}_4 + 2\text{Na}^+ \text{X} \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{2+} + \text{X}$ , X 表示可交换性离子;第 2 步是要有良好的排水设施,排水通畅是改良盐碱土的前提;第 3 步是用大量的灌溉水移除过量的盐分,洗盐排盐是改良盐碱土的重要途径<sup>[7]</sup>。现在使用的改良措施大多是遵循这一原理的。

### 2.1 化学改良

化学改良盐碱土壤主要有两方面作用。一、凝聚土壤颗

收稿日期:2013-09-14

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(12)2013]。

作者简介:徐鹏程(1988—),男,山东淄博人,主要研究方向为果树耐盐栽培。E-mail:2012104016@njau.edu.cn。

通信作者:房经贵,教授。E-mail:fanggg@njau.edu.cn。

[12]宋安东,王磊,王凤芹,等. 微生物处理对秸秆结构的影响[J]. 生物加工过程,2009,7(4):72-76.

[13]魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海:上海科学技术出版社,1979.

[14]彭浩,邓百万,陈文强,等. 虎杖内生真菌产白藜芦醇苷菌株的分离鉴定[J]. 微生物学通报,2011,38(6):889-894.

[15]路鹏. 纤维素分解菌复合系 MC1 的发酵特性及其调控[D].

北京:中国农业大学,2003.

[16]刘淑霞,吴海燕,吴海文,等. 黑土玉米田土壤纤维素分解真菌物种鉴定及分解能力测定[J]. 玉米科学,2008,16(3):112-116.

[17]王舒,李汉骏,查美玲,等. 一株产纤维素酶真菌 *Mucor ambicoloratus* RSC1 的分离鉴定及其产酶培养基的初步优化[J]. 安徽农业科学,2012,40(23):11595-11597.

粒,改善土壤结构。很多改良剂有膨胀性、分散性、黏着性等,能够使因盐碱而分散的土壤颗粒聚结从而改变土壤的孔隙度,提高土壤通透性,达到改善土壤结构的目的。二、置换土壤  $\text{Na}^+$ ,促进盐分淋洗。改良剂本身带有或者发生化学反应产生的离子能够置换  $\text{Na}^+$ ,促进盐分淋洗。也有的采用酸性改良剂可以直接中和土壤中的碱,并且溶解  $\text{CaCO}_3$ ,释放  $\text{Ca}^{2+}$ 以置换土壤中的  $\text{Na}^+$ 。

由图 1 可知,化学改良剂可以分为很多种<sup>[8]</sup>。简略的分类可以分为 2 种:一种含钙型改良剂,如石膏、煤矸石氧化钙、石灰石、磷石膏等;一种是酸性改良剂,如硫磺、硫酸铝、硫酸、硫酸亚铁等。20 世纪 50 年代,美国首先开发了商品名为 Krilimu 的合成类高分子土壤结构改良剂<sup>[9]</sup>。改良剂使用至今,其相关研究已经十分完善,并且取得了很好的效果。

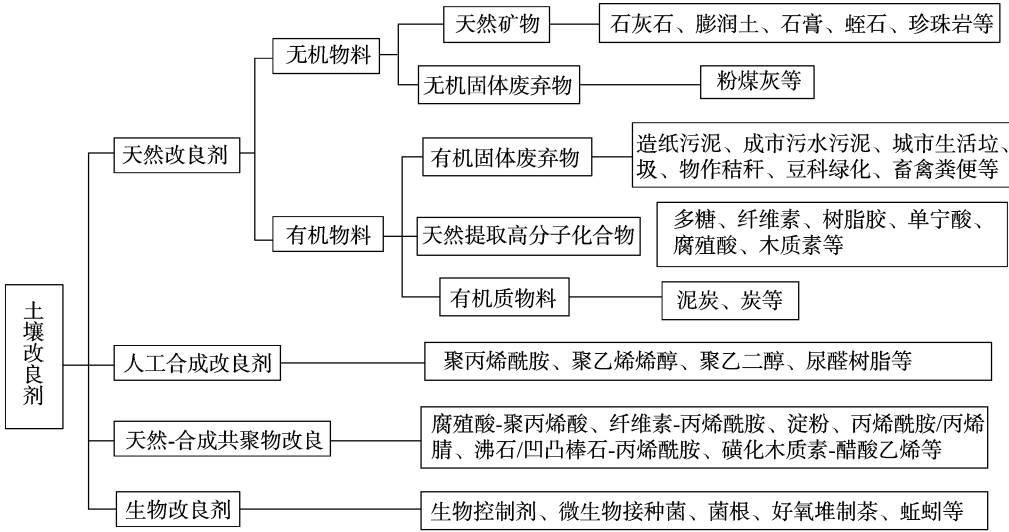


图1 土壤改良剂的分类系统

不同类型的改良剂表现出了不同的改良效果(表 1),但是实施改良时,使用单一改良剂无法解决问题,因此应根据不同改良剂的改良效果,配合使用多种改良剂进行土壤改良。

研究表明,褐煤、硫磺、石膏每 1  $\text{hm}^2$  质量配比为 3 : 4 : 2 时,改善盐碱土的生物学性质、提高盐碱土中的微生物氮和碳的含量效果最好<sup>[34]</sup>。

表 1 不同类型的改良剂对土壤的主要作用表现

改良剂类型	改良剂举例	改良剂改良作用							参考文献
		改善土壤结构	保水	保肥	增肥	修复金属污染	改善土壤生化特性	促进植物成活	
无机固体废弃物	粉煤灰	●			●	●	●		[10 - 12]
有机固体废弃物	粪便	●			●	●	●		[13 - 16]
天然高分子化合物	贝壳素类	●			●		●	●	[17 - 19]
有机质物料	泥炭	●			●	●	●		[20 - 22]
合成土壤改良剂	PAM	●		●			●		[23 - 25]
生物改良剂	AM	●			●	●	●	●	[26 - 29]
天然改良剂	沸石	●	●	●	●	●			[30 - 33]

注:●表示主要有该项改良作用。

2.2 植物改良

耐盐植物在生长过程中不仅可以降低土壤的盐碱度,还可以改善盐碱土壤的理化性质,促进土壤生物群落的恢复。植物改良方式比其他改良措施更经济有效,前景十分广阔。

2.2.1 盐碱地植物 我国盐生植物大约有 500 多种,常见的滨海盐碱地植物品种以及盐碱耐受度如表 2 所示<sup>[35]</sup>。各地通过选种、引种等选育方法选育了很多适应当地环境的耐盐植物<sup>[36-37]</sup>。此外,研究人员在基因工程育种方面也取得了成功<sup>[38]</sup>。耐盐植物育种工作虽然取得了一定进展,但总体而言,目前的盐碱地开发利用以绿化植物居多,耐盐农作物以及果树和蔬菜品种和种类较少,制约了盐碱土地资源利用。通过加强农作物和果树、蔬菜品种和种类的培育,更好地利用

了盐碱地,变废地为耕地。

2.2.2 植物改良作用 植物改良盐碱土壤的作用主要表现在以下 2 个方面。

(1)营养生物修复。营养生物修复主要是通过种植耐盐植物实现的。其主要机理和过程是:耐盐植物通过  $\text{Ca}^{2+}$  置换土壤中多余的  $\text{Na}^+$  直接摄取土壤中盐分;植物根系的生长延伸改善土壤的通透性,然后通过水分淋洗滤去  $\text{Na}^+$  或者通过植物吸收  $\text{Na}^+$  从地上部分收获而除去<sup>[39]</sup>。盐碱土中的钙源主要是可溶性较小(0.14 mmol/L)的  $\text{CaCO}_3$ ,但不能被直接用于  $\text{Na}^+$  的置换。耐盐植物的根系呼吸和土壤有机质分解可产生大量的  $\text{CO}_2$ ,能提高根区的  $\text{CO}_2$  分压,或者向根区释放质子( $\text{H}^+$ ),进而增大  $\text{CaCO}_3$  的溶解率,从而使  $\text{Ca}^{2+}$  用来置换

表 2 常见的滨海盐碱地植物品种以及盐碱耐受度

植物名	所属 (科)	生活型	正常生长土壤含盐量 (%)	生长受抑制土壤含盐量 (%)	备注
西伯利亚白刺	蒺藜	落叶灌木	<1.5	>1.5	滨海盐碱地
唐古特白刺	蒺藜	落叶灌木	<1.5	1.5~2.0	以硫酸盐为主的土壤
怪柳	怪柳科	落叶灌木或小乔木	0.8~1.2	2.5	
胡杨	杨柳科	落叶乔木	<0.8	>0.8	
银白杨	杨柳科	落叶乔木	<0.74	0.74~0.86	
枸杞	茄科	落叶灌木	0.6~0.9		
新疆杨	杨柳科	落叶乔木	<0.6	>0.6	以硫酸盐为主的土壤
单叶蔓荆	马鞭草科	落叶灌木	<0.6	1.0	以氯化物为主的土壤
中宁枸杞	茄科	落叶灌木	<0.5	0.5~0.7	以氯化物为主的滨海盐碱地
株美海棠	蔷薇	落叶小乔木	<0.5	>0.5	
沙枣	胡颓子科	落叶乔木	0.4~0.6	0.8~1.0	以氯化物为主的土壤
苦楝	楝科	落叶乔木	<0.46	0.46~0.7	
紫穗槐	豆科	落叶灌木	0.42~0.6	>0.6	以硫酸盐为主的土壤
白榆		落叶乔木	<0.45, pH 值 <9.0	pH 值 >9.0	土壤肥力高可抗更高盐碱
构树	桑科	落叶乔木	<0.4	>0.4	黄河三角洲
枣树	鼠李科	落叶乔木	0.3~0.5		滨海盐碱地
小叶白蜡	木犀科	落叶乔木	0.37~0.46	0.5~1.0	内陆盐碱地
杜梨	蔷薇科	落叶乔木	0.3	0.5	以氯化物为主
国槐	豆科	落叶乔木	<0.3, Cl <sup>-</sup> <0.2	>0.3, Cl <sup>-</sup> >0.2	山东、江苏
火炬树	漆树科	落叶乔木	<0.3	>0.3	
石榴	安石榴科	落叶灌木或小乔木	0.3	0.5	
箭秆杨	杨柳科	落叶乔木	0.3~0.41		以氯化物为主的土壤
无花果	桑科	落叶灌木或小乔木	0.3~0.4		
杏	蔷薇科	落叶乔木	0.3		以氯化物为主的滨海盐碱地
臭椿	苦木科	落叶乔木	<0.4	0.4~0.6	西北渭河、滨海盐碱
合欢	豆科	落叶乔木	<0.3	>0.3	
桑树	桑科	落叶乔木	0.3~0.6		硫酸盐为主的滨海盐碱地
毛白杨	杨柳科	落叶乔木	<0.3, pH 值 <8.5		
八里庄杨		落叶乔木	0.3, Cl <sup>-</sup> <0.1	Cl <sup>-</sup> >0.15	山东地区
大叶白蜡	木樨科	落叶乔木	0.2~0.3	1.5~2.0	滨海盐碱地邢台、衡水地区
侧柏	松柏科	常绿乔木	<0.2, pH 值 <8.0	0.2~0.3	
梭梭	藜科	落叶小乔木	1.0	3.0	准格尔盆地

Na<sup>+</sup>。在营养生物修复的有效性方面,研究人员已经进行了众多研究。耐盐植物可以在其组织中积累高浓度的盐分。在牧场条件下生长的滨藜(*Atriplex* sp.),其叶灰分中有 13%~27% 的盐<sup>[40]</sup>。而在盐碱土条件下生长的滨藜,其叶灰分中盐增加到 39%<sup>[41]</sup>。除了改善盐碱之外,由于植物在盐渍土壤中生长还能全面改善土壤肥力,使整个微生态系统向良性循环的方向发展<sup>[42]</sup>,这在相关研究中得到了证明<sup>[43]</sup>。

(2)降低地下水位,减少水涝。“盐随水来、盐随水去”,地下水位的降低可以有效降低底层土壤返盐。国外研究者在对比研究中分析得出:尽管地下水位受到季节影响,但是在种植 2 年后,种植滨藜土地的地下水位已经比未种植任何植物土地的地下水位降低了近 0.5 m<sup>[44]</sup>。同时,种植耐盐植物还可以增加地表盖度,抑制土壤表层水分蒸发,进而抑制盐分随水分蒸发向地表运动返盐,减少表层土壤的盐分积累。

2.3 工程措施改良盐碱土

工程措施改良盐碱土是根据水盐运动的特点,通过建设相关水利设施以淋水、灌水、排水等方式进行盐碱地的洗盐、排盐过程,以达到盐碱改良的目的。工程措施大致可分为灌水洗盐、地下排盐、蓄淡压盐。

2.3.1 灌水洗盐 灌水洗盐是应用最多的工程改良措施,同时取得较多的研究成果。研究人员利用咸冰水进行灌溉改良取得了较好的效果。微咸水中具有水合半径的较小钙、镁离子置换钠离子,使黏土颗粒凝聚,土壤通透性得以改善。同时微咸水结冰融化时,咸淡水分离,先融化的咸水对土壤盐具有重要的淋洗作用,同时后融化的淡水对土壤盐进行稀释和冲洗,使上层土壤盐分减少,提高洗盐效果<sup>[45]</sup>。此外,研究人员单纯采用非优质水(微咸水、咸水、碱性水)进行灌溉也取得了很好的效果<sup>[46]</sup>。在干旱缺雨和水源不足的地区,对盐碱土的灌溉洗盐,多采用喷灌或滴灌的办法,使土壤保持适宜的水分,以稀释土壤中的盐分,抑制土壤返盐,防止地下水位上升,结果作物生长良好<sup>[47]</sup>。还有研究人员进行高矿化水灌溉,利用水中的 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 替代土壤复合体的 Na<sup>+</sup> 也取得了成效<sup>[48]</sup>。

2.3.2 地下排盐

2.3.2.1 竖井排盐 通过在黏土夹层中凿孔换沙的方法建立排水孔,修建排水沙孔后,灌溉水或者自然降水的入渗形成地下水流运动的一个源项,类似于单井的水流运动,在水的入渗作用下,土壤盐分被溶解进入地下水,达到了排盐的目的。

进行竖井排盐一般要配合进行竖直冲洗压盐措施。竖井排水降低地下水位幅度大,控制地下水埋深稳定,土壤脱盐效果好。马德海等运用竖井排盐的方法取得了很好的效果<sup>[49]</sup>。

**2.3.2.2 暗管排盐** 暗管排盐改良盐碱地技术始于荷兰的围海造田运动,荷兰人利用该技术将大片围海之地改造为良田。暗管排盐技术就是将带有孔隙的管道铺设于地下一定深度(地下水位以上或以下),待灌溉或降雨后汇入管道的水或直接汇入到管道中的地下水,通过管道排出土地,带走盐分,起到改良盐碱地的目的(图2)。东营市利用暗管排碱技术实施盐碱土改良工程,取得了良好的效果<sup>[50]</sup>。

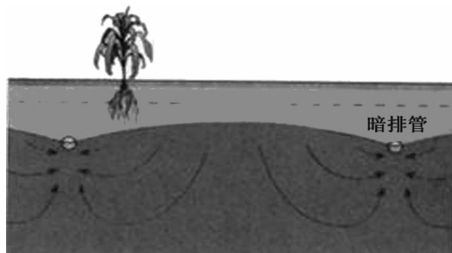


图2 暗管排盐示意

**2.3.2.3 明沟排盐** 明沟排盐是通过在大田中每隔一定距离挖取一定深度的沟渠来起到排出土体盐分、改良盐碱地的目的(图3)。明沟排盐占地大、桥涵多、易坍塌,排盐效果受明沟深度限制,清淤工程费用高。

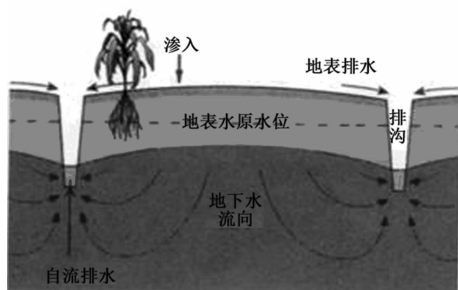


图3 明沟排盐示意

**2.3.3 蓄淡压盐** 蓄淡压盐通常指在盐碱地上拦蓄淡水以淋洗压盐的方式。在战国魏文侯时西门豹引漳河十二渠的水在盐碱地种水稻,取得了“终古斥卤,生之稻粱”的效果。种稻洗盐发展到现在,已经发展成“稻-苇-鱼”模式<sup>[51]</sup>(图4)。在轻、中度盐碱区种植水稻,沼泽区种植耐盐芦苇,深水水泡区养鱼。这种模式是循序改良、循序利用的方式。稻田的恒定水层能够抑制表层凝聚,淋洗盐分。芦苇区承接稻田区淋洗水,吸收盐分,水泡区提供灌溉水以及肥料。该模式合理利用了盐碱土地,改善了土壤盐碱性。同时,该模式营造了一种生态结构,这对于改善盐碱区的损坏严重的生物群落有重要作用。

国外研究人员利用明沟积水也实现了压盐改良,并取得了较好的效果。利用这种方法是为了确保积盐区远离发芽的种子和植物根部,其中沟渠灌溉水均匀度是至关重要的,如果没有均匀分布的水,盐将在发芽的种子和幼苗区域积累,这势必影响植物生长,并可能导致死亡。根据作物种植排列的方式可以分为2种<sup>[52]</sup>:双列苗床系统和单列苗床系统。(1)双列苗床系统。双列苗床系统需要朝向床中间的均匀润湿。

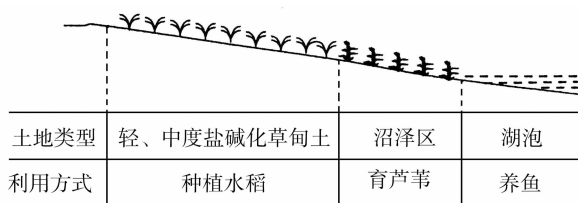
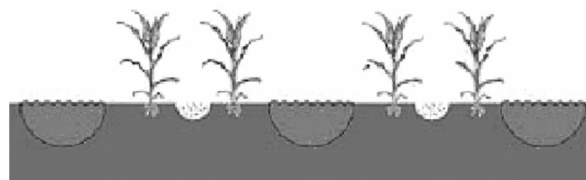
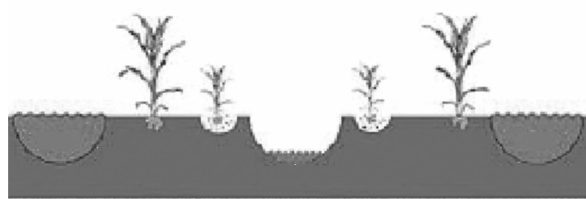


图4 “稻-苇-鱼”模式示意

这使得在床的两侧和肩膀相对不受盐的伤害。如果没有均匀湿润(一个垄沟接收水分更多或小于另一个),盐分将在靠近床的一侧积聚。这势必影响作物生长(图5)。(2)单列苗床系统。交替隔沟灌溉所需的单排床系统是通过干湿沟交替排列实现的。土壤中的盐分会随着水分从湿沟一端向干沟一端移动。值得注意的是,必须保证苗床始终而且整体湿润,这样才能防止盐分在种植区域析出。如果因为自然降水填补了原本的干沟,又或者是偶然因素导致干沟被灌溉,这势必会导致盐分在苗床上析出,影响作物生长。因此应注意保持干沟的干燥状态(图6)。

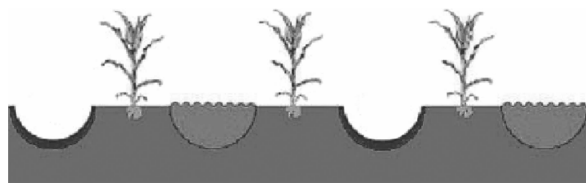


A.良好的水分均匀度:盐积聚在床中心,远离植物

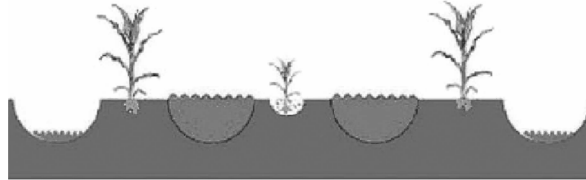


B.差的水分均匀度:盐的积累向作物靠近,接近床缘

图5 双列苗床系统



A.正常的干、湿沟交替,盐分积累在干沟一侧



B.干、湿沟不规则交替,盐分在苗床积累,影响作物生长

图6 单列苗床系统

## 2.4 耕作措施

**2.4.1 免耕法** 免耕法对盐碱土壤主要有2个改良作用。首先,减少地面蒸发,抑制返盐。实行免耕覆盖法,能防止降雨时雨滴对土地的直接冲击,土壤不易板结,有利于缓解地面水分蒸发,抑制土壤强烈返盐。其次,改善土壤结构。应用免

耕覆盖法的土壤,由于减少了机具对土壤的压实和覆盖植物根系的作用,使土壤耕层的物理性状有所改善。许慰睽等采用免耕法和常规耕地法进行对比试验,结果表明土壤容重、孔隙度、水稳性团粒数目均有所改善<sup>[53]</sup>。在澳大利亚几乎所有的农田都采用免耕法,改良中的盐碱地全部采用免耕方式进行保护性耕作<sup>[54]</sup>。

**2.4.2 深耕** 盐分在土壤中的分布情况为地表层多、下层少,经过耕翻可把表层土壤中盐分翻扣到耕层下边。翻耕能疏松耕作层,切断土壤毛细管,减弱土壤水分蒸发,有效控制土壤返盐。根据司振江的研究,经过振动深松的土壤水分及盐分的运移速度更快,在相同的雨强、降雨历时下,垂直入渗的深度更深,说明振动深松更有利于土壤脱盐<sup>[55]</sup>。

**2.4.3 平整土地** 平整土地对改良盐碱地极为重要,土地盐碱化的发生常与地表不平整有关,相同水文地质条件下,不平整的地面上,排灌不畅通会导致田里留有尾水,高地先干,造成返盐,形成盐斑。盐碱斑部位一般比邻近土地高出 2 ~ 5 cm,盐碱从边缘到中心逐渐加重<sup>[56]</sup>。平整土地可使表土水分蒸发一致,均匀下渗,便于控制灌溉定额,保证灌溉质量。

**2.4.4 覆盖措施** 覆盖材料能够吸收降水,积蓄所得的水靠重力下渗,下渗过程能够溶解和带走耕层中的盐碱,降低土壤溶液中盐碱浓度,起到改良盐碱土的作用。同时,覆盖还能够切断土壤毛细作用,减少土壤表层蒸发,抑制返盐。研究表明:覆盖对盐碱地表层土壤和根系层土壤的水盐运动具有较好的调节作用。覆盖可以有效保持植物下地表和根系层土壤水分,减少盐分积累,并缓解水盐运动剧烈变化;地膜覆盖在根系层的保持水分和防止盐分积累的作用明显<sup>[57]</sup>;秸秆覆盖能拦蓄雨水和减少地表蒸发,抑制地表返盐、促进降雨淋盐的作用<sup>[58]</sup>。

**2.4.5 隔盐措施** 由于土壤中所含盐碱具有随水而来、随水而去的特点,所以只要土壤中有盐碱来源,改碱效果就不稳定也不会有持久性。沿着切断盐碱上升的渠道这一思路,近几年研究人员总结出了隔盐措施进行改良盐碱。隔盐措施通常采用沙子、炉渣等孔径度大的材料作为地下隔层,隔离底层盐碱土。一方面,通过地上灌溉等方式对隔层以上土壤进行淋洗,以达到洗盐的目的;另一方面,通过隔层切断土壤的毛细作用,阻隔地下水向上层运动,抑制返盐。同时,隔盐层还能通过降低土壤累计蒸发量而降低土壤积盐量,起到改良盐碱的目的<sup>[59-60]</sup>。

在实际隔盐效果方面,根据孙莉的研究,隔盐层除了能够减少地下水对上层土壤的补给外,还能够延缓水分土壤下渗,降雨强度大时能够产生更多的地表径流,减少入渗量<sup>[59]</sup>。这提高了土壤盐分在水中的溶解量,有利于盐分的淋洗。富富等利用玉米秸秆作为隔层进行了隔盐研究也取得了较好的效果<sup>[61]</sup>。

### 3 展望

据估计,全球的盐碱土每年以 10 万 ~ 15 万  $\text{hm}^2$  的速度增长,我们面临着巨大挑战,合理利用盐碱土地资源成为一个重要的课题。研究人员所采用的化学改良措施、植物改良措施、工程改良措施等措施取得了很好的效果,为盐碱土壤改良方法的合理利用提供了科学的指导。但是每种改良措施有不

同的改良作用,在实际生产中应该根据当地土壤环境、气候条件、改良条件等,综合多种方法集成为一套适合自身情况的改良技术,这样有利于克服单一改良措施的不足,达到最好的改良效果。

### 参考文献:

- [1] 陈翔鹏,吴伟民,房经贵,等. 江苏省沿海滩涂葡萄栽培策略[J]. 江苏林业科技,2011,38(5):48-51.
- [2] 魏新平,王文焰,王全九,等. 溶质运移理论的研究现状和发展趋势[J]. 灌溉排水,1998,17(4):59-64.
- [3] 陈丽湘,刘伟. 土壤次生盐渍化之水盐运动规律研究[J]. 工程热物理学报,2006,27(3):466-468.
- [4] 刘亚传,常厚春. 干旱区咸水资源利用与环境[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1992:229-240.
- [5] 尤文瑞. 临界潜水蒸发量初探[J]. 土壤通报,1994,25(5):201-203.
- [6] 徐力刚,杨劲松,张奇. 冬小麦种植条件下土壤水盐运移特征的数值模拟与预报[J]. 土壤学报,2005,42(6):923-929.
- [7] 徐璐,王志春,赵长巍,等. 东北地区盐碱土及耕作改良研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(27):23-31.
- [8] 陈义群,董元华. 土壤改良剂的研究与应用进展[J]. 生态环境,2008,17(3):1282-1289.
- [9] Terry R E, Nelson S D. Effect of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties[J]. Soil Science,1986,141(5):317-320.
- [10] 王学锋,朱桂芬,张会勇. 粉煤灰和石灰对土壤重金属污染的影响[J]. 河南师范大学学报:自然科学版,2004,32(3):133-136.
- [11] Lai KM, Ye DY, Wong J C. Enzyme activities in a sandy soil amended with sewage sludge and coal fly ash[J]. Water Air and Soil Pollution,1999,113(1/2/3/4):261-272.
- [12] 吴家华,刘宝山,董云中,等. 粉煤灰改土效应研究[J]. 土壤学报,1995,32(3):334-340.
- [13] Guerrero C, Moral R, Gómez I, et al. Microbial biomass and activity of an agricultural soil amended with the solid phase of pig slurries[J]. Bioresource Technology,2007,98(17):3259-3264.
- [14] Garcia - Orenes F, Guerrero C, Mataix - Solera J, et al. Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids[J]. Soil & Tillage Research,2005,82(1):65-76.
- [15] 苏德纯,张福锁, Wong J W C. 粉煤灰钝化污泥对土壤理化性质及玉米重金属累积的影响[J]. 中国环境科学,1997,17(4):34-38.
- [16] Bhardwaj K, Datt N. Effects of legume green - manuring on nitrogen mineralization and some microbiological properties in an acid rice soil[J]. Biology and Fertility of Soils,1995,19(1):19-21.
- [17] Hallmann J, Rodriguez K R, Kloepper J W. Chitin - mediated changes in bacterial communities of the soil, rhizosphere and within Roots of cotton in relation to nematode control[J]. Soil Biology & Biochemistry,1999,31(4):551-560.
- [18] 段新芳. 甲壳素和壳聚糖的研究及其在农林业中的应用[J]. 世界林业研究,1998(3):10-15.
- [19] Sarathchandra S U, Watson R N, Cox N R, et al. Effects of chitin amendment of soil on microorganisms, nematodes, and growth of white

- clover(*Trifolium repens* L.) and perennial ryegrass(*Lolium perenne* L.) [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 22(3): 221–226.
- [20] Jøner E J, Jakobsen I. Growth and extracellular phosphatase – activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic – matter [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1995, 27(9): 1153–1159.
- [21] 陈伏生, 王桂荣, 张春兴, 等. 施用泥炭对风沙土改良及蔬菜生长的影响[J]. *生态学杂志*, 2003, 22(4): 16–19.
- [22] Vestberg M, Saari K, Kukkonen S, et al. Mycotrophy of crops in rotation and soil amendment with peat influence the abundance and effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in field soil [J]. *Mycorrhiza*, 2005, 15(6): 447–458.
- [23] 夏海江, 苏炜煊, 高岩. 聚丙烯酰胺防治土壤侵蚀的持效性研究[J]. *中国水土保持*, 2011(1): 49–50.
- [24] Paasikallio A. Effect of biotite, zeolite, heavy clay, bentonite and apatite on the uptake of radiocesium by grass from peat soil [J]. *Plant and Soil*, 1999, 206(2): 213–222.
- [25] Chan, Y K, Sivapragasam S. Amelioration of a degraded hardsetting soil using an anionic polymeric conditioner [J]. *Soil Technology*, 1996, 9(1/2): 91–100.
- [26] Thygesen K, Larsen J, Bødker L. Arbuscular mycorrhizal fungi reduce development of pea root – rot caused by aphanomyces euteiches using oospores as pathogen inoculum [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2004, 110(4): 411–419.
- [27] 李涛, 赵之伟. 丛枝菌根真菌产球囊霉素研究进展[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(9): 1080–1084.
- [28] 王发园, 林先贵, 周健民. 丛枝菌根与土壤修复[J]. *土壤*, 2004, 36(3): 251–257.
- [29] Jakobsen I, Smith S E, Smith F A. Mycorrhizal ecology [M]. Heidelberg: Springer – Verlag, 2002: 75–92.
- [30] 姜淳, 周恩湘, 霍习良, 等. 沸石改土保肥及增产效果的研究[J]. *河北农业大学学报*, 1993, 16(4): 48–52.
- [31] Garcia S A, Alastuey A, Querol X. Heavy metal adsorption by different minerals: application to the remediation of polluted soils [J]. *Science of the Total Environment*, 1999, 242(1/3): 179–188.
- [32] 邵玉翠, 张余良, 李悦, 等. 天然矿物改良剂在微咸水灌溉土壤中应用效果的研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(4): 100–103.
- [33] 关连珠, 张继宏, 颜丽, 等. 天然沸石增产效果及对氮磷养分和某些肥力性质调控机制的研究[J]. *土壤通报*, 1992, 23(5): 205–208.
- [34] 杨全刚. 改良剂组合对盐碱土改良机理及对植物耐盐性影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.
- [35] 殷小琳. 滨海盐碱地改良及造林技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [36] 牛庆杰, 李伟, 李慧英, 等. 向日葵耐盐碱材料筛选的新途径[J]. *吉林农业科学*, 1998(3): 28–29.
- [37] 赵连城, 刘孟雨, 孙家灵, 等. 国外大、小麦种质资源在盐碱地直接筛选可利用材料初报[J]. *作物品种资源*, 1994(4): 19–20.
- [38] 张朝, 刘美英, 陈学平. 转 *TaW* 基因提高烟草的耐盐性[J]. *中国烟草学报*, 2011, 17(3): 78–81.
- [39] Qadir M, Jim D O, Sven S, et al. Vegetative bioremediation of sodic and saline – sodic soils for productivity enhancement and environment conservation//Öztürk M, Waisel Y, Khan M A, et al. Biosaline agriculture and salinity tolerance in plants [M]. Birkhäuser Verlag: Basel, Switzerland, 2006: 137–146.
- [40] Welch, B L. Relationships of soil salinity, ash, and crude protein in *Atriplex canescens* [J]. *J Range Manage*, 1978, 31(2): 132–133.
- [41] Chaudhri I I, Shah B H, Naqvi N, et al. Investigations on the role of *Suaeda fruticosa* Forsk in the reclamation of saline and alkaline soils in West Pakistan plains [J]. *Plant and Soil*, 1964, 21(1): 1–7.
- [42] 罗明, 邱沃, 孙建光. 种草改良苏打硫酸盐草甸盐土对土壤微生物区系的影响[J]. *八一农学院学报*, 1995, 18(3): 35–39.
- [43] 李瑞利. 两种典型盐生植物耐盐机理及应用耐盐植物改良盐渍土研究[D]. 天津: 南开大学, 2010.
- [44] Barrett L G. Restoration of saline land through revegetation [J]. *Agricultural Water Management*, 2002, 53(1/2/3): 213–226.
- [45] 杨帆, 王志春, 肖焯. 冬季结冰灌溉对苏打盐碱土水盐变化的影响[J]. *地理科学*, 2012, 32(10): 1241–1246.
- [46] 郭全恩, 马忠明, 王益权, 等. 半干旱山区积盐果园集雨灌溉洗盐效果研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(6): 210–214.
- [47] 王兴鹏, 严晓燕, 李宁, 等. 不同灌溉方式下枣树根区土壤洗盐效果试验[J]. *灌溉排水学报*, 2011, 30(1): 130–133.
- [48] 曾路生, 石元亮, 王晶. 碱性矿化水淋洗对土壤盐碱化及小麦生长的影响[J]. *土壤与环境*, 2000, 9(2): 120–124.
- [49] 马德海, 张新民, 吴婕, 等. 黏土夹层盐碱地土壤竖孔排盐改良技术试验研究[J]. *灌溉排水学报*, 2007, 26(5): 51–54.
- [50] 周和平, 张立新, 禹锋, 等. 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, 164.
- [51] 李秀军, 杨富亿, 刘兴土. 松嫩平原西部盐碱湿地“稻 – 苇 – 鱼”模式研究[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 174–177.
- [52] Cardon G E, Davis G J, Bauder A T, et al. Managing saline soils [EB/OL]. [2014 – 03 – 05]. <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00503.pdf>.
- [53] 许慰睽, 陆炳章. 应用免耕覆盖法改良新垦盐荒地的效果[J]. *土壤*, 1990(1): 17–19, 35.
- [54] 袁汉民. 澳大利亚盐碱地改良利用的考察与思考[J]. *世界农业*, 2012(3): 57–59.
- [55] 司振江. 盐碱化草原农业改良技术及水盐运动规律研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [56] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明. 东北地区盐碱土特征及其农业生物治理[J]. *土壤*, 2006, 38(3): 256–262.
- [57] 郑艳艳, 薛忠, 孙兆军. 盐碱地膜草覆盖、覆膜、裸地油菜对比试验研究[J]. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 27(3): 254–257.
- [58] 赵名彦, 丁国栋, 郑洪彬, 等. 覆盖对滨海盐碱土水盐运动及对刺槐生长影响的研究[J]. *土壤通报*, 2009, 40(4): 751–755.
- [59] 张莉. 夹层和覆盖对滨海盐碱地土壤水盐运动的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [60] 石元春. 区域水盐运动监测预报体系[J]. *土壤肥料*, 1992(5): 1–3.
- [61] 范富, 徐寿军, 宋桂云, 等. 玉米秸秆造夹层处理对西辽河区盐碱地改良效应研究[J]. *土壤通报*, 2012, 43(3): 696–701.