

# Progress in Techniques of Improvement and Utilization of Saline-Alkali Land in China and Its Future Trend

Zhen Yang, Baoshan Wang\*

Key Laboratory of Plant Stress, College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan  
Email: [gina35@126.com](mailto:gina35@126.com), [bswang@sdu.edu.cn](mailto:bswang@sdu.edu.cn)

Received: Mar. 3<sup>rd</sup>, 2014; revised: Mar. 14<sup>th</sup>, 2014; accepted: Mar. 21<sup>st</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Soil salinization has become a worldwide problem. Saline-alkali land of China is characterized by extensive distribution and large area. Moreover, the degree of soil salinization is becoming more serious in cultivated land. As the population of China increases and cultivated land is degraded, to improve and utilize saline-alkali land reasonably is of great significance and importance. This paper summarizes the application, effect and the advantage and disadvantage of techniques in improving saline-alkali land, including water conservancy measures, physical measures, chemical measures and biological measures. Biological measure is discussed in detail and considered as the most economical and effective way to improve saline-alkali land. In the future, comprehensive strategy which integrates water conservancy measures, physical measures, chemical measures and biological measures, and adjusts these measures to local conditions should be used to improve and utilize saline-alkali land.

## Keywords

Saline-Alkali Land, Improvement and Utilization, Progress, Future Trend

---

# 中国盐碱地改良利用技术研究进展及未来趋势

杨 真, 王宝山\*

山东师范大学生命科学学院逆境植物重点实验室, 济南

\*通讯作者。

Email: [gina35@126.com](mailto:gina35@126.com), \*[bswang@sdu.edu.cn](mailto:bswang@sdu.edu.cn)

收稿日期: 2014年3月3日; 修回日期: 2014年3月14日; 录用日期: 2014年3月21日

## 摘要

土壤盐碱化已成为世界性的难题。我国盐碱地面积大、分布广,且耕地盐碱化问题日益严重。在人口不断增加,耕地不断退化的情况下,合理改良利用盐碱地对于我国粮食和能源安全具有重大意义。本文结合多年科研工作介绍了目前用于盐碱地改良利用的技术方法,包括水利方法、物理方法、化学方法和生物学方法,分析了其效果及优缺点,重点阐述了生物学方法是改良盐碱地最经济、最有效并可持续的方法。在今后改良利用盐碱地的实践中,应因地制宜,灵活采取水利工程方法、物理方法、化学方法和生物学方法相结合的综合治理方案。

## 关键词

盐碱地, 改良利用, 研究进展, 未来趋势

## 1. 引言

土壤盐渍化已成为全球问题。在人口逐年增加,耕地逐年减少的情况下,开发利用盐碱地具有重大战略意义。我国人多地少,城市化和工业化进程占据了大量耕地,而由于灌溉不当造成大量耕地盐碱化,18亿亩耕地红线越来越难以守住。另一方面,我国约15亿亩盐碱地80%处于荒芜状态[1]。所以,开发利用盐碱地对于国家经济发展、粮食和能源安全都具有重大意义。

近年来,每2~3年就召开一次国际盐渍化论坛讨论土壤盐渍化、灌溉、气候等相关问题及对策。2005年在美国加利福尼亚州召开了第一届国际盐渍化论坛,2008年在澳大利亚阿德莱德召开了第二届国际盐渍化论坛,2010年在西班牙瓦伦西亚召开全球盐渍化与气候变化论坛[2],可见土壤盐渍化的严重性及开发利用盐碱地的紧迫性。我们国家也十分重视盐碱地开发利用,天津滨海新区和黄河三角洲高效生态经济区上升为国家战略就是因为这些地区有大量盐碱地资源而且地理位置优越。其次,我国科技部的“973”、“863”和支撑计划等都有植物耐盐机理、盐生植物和盐碱地开发利用的项目,表明国家对盐碱地开发利用的重视。

盐碱地可持续开发利用是公认的世界性难题。自古以来,世界各国人民积累了不少开发利用盐碱地的方法和经验,但都无法大规模推广应用。盐碱地类型不同,土壤所含盐分的类型不同,土壤特性也不同。其次,盐碱地类型不同,土壤盐渍化形成的原因也不同。因此,改良和利用盐碱地所采用的技术和方法也不同。例如,对于原生盐渍化土壤(滨海滩涂等),只能利用种植盐生植物等生物学措施,而不能采取水利或化学措施改良。目前国内外盐碱地开发利用方法主要有:水利工程方法;物理方法;化学方法和生物学方法[3]。

## 2. 中国盐碱地改良利用技术

### 2.1. 水利方法

“盐随水来,盐随水去;盐随水来,水散盐留”[4]就是人们在长期治理盐碱地过程中发现和总结出来的土壤水、盐分运动规律。通常情况下,地下水和土壤耕作层水处于动态平衡中,相对稳定。但是,

当气候干旱时,降雨量少,土壤蒸发量增大,地下水分沿土壤毛细管向上运动,当到达土壤表层时水分以气态蒸发到空气中,而盐分则留在土壤表层并积累,如果这个过程长期反复进行,土壤耕作层的盐分就会积累到0.2%以上,使绝大多数植物不能正常生长发育完成生活史,就形成了盐渍化土壤,这也是盐碱地大部分分布在干旱、半干旱地区的主要原因[5]。相反,当降雨大于蒸发时,溶于土壤的盐分就下渗并径流到河流,土壤盐分降低。水利方法改良利用盐碱地正是利用了土壤水盐运动规律,建立完善的排灌系统,做到井、沟、渠配套,旱能灌、涝能排,灌溉适当、排水及时,这样就可以较好利用盐碱地。

我国早期盐碱地治理主要采取水利方法。20世纪50年代末到60年代,在盐碱地治理上侧重水利工程措施,以排为主,重视灌溉洗盐,特别是80年代以来,国家“六五”和“七五”专门设立盐碱地科技攻关项目,取得了明显成效。例如,河北南皮县和曲周县2个盐碱地综合试验区,主要是在保证了良好的排水工程前提下,经过多年进行咸淡水轮灌的综合措施,使盐碱地面积由原来的70%下降到5%左右[6]。80年代末期,在山东禹城市北丘洼采用了“强排强灌”的方法改良重盐碱地,结合施用磷石膏及耕翻、耙平等措施,也收到非常显著效果[7]。地下渗管(又称暗管)排盐是耕地盐碱化改良的常用方法之一,通过铺设暗管将土壤中的盐分排走,并将地下水位控制在临界深度以下,达到土壤脱盐和防止返盐的目的。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,然后流入排水沟渠排走。暗管埋设深度、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。例如黄河三角洲东营市,PVC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。这种方法适合于原生重盐碱地,但是成本高,难以大面积推广。水利措施虽被认为是治理盐碱地行之有效的方法,但是也存在不可克服的缺点:①淡水资源越来越少,特别是干旱、半干旱地区及经济发达的沿海地区淡水资源更为稀缺,难以推广应用。洗盐排水消耗过多水资源,一般需要4500~7500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>的大灌溉定额,灌溉用水量高,不利于节水;②灌溉排水工程量大,排水工程投入量较高,一般0.9~1.2万元/hm<sup>2</sup>,而且灌排工程施工繁琐;③众多排水沟渠和大量工程土石方占用农田,使得农田土地利用损失6%~10%;④灌排工程维修养护工作量和难度较大,尤其是地下暗管排盐系统的维修养护和运行管理费用较高,一般年均维修养护费用900~1500元/hm<sup>2</sup>;⑤大水漫灌洗盐的同时把作物需要的无机营养元素也洗走了,不利用培肥地力;⑥如果灌溉用水矿化度高极易造成盐分积累,盐碱化加重。因此,探索盐碱地改良利用其它方法就显得尤为重要[8]。

## 2.2. 物理方法

盐碱地改良的物理措施主要是通过改变土壤物理结构或者通过地表覆盖来调控土壤水盐运动,从而达到抑制土壤蒸发、抑制返盐及提高洗盐效果的目的。物理措施主要包括平整土地、深耕晒垡、及时松土、抬高地形、微区改土及地表覆盖等传统的改良方法[3] [6] [7]。

对于盐碱地而言,播种之前进行平整土地和深耕晒垡对于淡水灌溉压盐及后期排水防治涝害都非常重要。我国盐碱地主要分布于长江以北地区,3~6月份春季干旱土壤返盐严重,如果不进行春播前灌溉压盐会严重影响出苗率,如在黄河三角洲种植棉花一般在3~4月份进行平整土地并利用黄河水漫灌一次及时深耕耙细可以显著降低含盐量,墒情合适时播种基本能保证苗全。其次,我国北方地区降雨主要集中在7~8月份,如果土地平整不好、排水不畅容易发生涝害,特别是黄河三角洲沿海地区盐碱地更为严重。及时松土主要是切断土壤毛细管、抑制返盐,同时有一定保墒和通气作用,因此,在灌溉或降雨后及时松土对于盐碱地植物生长发育至关重要。

我国长江以北降水不足,且分布很不均匀,使一年中大部分时间地表蒸发大于降水,是盐碱地形成的根本原因。以山东省东营市为例,全年蒸发量1962.1 mm,是降水量的3.6倍。3~6月是强烈蒸发期,

蒸发量占全年的 51.7%，是同期降水量的 7.0 倍，蒸降比大，造成土壤表层积盐，是出苗难和死苗的主要原因。7~8 月是集中降雨期，蒸发减少，土壤又处于脱盐状态，是一年中土壤表层含盐量最低时期，有利于植物生长。9~12 月份降水量急剧减少，而蒸发却处于高水平，盐分又积累在土壤表层，这对大多数植物影响不大，但是冬小麦出苗十分不利，也是冬小麦出苗难的根本原因。冬季(1~2 月)虽然蒸降比仍然很高，但由于土壤封冬，土壤盐分处于相对稳定期，且这一时期植物都处于越冬期，所以对植物生长发育影响不大(图 1)。

抬高地形也是盐碱地改良的有效方法[9]。二十世纪 90 年代后期，黄河三角洲进行的盐碱地“台田”或“上农下鱼”试验就是利用抬高地形办法改造利用盐碱地，即在一定面积盐碱地把四周土挖出来抬到中央地块上，这样中央地块就抬高了，而四周有沟渠。这样，一方面中央地块抬高后抑制了返盐，另一方面降雨或灌溉淋洗的盐就很容易渗流到四周沟渠中，沟渠的水还可以养鱼等。如果沟渠排灌系统良好，这种措施应该是有效的。但是，后来证明这种方法不太成功。一方面，成本太大，二者浪费大量土地，三是沟渠排灌系统不畅，时间长了沟渠水含盐量太高不适合养殖。

微区改土又称换土，即把盐碱土运走换上好土，这是最有效最快的盐碱地改良方法。这种方法适合于沿海重盐碱地绿化或工厂小面积绿化。我国东营、天津等滨海城市绿化主要采取这种方法，根据盐碱程度和地下水位情况，把 1~2 米的盐碱土挖出来，地下铺上炉渣或其它切断地下水向上运动的材料如塑料薄膜等，然后填上好土就可以了。这种方法立竿见影，但成本巨大、不可持续。需要大量好土，来源和运输都是大问题[9]。特别是，如果种植的是多年生乔木，一旦根系下扎到咸水层就变黄、死亡。“一年青、二年黄、三年进伙房”就是对这种方法的形象描述。

沸石来源广泛，成本低廉，且无毒无害，在实际应用中显示出良好的土壤改良效果，是一种便于推广的土壤改良剂。沸石具有很强吸附能力和离子交换能力，将其加到土壤中，可起到保肥供肥改良盐碱

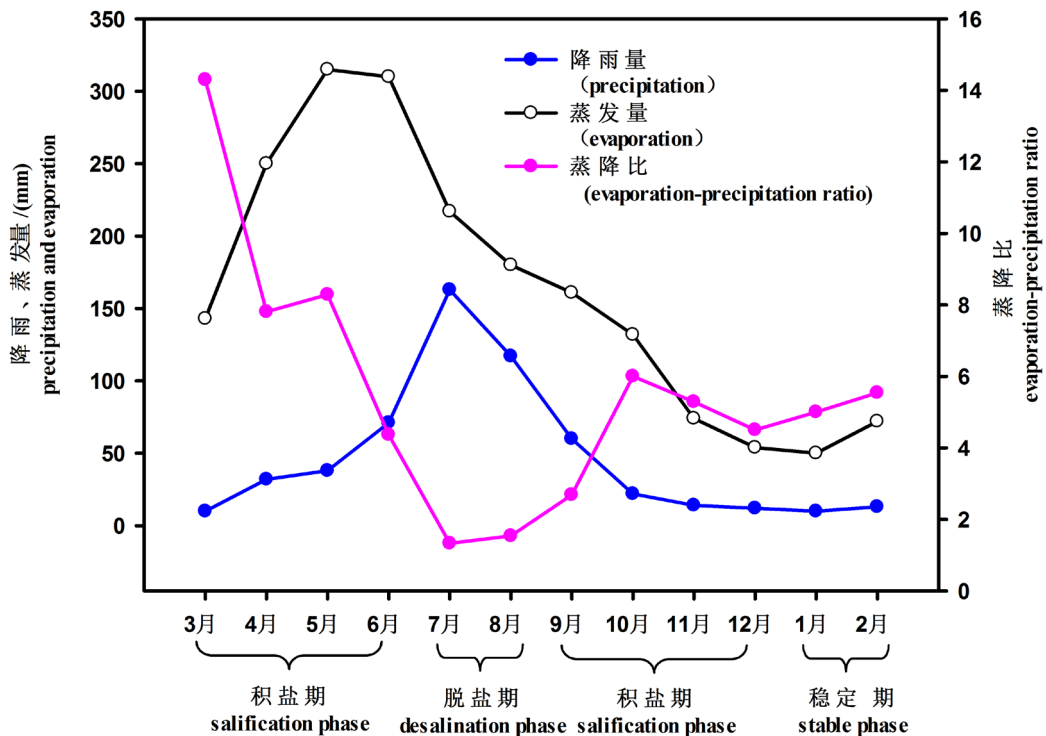


Figure 1. Precipitation, evaporation and the salt accumulation in soil in Dongying, Shandong province  
图 1. 山东省东营市年降雨、蒸发与土壤盐分积累情况



土物理性质的作用。研究表明,施用沸石可使土壤中的盐分下降,碱化度降低,并对土壤 PH 起到缓冲作用[10],但是,大面积应用也不可能。

利用地膜、落叶或秸秆等覆盖可以减少地面蒸发,抑制盐分在地表聚集,是物理措施改良盐碱地的一个重要手段[11]。其中,最有效的方法就是薄膜覆盖。过去农民有地表覆麦秸抑盐的经验。陈敏等在德州含盐量为 0.3%~0.6% 盐碱地上进行冬小麦覆膜穴播试验也证明有显著抑盐、提温、保墒及增产效果[12]。一般而言,覆膜地块整个返盐旺盛时期 0~20 cm 土层含盐量始终保持在 0.3% 左右,而不覆膜的土壤含盐量则随时间的延长而明显增加,到拔节期耕层平均含盐量高达 0.67%。覆膜比不覆膜平均地温提高 3℃~5℃。覆膜比不覆膜的耕层土壤含水量平均高 2% 左右,特别是后期,不覆膜土壤含水量急剧下降,而覆膜仍保持较高土壤含水量。杨洪兵、荆学民的研究表明,在抽穗期,覆膜的耐盐小麦德抗 961 株高比不覆膜的对照高 47.7%,鲜重高 96.9%,旗叶面积大 124.1%。覆膜使单位土地面积上的穗数、穗粒数和千粒重均明显高于不覆膜的对照,增产效果非常显著[13] [14]。总之,选用耐盐小麦品种,利用覆膜穴播技术,在春季返盐高峰前 10 天左右浇一次水能使含盐量在 0.3%~0.6% 的盐碱地小麦亩产量达 440 公斤左右,而不覆膜只有 260 公斤左右。同样,棉花也得到类似结果。可见这项技术对利用我国上亿亩盐碱地具有重大的应用价值。当然,薄膜的大量使用会导致环境污染问题,利用可降解的环境友好型薄膜就可以解决这个问题。如果能利用粉碎的作物秸秆进行覆盖可以达到抑盐和培肥地力的双重作用[12]。

### 2.3. 化学方法

盐碱地的化学改良方法是指在盐碱地上使用化学改良剂来改良盐碱地理化性质的方法。使用石膏粉改良盐碱地是农民的常用方法。研究表明,石膏粉改良盐碱地的主要原因是其所含的钙离子可代换盐碱土壤胶体上的钠离子,使土壤交换性钠离子的含量降低,从而降低盐害。其次,土壤胶体中的主要离子由  $\text{Na}^+$  变成  $\text{Ca}^{2+}$  后,可促进土壤团粒结构的形成,降低土壤容重,增加土壤透水性,加快洗盐速度,达到改良盐碱地的目的。俞仁培等的研究表明,石膏改良盐碱土效果显著,在盐碱地施用石膏后种植绿肥,经过翻压后进行粮草轮作,更能培肥土壤,巩固土壤的改良效果[15]。

磷石膏和防治大气污染的脱硫装置所产生的副产品脱硫石膏也有石膏粉类似作用[16]。磷石膏是当前盐碱地普遍应用的化学改良剂,可降低土壤钠碱化度,促使团粒结构形成,增加土壤通透性,改善土壤物理性质。崔志祥等在河套地区盐碱地施用磷石膏,并配合深灌水,淋盐效果显著[17]。车顺升等的研究表明施用磷石膏可有效降低耕层 PH 值,显著提高土壤脱盐效率,改良地上作物增产明显[18]。但磷石膏中含有可溶性氟等有害物质,而当前我国还影响,还应通过大量的实验验证并改良。脱硫石膏的主要成分是  $\text{CaSO}_4$  和  $\text{CaSO}_3$  的混合物,其性质与石膏类似,并含有多种植物必须的矿质元素,因此脱硫石膏在改良盐碱地土壤当中有较为广泛的应用。李焕珍等在沈阳市康平县进行了脱硫石膏改良盐碱地的玉米大田试验,其结果显示施用脱硫石膏后,土壤 PH 值及代换性  $\text{Na}^+$  含量显著下降,作物产量明显提高[19]。虽然脱硫石膏能显著改善盐碱地土壤质量,但其带来的问题也不容忽视,脱硫石膏富含植物所必需的一些营养元素,但与此同时也含一些微量重金属,如果农作物对这些重金属元素产生富集,则可能会通过食物链使其危害逐级放大,因此脱硫石膏使用的安全性还有待进一步验证。

当然,人们还探讨了吸水性树脂等高聚物改良盐碱地,但是都没有广泛应用,主要是成本高,其次面临土壤污染问题[20]。

### 2.4. 生物学方法

通常所谓盐碱地改良的生物学措施是指通过种植耐盐植物、使用微生物菌肥及有机肥等改良利用盐碱地的方法[21]。而广义改良和利用盐碱地的生物措施主要包括两个方面:一是开展植物耐盐生理和提高

植物耐盐能力的研究，其目的是使不耐盐的植物能够在盐渍土壤上正常生长发育，获得经济效益；二是在盐碱土壤上引种和种植有经济价值的盐生植物和耐盐植物。生物学措施是所有方法中最经济、有效和可持续的方法，越来越受到人们的重视。因为生物学措施有其它措施不具备的优点：一是盐生植物在盐碱地地上能够正常生长发育并完成生活史的植物[22]，不需要大量换土和改良土壤等工程措施，植物在生长发育期间也不需要大量灌溉、施肥等栽培措施，所以投入很少；二是，耐盐植物可以在盐碱地上很好生长，很快覆盖地表、降低蒸发起到抑制返盐作用，有利于其它耐盐差的植物生长，也有利于盐碱地生态恢复；三是许多盐生植物具有吸收、积累盐分的作用，所以，连续种植盐生植物并把地上部分茎叶用作饲料或绿肥就可以大大降低土壤含盐量[23]，一定时间后就可以种植作物了，这也就是为什么盐碱地经过多年种植耐盐植物后变成良田的原因；四是种植盐生植物后土壤动物和土壤微生物的种类和数量也会显著增加，有利于改善盐碱地土壤理化性质；五是如果我们选择种植有经济价值耐盐植物会收到一举两得的效果，即除了以上好处外还可以创造经济效益。

利用盐生植物开发利用盐碱地国内外已有近百年的研究历史，积累了大量经验，许多盐生植物具有一定的经济价值，有可能开发为食物、燃料、饲料、纤维及其它产品，其中一些已得到应用[24]。例如盐角草(海蓬子)和盐地碱蓬，其幼嫩茎叶就是优质蔬菜，目前对盐角草、盐地碱蓬的人工种植技术和产品加工已进入产业化阶段。盐地碱蓬和海滨锦葵的种子含油量很高，可作为油料植物开发利用。毕氏盐角草(海蓬子)在我国东南沿海种植，可亩产籽粒上百公斤[22]，但多次海水浇灌需要大量能源和人力，导致生产成本很高，为了丰产还需大量施用氮肥等，造成近海水域严重富营养化，因此到目前为止尚未形成大的产业。除此之外，碱茅、大穗结缕草、獐茅等盐生植物其茎叶均可作为优良饲料。罗布麻、柽柳等盐生植物可在盐碱荒地上生长，其纤维素含量较高，茎皮纤维可用作纺织原料，木质纤维也可制作纸浆。

我国在上世纪 60 年代已开始了耐盐植物引种和驯化研究，取得了许多进展，特别是在耐盐植物引种和应用研究上取得了一系列引人注目的成果。然而，到目前为止，盐生植物的开发利用未形成较大产业，适合在滨海盐碱地大面积种植的盐生能源植物、药用和饲用植物尚未进入到大规模产业化尝试阶段。南京大学和南京农业大学的盐生植物实验室等课题组运用生态修复和生态工程原理，推出一系列海滨盐土植被修复和直接利用的生态工程模式，旨在修复退化的盐沼湿地，将其改造成有益和有用的生态系统，有利于我国沿海地区经济和社会的可持续发展[25] [26]。自 1992 年以来，山东师范大学与东营农校(现为东营职业学院)建立了东营盐生植物园，在盐生植物的引进、驯化、选育、栽培技术研究方面开展了大量卓有成效的研究工作[27]。先后引进了林木、果树、花卉、中草药、农作物、蔬菜、牧草、草坪草等国内外耐盐植物 40 余科 200 多种[28]。为黄河三角洲滩涂耐盐植物的选育和示范栽培奠定了良好的基础。

在海滨盐土植被修复与经济利用模式研究中，发掘适合我国盐土资源的优质耐盐经济植物种质资源，进行耐盐药用、饲用、能源植物的选育与滩涂扩繁模式，运用生物技术与生态技术相结合，选育高产、优质和抗逆的药用、饲用、能源植物新品种(系)，在黄河三角洲滩涂大规模扩繁，促进生态系统的良性循环。这些研究无疑可为耐盐药用、饲用、能源植物的示范和推广以及良好的滨海盐碱地生态系统的建立提供必要的借鉴和经验。

我们在“十一五”期间主持完成了国家海洋“863”重点项目“海洋滩涂耐盐植物开发及集成应用技术研究”，本项目由山东师范大学、中国科学院南京土壤研究所、中山大学、厦门大学和中国科学院植物研究所承担，项目取得了显著成果。利用常规育种、细胞工程和转基因技术等筛选培育了适于黄河三角洲种和苏北滩涂适用的多种耐盐能源植物、药用植物、蔬菜和饲用植物新品种(品系)21 个[29]-[32]，其中四个已经获得新品种鉴定证书；构建海洋滩涂良性海水生态农业系统，建立了 30 种耐盐植物栽培的技术规程[13] [33]-[38]。开展了滩涂红树林种植 - 养殖耦合系统构建等研究，养殖 - 耦合系统示范区海水得到净化，养殖鱼类和贝类显著增产[39]-[41]。选育了 6 种耐全海水的修复植物，研制了 3 类 5 款耐海水生

态浮床[42] [43]。研制了针对西沙特殊环境的大型蔬菜生产保障设施及可拆装式舰船蔬菜生产设备, 筛选适种的蔬菜种质 41 种, 建立了多逆境交叉组合地带极端生境蔬菜生产集成配套技术并投入舰船开展蔬菜生产示范试验。这些成果对于我国近 15 亿亩盐碱地开发利用, 特别山东省黄河三角洲高效生态经济区建设具有重要意义。

我们还对种植耐盐植物对盐碱土壤改良及土壤动物和微生物种类及数量做了系统详细研究, 结果表明种植耐盐植物可以明显减低土壤含盐量而增加含水量, 土壤动物和微生物种类和数量也明显增加。

#### 2.4.1. 种植盐生植物对土壤含盐量的影响

如表 1 所示, 种植盐地碱蓬前的裸地是黄河三角洲含盐量很高的盐碱地, 冬春季地表有厚厚的积盐, 即使在夏季, 地表上也覆盖一层盐霜, 土壤含盐量达 3% 左右。在这样的地段上经过翻耕后, 撒播盐地碱蓬种子, 并覆以盐地碱蓬等植物的秸秆, 第二年盐地碱蓬会形成较郁闭的群落, 其含盐量比种植前大大下降, 土壤有机质有所增加, 也出现了灰绿藜、蒙古鸦葱和芦苇等其它盐生植物。可见这种人为种植盐生植物对于盐碱地改良比自然衍替快几年甚至是几十年。这对利用生物学措施改造我国沿海滩涂重盐碱地具有重要价值。

#### 2.4.2. 长期种植盐生植物对黄河三角洲盐碱地土壤微生物多样性的影响

目前依靠种植盐生植物对盐碱地土壤进行改良已成为国际上的一种趋势[44]。种植盐生植物后, 土壤理化性质发生变化, 同时其根系向土壤中分泌多种物质, 这些均会直接或间接的促进根际微生物的生长, 土壤微生物区系也会发生相应的变化。土壤微生物对环境变化很敏感, 能够较早地指示生态系统功能的变化[45]。但是, 目前人们较多考虑植被的指标以及土壤理化性质的变化, 对于土壤中的微生物多样性研究的报道较少。

我们对于连续种植盐生植物 2~10 年的盐碱地土壤主要微生物种类进行了研究。如表 2 所示, 与裸露盐碱地相比, 种植柽柳和盐地碱蓬两年和十年后土壤细菌、防线菌和真菌数量都显著增加。土壤中的微生物总数都有所增加, 植物根际土壤中微生物总数依次为两年柽柳 > 十年柽柳 > 十年盐地碱蓬 > 两年盐地碱蓬 > 对照组。

种植盐生植物后盐碱地土壤中各生理类群微生物数量也发生了显著变化(表 3)。裸露盐碱地和种

Table 1. Effect of planting *Suaeda salsa* on soil desalinization

表 1. 种植盐地碱蓬对土壤脱盐的作用

项目 Items	无灌溉条件下 Without irrigation			有灌溉条件下 With irrigation			
	含盐量(%) Salinity	有机质(%) Content of organic matter	植物种类 Plants species	含盐量(%) Salinity	有机质(%) Content of organic matter	植物种类 Plants species	
种植前 Before planting	1	2.704	0.13	无	2.709	0.08	无
	2	1.908	0.12	无	3.280	0.07	无
	3	1.107	0.18	少量芦苇	3.300	0.07	无
	平均	1.906	0.14	无	3.096	0.07	无
种植后 After planting	1	1.027	0.15		0.423	0.13	
	2	0.811	0.17	盐地碱蓬、 灰绿碱蓬、 蒙古鸦葱、芦苇	0.664	0.15	盐地碱蓬、藜、 芦苇、 灰绿碱蓬
	3	0.914	0.21		1.200	0.12	
	平均	0.917	0.18		0.762	0.13	

**Table 2.** Effect of planting halophytes for different years on microbe amount in rhizosphere ( $\times 10^4$ /g-dry soil)  
**表 2.** 不同种植年限盐生植物根际土壤微生物数量(单位:  $\times 10^4$  个/g·干土)

样地 Sample plot	细菌 Bacteria	耐盐细菌 Halotolerant bacteria	放线菌 Actinomycete	耐盐放线菌 Halotolerant actinomycete	真菌 fungi		总数 Total
					霉菌 Mildew	酵母菌 Yeast	
对照(CK)	220.24 $\pm$ 1.72	86.31 $\pm$ 1.49	4.86 $\pm$ 0.60	5.34 $\pm$ 0.06	0.01 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01	225.12 $\pm$ 2.31
两年柽柳 With <i>Tamarix chinensis</i> planted for 2 years	838.64 $\pm$ 139.2	167.73 $\pm$ 28.56	20.38 $\pm$ 2.85	33.76 $\pm$ 1.65	0.02 $\pm$ 0.01	0.37 $\pm$ 0.03	859.41 $\pm$ 139.48
十年柽柳 With <i>Tamarix chinensis</i> planted for 10 years	352.18 $\pm$ 32.53	16.57 $\pm$ 1.48	31.25 $\pm$ 1.72	7.30 $\pm$ 0.64	0.18 $\pm$ 0.06	1.21 $\pm$ 0.23	384.82 $\pm$ 32.96
两年盐地碱蓬 With <i>Suaeda salsa</i> planted for 2 years	244.90 $\pm$ 2.14	66.79 $\pm$ 3.86	0.80 $\pm$ 0.08	16.82 $\pm$ 1.98	0.04 $\pm$ 0.02	0.01 $\pm$ 0.01	245.76 $\pm$ 2.16
十年盐地碱蓬 With <i>Suaeda salsa</i> planted for 10 years	364.18 $\pm$ 27.36	118.41 $\pm$ 38.24	1.37 $\pm$ 0.17	1.74 $\pm$ 0.07	0.01 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01	365.57 $\pm$ 27.23

**Table 3.** Effect of planting halophytes for different years on microbe amount of physiological class in rhizosphere ( $\times 10^4$ /g-dry soil)  
**表 3.** 不同种植年限盐生植物根际不同生理类群微生物数量(单位:  $\times 10^4$  个/g·干土)

	对照 CK	两年柽柳 With <i>tamarix chinensis</i> planted for 2 years	十年柽柳 With <i>tamarix chinensis</i> planted for 10 years	两年盐地碱蓬 With <i>Suaeda salsa</i> planted for 2 years	十年盐地碱蓬 With <i>Suaeda salsa</i> planted for 10 years	总数 Total
自生固氮菌 Azotobacter	96.23 $\pm$ 19.92	244.16 $\pm$ 20.25	108.13 $\pm$ 13.35	132.34 $\pm$ 17.32	100.50 $\pm$ 12.47	681.36 $\pm$ 16.13
纤维素分解菌 Cellulose-decomposing bacteria	122.02 $\pm$ 20.62	143.31 $\pm$ 9.19	510.91 $\pm$ 103.22	183.05 $\pm$ 53.53	35.92 $\pm$ 6.89	995.21 $\pm$ 48.00
氨化细菌 Ammonifier	519.84 $\pm$ 15.01	1730.36 $\pm$ 174.76	790.67 $\pm$ 109.89	218.92 $\pm$ 39.33	597.01 $\pm$ 17.23	3856.8 $\pm$ 141.88
芽孢菌 Spore bacteria	4.07 $\pm$ 0.43	9.66 $\pm$ 1.05	12.60 $\pm$ 5.95	5.94 $\pm$ 2.67	2.27 $\pm$ 0.18	34.54 $\pm$ 1.50
硝化细菌 Nitrifying bacteria	0.0002	0.0239	0.0007	0.0009	0	0.0258
亚硝化细菌 Nitrite bacteria	0.0013	0.0796	0.0446	0.0167	0.0075	0.1498
反硝化细菌 Denitrifying bacteria	0.0022	0.0096	0.0283	0	0.0045	0.0445
硫化细菌 Thiobacillus	0.0104	0.1115	3.8690	0.6134	0.0492	4.6536
反硫化细菌 Anti-sulfur bacterial	0.1786	0.6369	0.0001	0.0006	0.0597	0.8760

注: 硝化细菌、亚硝化细菌、反硝化细菌、硫化细菌和反硫化细菌采用 MPN 法, 因此无方差分析。

植盐生植物后各生理类群数量表现为: 氨化细菌 > 纤维素分解菌 > 自生固氮菌 > 芽孢菌 > 硫化细菌 > 反硫化细菌 > 亚硝化细菌 > 反硝化细菌 > 硝化细菌。氨化细菌总数处于绝对的优势, 自生固氮菌和纤维素分解菌的数量较多。种植盐生植物后, 氨化细菌、自生固氮菌、硝化细菌和亚硝化细菌的数量均是两年柽柳最大, 种植十年后数量下降, 可以推知, 柽柳种植两年可以促进土壤氮素的积累, 同时也利于其他微生物和植物的生长繁殖。同样, 在盐地碱蓬中, 也得出类似结果, 种植盐地碱蓬后, 土壤



中的自生固氮菌、硝化细菌、亚硝化细菌、纤维素分解菌和硫化细菌的数量显著提高，但是随着种植年限的延长，他们的数量又会降低。

总之，种植盐生植物后土壤中微生物的数量显著提高，而且怪柳对微生物的影响比较大，可以显著提高微生物的数量，并且耐盐细菌的比例显著下降，在种植两年后微生物数量最大，随着连续种植时间的增加，微生物总数的减少，而真菌数量在增加，细菌与真菌的比值显著变小，氨化细菌、自生固氮、菌硝化细菌和亚硝化细菌的数量也在下降；盐地碱蓬和怪柳类似，可以提高微生物的数量，但是幅度没有怪柳大，而且随着种植年限的延长，微生物的数量逐步提高，细菌与真菌的比值也是逐步提高，从生理类群的研究结果看，随着种植年限的延长，土壤中的自生固氮菌、硝化细菌、亚硝化细菌、纤维素分解菌和硫化细菌的数量也是在慢慢下降。综上可知，在利用盐生植物改良盐碱地土壤时，应当根据不同盐生植物的特性，对盐生植物的种植制度进行合理的规划，避免同一种盐生植物连续种植多年，以发挥各种盐生植物的协同效果。

#### 2.4.3. 长期种植盐生植物对黄河三角洲盐碱地土壤动物的影响

土壤动物是指其生活史中有一段时间在土壤中度过，且对土壤理化特性有一定影响的动物。土壤动物是土壤生态系统中不可分割的组成部分，它们在分解残体、改变土壤理化性质、土壤形成与发育、土壤物理迁移与能量转化等方面都有重要的作用，是生态系统的关键环节。土壤动物还是反映环境变化的敏感指示物，其数量和组成是评价土壤环境质量和土壤生物学状态的重要参数，能够表征环境受人为活动影响遭到破坏的程度[46] [47]。因此，研究种植不同盐生植物对黄河三角洲的盐碱地土壤动物种类和数量的效应，研究其动态变化规律，分析其成因，实现该地区高效、生态可持续发展具有重要意义。

我们调查了黄河三角洲盐碱地动物类群，共获得各类土壤动物样本 4719 头，隶属于 1 门 6 纲，共计 14 个类群。在裸露和种植不同盐生植物的 12 个样地中，弹尾纲和蜱螨亚纲占捕获总量的比例最大，分别为 15.87%(749 头)和 73.89%(3487 头)，为该地区土壤动物群落的优势类群；膜翅目和鞘翅目占捕获总量的比例为 6.57%和 1.55%，均大于 1.00%，为常见类群；其余 10 个类群均不足捕获总量的 1.00%，为稀有类群。可见，种植盐生植物会增加土壤动物种类和数量，但不同盐生植物及种植年限的效果不同。

总的来看，种植不同盐生植物后显著改善土壤理化性质，土壤生物多样性显著改善，突出表现为土壤生物种类增多，数量增加，这对加速脱盐、形成良性土壤生态系统具有重要意义。从这个意义上讲，生物学措施是改良盐碱地最经济、最有效和可持续的方法。

### 3. 盐碱地改良未来趋势展望

水利工程措施、物理措施、化学措施和生物措施等盐碱地改良的多种技术和措施具有不同的改良效果，也各有利弊。由于盐碱地的改良是一个较为复杂综合治理系统工程，所以对于改良盐碱土仅利用一种方法是难以奏效的，应该因地制宜，根据当地气候特点和盐碱地类型及盐碱程度，根据要种植植物的生物学特性和耐盐性，采取以水肥为中心，灵活采取水利工程措施、物理措施、化学措施和生物学措施相结合的综合治理方法，是改良治理盐碱地的主要方向和未来趋势。

#### 基金项目

国家科技支撑计划项目(2009BADA7B05)和教育部博士点基金优先发展领域(20123704130001)。

#### 参考文献 (References)

- [1] 丁海荣, 洪立洲, 杨智青, 等 (2008) 盐生植物碱蓬及其研究进展. *江西农业学报*, **8**, 35-37, 40.
- [2] 王佳丽, 黄贤金, 钟太洋, 等 (2011) 盐碱地可持续利用研究综述. *地理学报*, **5**, 673-684.

- [3] 周和平, 张立新, 禹锋, 等 (2007) 我国盐碱地改良技术综述及展望. *现代农业科技*, **11**, 159-161, 164.
- [4] 林成谷 (1983) 土壤学(北方本). 农业出版社, 北京.
- [5] Doran, J.C. and Turnbull, J.W. (1997) Australian trees and shrubs: Species for land rehabilitation and farm planting in the tropics. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- [6] 马晨, 马履一, 刘太祥, 等 (2010) 盐碱地改良利用技术研究进展. *世界林业研究*, **2**, 28-32.
- [7] 王春娜, 宫伟光 (2004) 盐碱地改良的研究进展. *防护林科技*, **5**, 38-41.
- [8] 牛东玲, 王启基 (2002) 盐碱地治理研究进展. *土壤通报*, **6**, 449-455.
- [9] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等 (2005) 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施. *水土保持研究*, **6**, 32-34, 111.
- [10] 郝秀珍, 周东美 (2003) 沸石在土壤改良中的应用研究进展. *土壤*, **2**, 103-106.
- [11] 刘阳春, 何文寿, 何进智, 等 (2007) 盐碱地改良利用研究进展. *农业科学研究*, **2**, 68-71.
- [12] 陈敏, 王宝山 (2000) 覆麦秸对盐碱地小麦生长及产量的效应. *山东师大学报(自然科学版)*, **3**, 307-310.
- [13] 荆学民, 杨洪兵, 王宝山 (2001) 滨海盐碱地冬小麦覆膜栽培技术的研究. *山东科学*, **1**, 11-14.
- [14] 杨洪兵, 荆学民, 邱念伟, 等 (2001) 麦业丰对滨海盐碱地覆膜冬小麦生长及产量的效应. *山东农业科学*, **1**, 29-30.
- [15] 俞仁培, 杨道平 (1984) 土壤碱化及其防治. *土壤*, **5**, 163-170.
- [16] 王立志, 陈明昌, 张强, 等 (2011) 脱硫石膏及改良盐碱地效果研究. *中国农学通报*, **20**, 241-245.
- [17] 崔志祥, 董进亚 (1995) 磷石膏改良河套地区碱化土的效果. *土壤*, **4**, 216-218.
- [18] 车顺升, 罗三强 (2000) 磷石膏改良盐碱地土壤化学性质的效果. *陕西农业科学*, **9**, 16-18.
- [19] 李焕珍, 张玉龙 (1999) 脱硫石膏改良强度苏打盐渍土效果的研究. *生态学杂志*, **1**, 25-29.
- [20] 陈义群, 董元华 (2008) 土壤改良剂的研究与应用进展. *生态环境*, **3**, 1282-1289.
- [21] 刘建红 (2008) 盐碱地开发治理研究进展. *山西农业科学*, **12**, 51-53.
- [22] 赵可夫, 李法曾, 张福锁 (2013) 中国盐生植物(第二版). 科学出版社, 北京.
- [23] Zhao, K.F. (1991) Desalinization of saline soils by *Suaeda salsa*. *Plant and Soil*, **135**, 303-305.
- [24] 赵可夫, 李法曾 (1999) 中国的盐生植物. *植物学通报*, **3**, 201-207.
- [25] 钦佩 (2002) 我国海滨盐土可持续发展的模式研究. *中国科协 2002 年学术年会*, 中国科学技术出版社, 成都, 147-152.
- [26] 钦佩, 周春霖, 安树青, 尹金来 (2002) 海滨盐土农业生态工程. 化学工业出版社, 北京.
- [27] 聂肇正, 刘玉新, 翁森红 (2005) 东营盐生植物园的前景展望. *内蒙古科技与经济*, **9**, 43-45.
- [28] 邵秋玲, 谢小丁, 徐化凌, 等 (2011) 东营盐生植物园在黄河三角洲高效生态建设中的作用. *湖北农业科学*, **22**, 4649-4652.
- [29] 谢小丁, 刘玉新, 徐化凌, 等 (2009) 唐古特白刺在黄河三角洲滨海盐碱地的引种. *湖北农业科学*, **9**, 2114-2117.
- [30] 于德花, 常尚连, 徐化凌, 等 (2009) 黄河三角洲滩涂耐重盐植物的筛选实验. *河北大学学报(自然科学版)*, **6**, 640-646.
- [31] 张新果, 陈显扬, 姜丹, 等 (2008) 耐盐药蒲公英(*taraxacum officinale weber*)愈伤组织筛选及生理生化特性分析. *生物工程学报*, **7**, 1202-1209.
- [32] 张新果, 李银心, 陈华, 等 (2008) 药蒲公英(*taraxacum officinale weber*)耐 1.5% NaCl 变异体的筛选及特性分析. *生物工程学报*, **2**, 262-271.
- [33] 骆江兰 (2008) 海水蔬菜无土栽培实用新型技术. *农家之友(理论版)*, **5**, 30-31.
- [34] 骆江兰, 刘汉才, 周祥 (2008) 海芦笋盐碱地栽培技术. *农家之友(理论版)*, **7**, 34-35.
- [35] 于德花 (2010) 黄河三角洲盐渍土二色补血草栽培技术. *中国种业*, **1**, 73-74.
- [36] 周祥, 骆江兰 (2008) 叶用莼菜海水化有机栽培技术. *现代农业科技*, **3**, 28-29.
- [37] 周祥, 骆江兰, 蔡金龙, 等 (2008) 海芦笋的高效栽培技术. *长江蔬菜*, **2**, 27-28.
- [38] 周祥, 骆江兰, 刘汉才 (2007) 菊苣海水化无土栽培技术. *现代农业科技*, **20**, 21, 23.
- [39] 徐姗姗, 陈作志, 黄洪辉, 等 (2010) 红树林种植 - 养殖耦合系统中尼罗罗非鱼的食源分析. *中山大学学报(自*

然科学版), **1**, 101-106.

- [40] 徐姗楠, 陈作志, 黄小平, 等 (2010) 底栖动物对红树林生态系统的影响及生态学意义. *生态学杂志*, **4**, 812-820.
- [41] 徐姗楠, 李纯厚, 李适宇 (2010) 红树林种植 - 养殖耦合系统的养殖生态容量. *中国水产科学*, **17**, 393-403.
- [42] 林永青, 吴佳鑫, 郑新庆, 等 (2011) 浮床栽培海马齿对海水中悬浮颗粒物清除作用的实验研究. *厦门大学学报 (自然科学版)*, **5**, 909-914.
- [43] 张志英, 黄凌风, 姜丹, 等 (2009) 浮床种植海马齿对富营养化海水氮、磷移除能力的初步研究. *中国环境科学学会 2009 年学术年会*, 中国环境科学出版社, 武汉, 50-55.
- [44] 赵可夫, 范海, 江行玉, 等 (2002) 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用. *应用与环境生物学报*, **1**, 31-35.
- [45] 范运梁 (2010) 盐生植物对黄河三角洲微生物多样性的影响. 山东师范大学, 济南.
- [46] Blair, J.M., Bohlen, P.J. and Freckman, D.W. (1996) Soil invertebrates as indicators of soil quality. In: *Methods for Assessing Soil Quality 1996 (Methods for Asses)*, Soil Science Society of America, Madison, 273-291.
- [47] 付颖, 谢桐音, 谢桂林, 等 (2012) 三种不同盐生植物下土壤动物群落研究. *东北农业大学学报*, **12**, 139-144.