

滨海盐碱地“台田－浅池”改良措施的研究进展

李 颖^{1,2}, 陶 军¹, 钞锦龙^{1,2}, 张 化¹, 顾 卫¹

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室(北京师范大学), 北京 100875;

2. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

摘 要: 滨海盐碱地是我国一类重要的土地资源,但其特殊的土壤理化性质严重制约植物的生长。长期以来,国内外学者已对我国滨海盐碱土的理化性质和水盐运动进行了深入研究,并据此提出了相应而有效的滨海盐碱土物理、化学、生物方面的改良措施。近年来,“台田－浅池”型综合土地利用模式(挖土成池,筑土为台,台田种植,浅池养殖)是我国一种新型的滨海盐碱地综合改良模式,它集合了国内外优秀的滨海盐碱地改良方法,并创新性的将新型水资源——海冰水应用在滨海盐碱地的改良利用中,目前已经在土地利用变化和优化配置、台田修筑、盐碱地改良、土壤水盐运动、海冰水灌溉、作物种植、耐盐植物筛选、咸淡水混合养殖等多方面进行了综合利用试验,并在降低土壤盐度,增强土壤肥力,提高作物产量,增加经济效益等方面取得了良好的效果。未来,提高土壤肥力、选择适宜作物品种、使用风能太阳能等清洁能源、协调生态发展、实现滨海盐碱地可持续利用是“台田－浅池”综合利用模式研究的新方向。

关键词: 改良;滨海盐碱地;“台田－浅池”;海冰水

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0154-07

Research progress of improving measures of “raised field – shallow pool” for coastal saline-alkaline land

LI Ying^{1,2}, TAO Jun¹, CHAO Jin-long^{1,2}, ZHANG Hua¹, GU Wei¹

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875, China)

Abstract: Coastal saline-alkaline land is an important resource in our country, but the growth of plants was restricted by the special physical and chemical properties seriously. The researchers at home and abroad have done many deeply researches in physical and chemical properties and water movement of coastal saline – alkaline soil for a long time, and proposed some appropriate and effective improvement measures. In recent years, “raised field – shallow pond” pattern is a new method of coastal saline-alkaline land improvement, which has collected excellent saline improved methods at home and abroad. The utilization of sea ice water in “raised field-shallow pond” pattern is a distinctive feature in coastal saline improvement. Until now, the main study content include many kinds of comprehensive utilization test, such as land use change and optimizes configuration, field construction, improvement of saline – alkali soil, water and salt movement, sea ice water irrigation, crop planting, salt – tolerant plants screening and so on. It has been achieved good results in soil salinity, soil fertility, crop yields and economic efficiency. In the future, there are still many researches needed to explore the content and new direction of “raised field – shallow pond” pattern, such as improvement of soil fertility, the right crop varieties chosen, the utilization of clean energy sources, ecological development, and the sustainable development of coastal saline-alkaline land.

Keywords: improvement; coastal saline-alkaline land; raised field – shallow pool; sea ice water

盐碱土是全球广泛分布的一种土壤类型。土壤盐碱化过程会影响土壤的理化性质、土壤微生物过

程以及动植物的生长^[1-4]。2010 年我国盐碱地总面积超过 3 333 万 hm²,其中具有农业利用潜力的盐

收稿日期:2013-11-15

基金项目:国家 863 计划项目课题(2011AA100505);国家自然科学基金青年基金项目(41201237);地表过程与资源生态国家重点实验室项目(2014 – ZY – 01, 2010 – TD – 02, 2011 – TDZD – 050, 2012 – TD – 01)

作者简介:李 颖(1986—),女,山西太原人,博士研究生,主要从事海岸带资源开发与利用研究。E-mail: liying86@mail.bnu.edu.cn。

通信作者:顾 卫(1956—),男,吉林长春人,博士,教授,博士生导师, E-mail: weigu@bnu.edu.cn。

渍土面积约为 1 333 万 hm^2 , 约占全国耕地面积的 10%^[5]。改造治理并合理开发利用这些盐碱地资源, 是解决我国耕地资源锐减, 保证粮食安全生产的重要途径之一。

我国滨海地区 15 m 等深线以内的滨海盐土、海涂和浅海有 1 400 万 hm^2 , 占我国盐渍土总面积的近 40%, 是我国五大盐渍土区之一; 该区域年降水量在 500 mm 以上, 地下水资源丰富, 开发利用潜力巨大^[6]。滨海地区是我国经济最发达的区域, 城市发展使得土地利用变化剧烈, 大量耕地被占用, 倘若能将滨海盐碱地改造成适宜耕种的土地, 将大大缓解农业用地压力。滨海盐碱地作为我国重要的耕地后备资源, 改良历史悠久^[7], 天津沿海宋代开始种稻改良盐碱地^[8]; 清代在江苏省滨海地区创办垦牧公司, 兴修水渠改良和治理盐碱地; 辽河下游平原、山东在 20 世纪 50 年代开始大规模改良利用滨海盐碱地的原型试验^[9-10]。2012 年中科院李振声院士提出“渤海粮仓”计划, 旨在利用当地资源优势, 集合科学技术, 构建适度规模经营的现代农业生产技术体系, 大幅提升环渤海中低产田粮食增产能力。改良土壤结构和恢复植被是解决土地盐碱化的根本途径, 长期以来, 国内外众多学者针对滨海盐碱地开展了一系列相关研究, 主要涉及水盐运动、改良措施、作物选

择和绿化造林工程等。本文总结当前国内外关于滨海盐碱地改良的主要研究领域、开发与利用状况进展, 并阐述“台田 - 浅池”改良系统的产生与发展, 分析滨海盐碱地改良过程中出现的问题和未来的发展方向, 为滨海盐碱地可持续发展利用提供理论借鉴。

1 滨海盐碱地改良研究进展

1.1 盐渍土理化性质和水盐运动研究

我国滨海盐渍土分布区海洋气候特征明显, 年均温为 $12\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 400 ~ 1 000 mm, 平均水面蒸发量为 1 400 ~ 1 800 mm。地势低平, 地下水埋藏较浅, 滨海地区约为 0.5 ~ 1.5 m, 随着距海距离增大, 埋藏深度逐渐变深, 约为 1.5 ~ 3 m。地下水矿化度高, 距海近的地方约为 $120 \sim 150 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 最高可达 $250 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; 化学组成以 NaCl 为主, Cl^{-} 占阴离子总量的 80% ~ 90%, 硫酸盐次之, 重碳酸盐和碳酸盐含量最少^[11]。滨海盐渍土呈现春季蒸发, 上层土积盐; 夏季淋洗, 土壤中盐分向下移动的特点; 随着深度的增加, 含盐量逐渐减少, 地下水位附近出现轻微增长。向海岸线方向延伸, 逐渐由非盐渍土变为弱盐渍土、中盐渍土和强盐渍土, 含盐量和盐渍化程度越来越高(表 1)。

表 1 我国盐渍土水盐运动的时间变化

季节 Season	水盐运动 Salt and water movement	气候变化及形成原因 Climate change and reasons
春季(旱季) Spring(Drought)	积盐 Salt accumulation	蒸发强烈, 土壤中的盐分随水上升到地表 Intense evaporation, the salt in soil rose to the surface with water.
夏季(雨季) Summer(Monsoon)	淋盐 Salt leaching	降水量大, 土壤表层盐分被雨水淋洗, 土壤表层脱盐 Precipitation is large. The salt in soil surface is leached by rain, the soil surface desalinates.
秋季(旱季) Autumn(Drought)	积盐 Salt accumulation	蒸发强烈, 土壤中的盐分随水上升到地表 Intense evaporation, the salt in soil rose to the surface with water.
冬季(旱季) Winter(Drought)	盐分稳定 Salt stability	降水少、气温低、蒸发弱、盐分稳定 Less precipitation, low temperature and weak evaporation. The soil salinity is stable.

柴寿喜等^[12]将渤海湾西岸滨海盐渍土的土壤剖面地表至地下水位间划分为: 土蒸发浓缩聚盐带、土盐化变动带和土饱水溶盐带 3 个不同聚盐形态和含盐量的土盐渍化程度分区带。河北黄骅滨海盐渍土的物理性质研究结果表明, 从 2% 的含盐量开始, 胶粒含量随含盐量的增加而减少, 而粘粒和粉粒含量增加, 但 25 μm 及以上颗粒组含量变化不大, 但当含盐量增加到 11% 时, 盐分结晶形成了较多的晶体颗粒^[13]。

黄河三角洲北部刁口黄河故道盐碱地属于氯化物盐土和氯化物潮化盐土, 该区土壤指标的空间分布格局与成土母质、土地利用方式、距海距离、道路

阻隔等因素密切相关; 有机质、全氮、有效磷、速效钾和全盐含量的块金系数(表示土壤养分空间变异特性)分别为 0.38、0.40、0.50、0.32 和 0.34, 5 个土壤指标均具有中等的空间相关性(块金系数越大说明土壤养分受人为影响越大)^[14]。

盐渍土水盐运动特征一般都通过淋洗实验进行研究。张蕾娜、冯永军等^[15-17]对山东滨海盐渍土的水盐运动模拟研究发现其水盐运动有明显的 3 个阶段: 盐峰形成阶段、盐峰下移阶段和盐峰继续下移至消失阶段; 中位夹粘的土壤导水性低, 水盐运移速度慢, 通体砂壤质土壤由于透水性强, 盐溶不充分, 脱盐效果差; 土壤含盐量是影响淋洗效果的主要因

素,随着淋洗量与脱盐率的增加,土壤粘粒不断增强。山东东营的盐渍土水盐运动特征研究发现,随着灌水量的增加,土壤上层脱盐迅速,中、下层在盐峰过后才能进入脱盐阶段,盐峰的形成、下移与消失过程体现了土壤盐分自上而下逐层传递的动态特征;土层越深,盐峰下移速度越慢,持续期越长,脱盐难度则越大;阳离子易于脱溶的顺序是 $Mg^{2+} > Na^+ > Ca^{2+} > K^+$,阴离子为 $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$, HCO_3^- 含量未减,反增加了 111.8% ~ 142.7%,pH 升高,土壤肥力有所下降,因此脱盐后的土壤培肥、土性改良及抑盐改碱等配套措施至关重要^[18]。在集雨措施影响下,河北沧州滨海盐碱地可保持 0 ~ 40 cm 土层盐分变化平稳,同时可抑制降雨和蒸发对土壤剖面水盐运动的强烈影响^[19]。

1.2 滨海盐碱地改良措施

土壤中大量盐分的积累,会引起一系列土壤物理性状的变化:结构黏滞、通气性差、土壤中好气性微生物活动性差、养分释放慢、渗透系数低、毛细作用强,更导致表层土壤的盐渍化加剧。直接在盐碱地上种植,容易造成植物的组织伤害和生理性干旱,从而影响植物的营养吸收,最终导致植物萎蔫,直至死亡。滨海盐碱地由于地势较低,排水不畅,土壤肥力下降,妨碍植物生长;其成因与气候、土壤条件、人类不适当的生产活动密切相关,因此近年来,改良盐碱地已成为众多学者关注的焦点。按照盐碱地改良的学科分类,可将改良措施分为以下几种:

1.2.1 物理改良措施 物理改良措施主要是对土层整改,包括平整地面、深耕晒垡、抬高地形、客土改良、微区改土、地面覆盖、灌溉洗盐等方法。

暗管排盐是在我国滨海地区广泛开展的一项研究。山东莱州试验区滨海滩涂重盐碱地的暗管排盐工程的脱盐率可达 83.2%^[20]。黄河三角洲地区,利用荷兰暗管排碱技术,采用专业埋管机将 PVC 渗管埋入地下 1.8 ~ 2.0 m 处,将地下盐水引至暗管,集中起来排到明沟中,使灌区当年地下水位下降 0.5 m,含盐量降低 0.1%,能够满足多种作物生长发育要求^[21]。

传统的灌溉排盐技术是利用排水或降雨,使土壤中的部分盐分被水“冲走”,此种方法虽然能降低盐碱土的含盐量,但消耗水资源量大,且地下水和土壤中的盐分在蒸发过程中随土壤毛细管上升,容易形成土壤再度盐渍化。滨海盐碱地地区水资源丰富,但多为咸水,无法直接利用于农业生产,近年来,一些学者的研究发现,冬季咸水结冰灌溉能有效降低根层土壤含盐量,对改良滨海盐碱地起到一定作

用^[22-23]。陶军等^[24]在河北黄骅研究冬季覆海冰对台田土壤水分和盐分的影响,结果发现利用冬季覆冰融化后渗入土壤的水能够使台田耕层土壤盐分降低,且深层土壤盐分未出现积累现象。

山东禹城基塘系统工程措施,使浅层地下水地表化,解决了盐渍化问题,同时在洼地池塘养鱼改建治水,改变了洼地原有的自然状况^[25]。东营河口区六合乡的盐碱地“上农下渔”改良模式,有效降低了土壤的总盐量和 Na^+ 、 Cl^- 含量,改善了台田的养分状况,提高了土壤肥力^[26]。王仰仁等^[27]提出的滨海盐碱地微区改土系统有效地解决了盐碱地治理中的返盐和排水工程量大、维护费用高的问题。

近年来,又出现了利用沸石、地面覆盖物等物理措施改良盐碱地的新工艺。20 世纪 60 年代,日本已经将沸石用做土壤改良剂,沸石是一种具有强吸附力和离子交换力的土壤改良材料,可起到保肥供肥改良盐碱土物理性质的作用。左建等^[28]的研究表明,施用沸石可减少土壤中的盐分,减低碱化度,缓冲土壤 pH 值。H. Sembiring 等^[29]阐述了将秸秆翻埋入盐碱土对盐碱地土壤水分的影响。秸秆覆盖可明显减少水分蒸发,抑制盐分在地表积聚,提高入渗淋盐效果,防止耕层盐化。赵名彦^[30]和孙泽强^[31]等分别研究了覆膜以及地膜、秸秆和沙子三种覆盖措施对滨海盐碱土水盐运动影响。

1.2.2 化学改良措施 化学改良是对盐碱土增施化学改良物质,既降低碱性,又置换土壤中的碱性物质,提高土壤肥力,达到改良目的。

在国外,Rhoades 等^[32]评述碱化土壤的改良时指出,碱化土壤的改良需加入含钙物质来置换土壤胶体表面吸附的钠或采用加酸或酸性物质的方法改良。此外采用石膏改良碱土也已是成功的经验,并受到极大的关注^[33-34]。Sharma 等^[35]的研究还指出利用黄铁矿作为垦殖碱化土的改良剂可显著增加作物产量,降低土壤 pH 值。

针对我国滨海盐碱地的现状,学者施加不同的化学改良剂,现已广泛使用的主要有康地宝、禾康、德力施、金满田生物菌剂、腐植酸等^[36-37]。史汉祥等^[38]在浙江建立实验基地,研究发现使用 DS 盐碱地改良剂可以有效降低土壤含盐量,土增加壤速效磷、速效钾,0 ~ 20 cm 土壤颗粒组成由较大粒径向小粒径变化。刘祖香等^[39]采用 4 种改良剂在江苏滨海盐渍土上单独使用和与石膏配合使用,研究使用后盐渍土离子组成的影响,实验结果证明改良剂与石膏配施效果比单施改良剂好,其中腐植酸与石膏配施的改良效果最佳。王睿彤等^[40]采用牛粪、石

膏、秸秆、保水剂4种改良剂,通过4因素4水平正交设计方案,对山东省滨州沾化县滨海盐碱地上进行土壤改良试验,筛选最佳的改良方案。邵玉翠等^[41]在碱性淡水淋盐过程中应用,以脱硫石膏为主要材料添加天然有机类物质支撑土壤改良剂,达到了盐渍化土壤迅速脱盐并防止碱化的效果。

1.2.3 生物改良措施 试验研究发现,大片裸露的土地加快了土壤的盐渍化,若能种植盐生植物,发挥其覆盖土壤的作用,将在一定程度上减少水分蒸发,降低地下水位,减少水土流失,提高土壤肥力,控制土壤返盐^[42]。因此生物改良是通过建设防护林,种植耐盐植物、绿肥来改良盐碱地,可以疏松土壤,减轻板结,增强土壤透水透气性,如田菁、草木樨、紫花苜蓿等。

Peck^[43]主张在澳大利亚用恢复和建立植被来控制水盐平衡,认为植物不仅直接影响土壤的盐分积聚,由于植物耗水量常常超过裸露地的蒸发量,从而能使整个流域的水分补充因植物的蒸腾而减少。

营造海防林及农田防护林能阻滞盐粒,同时盐碱地植树造林是利用盐渍土改善生态环境的重要方法。盐碱地造林不仅能美化环境,调节气候,提供木材及林副产品,更重要的是利用树木排水,降低地下水位,减少地面水分蒸发,防止土壤表层盐分的积聚,并且通过树木根系及枯枝落叶、腐殖质层的有机质作用,逐渐改良盐碱地^[44]。

我国自上世纪五十年代起在滨海地区植树造林,并已取得显著地成效。辽宁沿海滨海重盐土引种怪柳,苏打盐渍土适宜种植小胡杨林,且土壤在经过深翻改碱、压乱稻草处理后可保证沙枣的生长,中、轻盐碱地造林树种选择顺序是群众杨、109柳和绒毛白蜡^[45-46]。天津滨海地区种植白刺改良盐碱土的效果最好^[47]。黄河三角洲盐碱地以滨海潮土和滨海盐土为主,适宜种植刺槐和杨树^[48],其造林抑盐实验表明:林分郁闭度和抑盐作用正相关,林木对其一定范围内的土壤有抑盐作用,农田林网对抑制土壤返盐有显著作用^[49]。此外,苏北的刺槐林^[50],广东的木麻黄防护林^[51]都对改良盐碱土壤结构起到了积极作用。

我国辽宁、河北、山东等地均利用水稻、怪柳、白蜡、国槐、豆科灌木、碱蓬、西伯利亚白刺、杜梨、银水牛果、中亚滨藜、碱茅(星星草)、沙枣、小胡杨等植物的耐盐能力改良滨海盐碱地^[52-54]。

2 “台田-浅池”综合改良滨海盐碱地措施

环渤海区域是我国资源型缺水最严重的地区之

一,该区域水资源总量1 571亿 m^3 ,仅占全国水资源总量的5.5%,其中京津冀三地区人均水资源量不足300 m^3 ,属于极度缺水地区,严重制约当地工农业发展。渤海海冰淡化研究取得的进展为环渤海地区提供了新的淡水资源^[55]。多年来,我国强调采用综合措施改良盐碱地,即将物理、化学、生物等方法相融合才能起到更好的盐碱地改良效果。山东东营“上农下渔”治理盐碱地的立体农业开发模式,实现了存水、绿地、改善生态的良性循环^[56]。借鉴前人的研究成果,2009年起,研究人员将河北黄骅市中捷友谊农场作为研究区(117°37'E,38°25'N),提出一种基于新型海冰水资源农业利用的改良滨海盐碱地措施,创立了一种新的滨海盐碱地水土资源综合利用模式“台田-浅池”型土地利用模式(图1),即“挖土成池,筑土为台,台田种植,浅池养殖”^[57]。

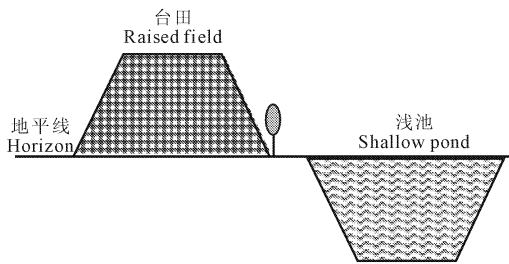


图1 “台田-浅池”模式图

Fig.1 Mode chart of the “raised field - shallow pool”

2.1 “台田-浅池”综合改良模式的理念

“台田-浅池”综合改良模式是将海冰水作为农业灌溉替代水源,用其进行盐渍土淋溶洗盐和作物灌溉,同时结合修筑台田等农田整备工程,在保障盐渍土改良效果的同时,形成种植、养殖相结合的土地利用方式,为北方滨海盐碱地改造提供一个新思路,为盐碱地综合利用提供技术示范。

修建台田,可以提高地表高度,相对降低地下水位,台田表面通常高于原地表1.7 m以上,可以使得耕作土壤表面与浅层地下水之间的距离有原来的1 m左右增加到2.5 m以上,从而减少地下咸水中的盐分通过土壤毛管向地表输送,减弱地下水对台田表面土壤的影响作用。开挖浅池形成的水深通常在1.5~1.7 m,地下水会在此处出露,雨水和灌溉水也汇集于此,浅池的形成一方面可以提供水产养殖场所,另一方面脱盐处理池中的咸水,用于台田灌溉,冬季提供咸水冰资源,通过咸水冰覆盖台田后融化出的水淋洗土壤盐分。冬季台田覆冰是利用海冰重力脱盐后产生的大量淡水增加洗盐水量,提高洗盐效果,并在一定程度上增加土壤含水量。冬季采集

咸水冰覆盖台田,结合工程措施、土壤施肥(含改良剂)措施、田间农艺措施,在小区实验和大田试验的基础上,研究利用海冰水灌溉进行盐碱土洗排盐的

水盐运动规律及盐碱调控机理,构建海冰水灌溉盐碱土快速淋溶洗盐改良技术体系,是一种海冰水灌溉-土壤改良-种植养殖的综合利用模式(图 2)。

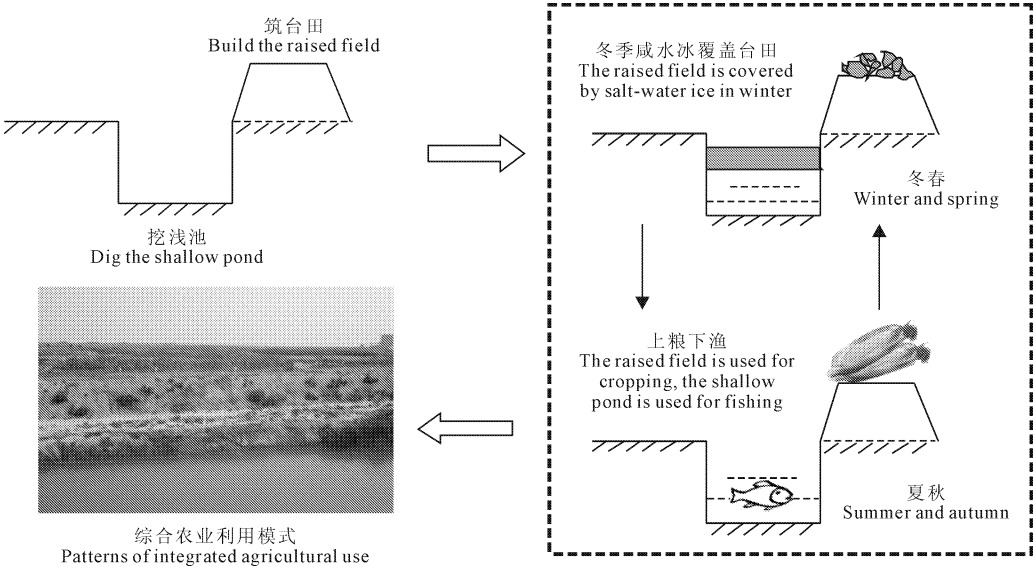


图 2 “台田-浅池”综合利用模式图

Fig.2 Integrated utilization patterns chart of “raised field-shallow pool”

2.2 当前已取得的研究成果

实验研究区域位于黄骅市东部的中捷友谊农场十一队,该地区地下淡水层深 800~1 000 m,耕层位淤泥质盐土,容重 $1.53\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,质地黏重、渗透性差,地下浅水水位年均 0.8 m,盐分平均为 $15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,属于改造难度较大的淤泥质重盐碱荒地。目前已开展的研究涉及土地利用变化和优化配置、台田修筑、盐碱地改良、土壤水盐运动、海冰水灌溉、作物种植、耐盐植物筛选、蚯蚓改良盐碱地的效果、咸淡水混合养殖等多种综合利用试验。

2.2.1 台田修筑及其水盐运动 台田可以有效降低浅层矿化水的影响,降低土壤耕作层的盐分含量,为农作物种植提供一个稳定的土壤环境平台。台田修建时设计了 4 种脱盐工程处理,通过 2 年的排盐效果检验,得出:不同底部排盐措施处理下,经过两年种植后的台田土壤表层、耕层以及 1 m 土体的脱盐情况,底部采用弧形覆膜+埋设排盐暗管的排盐措施最为明显,1 m 土体的脱盐率达 35.6%,其脱盐特征位表层>1 m 土体>耕作层^[58]。淤泥质盐荒地台田脱盐效率达 47%,结合海冰水灌溉,7—8 月,台田排盐效果明显,耕作层的排盐贡献率达 138.9%^[59]。

冬季咸水冰覆盖台田表面可以产生明显的盐渍土脱盐效果,随着冰体的融化,大量土壤盐分被排出,在不同的冰体控温条件下(无覆盖、覆盖芦苇杆、

覆盖无纺布),台田土壤表层(0~20 cm)脱盐率最高可达 44.4%、47.0%和 72.4%,含水率分别增加 44.5%、42.8%和 68.5%,土壤中下层(60~100 cm)脱盐率最高可达 36.4%、4.8%和 47.2%^[60]。台田覆冰淋洗过程中,土壤含盐量的变化稍滞后于含水率的变化,说明土壤脱盐具有明显的层次分异特征,耕层的土壤盐分一是通过重力作用排出台田,二是进入深层土壤后由带孔的暗管排出台田^[24]。为了防止土壤淋洗后发生碱化,当前正在进行冬季覆冰时,不同冰体重量与石膏配比量研究。

2.2.2 海冰水灌溉 渤海海域海冰资源储量丰富,经过一定的脱盐处理,成为海冰(淡化)水,在滨海盐碱地和滨海滩涂农业利用中具有广阔的前景。实验证明,在海冰水灌溉下,台田土壤的盐分累积层可下移 60 cm,积盐层的积盐量也有所降低,0~220 cm 整体排盐明显,0~120 cm 层土体排盐量 $2.7\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ^[59]。台田海冰水灌溉处理下,台田耕作层排盐贡献率达 138.9%,可有效促进台田深层排盐,海冰水的利用在春季主要以保苗、促生长为主要目的,夏季在保障作物需水的同时,配合降水过程共同促使台田集中排盐、压盐。

2.2.3 浅池养殖 浅池是与台田相配套的排水设施,可用作水产养殖用水面,也可以在冬季采集咸水冰。黄骅地区冬季低温期为 3 个月,平均气温 -2°C ,若将冰厚 10 cm 作为采冰标准,平均每年可

采冰 2.8 次,面积约 1 320 m² 的浅池累计总冰量 450 m³,2009—2020 年冬季气温较低,每个浅池累计采冰超过 650 m³[60]。作为养殖用水,浅池适宜罗非鱼养殖,在同一放养密度下养殖池中以色列罗非鱼的生长性状略优于咸淡水混合水养殖池塘,且海冰水养殖池,最后净产出效益要优于咸淡水混合养殖,因此浅池养殖具有较高的经济生态综合效益,具有养殖用水少,换水频度小,罗非鱼成活率高,生长性状好,成鱼商品价值高,投料少,生长快,产量高,经济效益高的优点[61]。

2.2.4 农作物生长 海冰水灌溉作物种植和筛选试验也证明,“台田-浅池”综合土地利用模式有助于棉花、玉米、油菜、甜高粱、紫花苜蓿等作物发芽和生长,从而提高作物产量[61-63]。用海冰水灌溉作物可以减轻干旱对作物生长的胁迫,在干旱胁迫时,用 3 g·L⁻¹ 或 5 g·L⁻¹ 海冰水灌溉棉花、玉米、小麦、大白菜,667 m² 增产产值分别为 249.50、85.03、60.75、496.80 元,相对耐盐需水较少的西瓜,浇海冰水后反而减产,每 667 m² 减收产值 170.40 元。表明,用海冰水进行农业灌溉来保障高效经济作物棉花、大白菜的效益,比粮食作物可获得更多的效益[61]。

“台田-浅池”是工程措施、灌排措施与生物措施相结合的综合改良模式,工程措施和排灌措施主要是解决土壤盐分的淋洗问题,而土壤养分的恢复和提高,还需要有农业措施相结合,例如实施秸秆还田和增施有机肥,或间种盐生植物等。张立宾等人[64]的研究表明,在盐碱地上间种碱蓬,种植 3 年后,土壤脱盐率可达 26.83%,有机质可增加 56.1%,全 N 增加 166.7%,速效 P 增加 193.7%,速效 K 增加 38.1%;以此作为“台田-浅池”模式的一种生物措施,在一定年限后再种植作物效果会更好。在盐碱地改良过程中引入蚯蚓资源,蚯蚓活动能够增加有机物的分解和养分释放,使盐碱地土壤的团聚体结构、渗透率、生物数量和活性得以恢复和改善[65]。

2.2.5 生产和生态效益 2008—2009 年黄骅实验区的台田-浅池系统种植棉花、玉米、双季油菜等均获得良好收获,投入产出比分别为 1:2.5、1:3、1:2.9。台田-浅池模式改变了原有的农业生产环境,打破了由气候季节性变化与地下水矿质化导致的旱涝盐碱现象,形成了水陆资源综合利用的空间格局,提高了土地利用效率,为农业增产增收和环境优化奠定了基础。

3 总结和展望

实现滨海土壤盐碱化地区农业可持续发展的重

要途径之一就是当地的不利条件转变为有利条件,合理开发利用盐碱地资源。我国改良盐碱地历史悠久,方法多样,对于淡水资源严重短缺的滨海盐碱地地区来说,未来利用当地盐碱环境,开发利用海冰资源,推广“台田-浅池”农业利用模式是最为行之有效的办法之一。“台田-浅池”吸取基塘系统研究与实践成果,应用地理学、灾害学、农学、LUCC 和景观生态的科学原理,构建的“挖浅池、筑台田、上粮下渔、冬冻夏养、改土洗盐、综合利用”的海冰淡化-土壤改良-种植养殖综合利用模式。它改变了当地的农业生产环境,打破了由区域气候季节性变化特征与地下水矿质化共同导致的旱、涝、盐碱共生共存的现象,是利用生态工程措施实现海冰水高效安全灌溉下的台田耕层土壤快速降盐,发展高效种植养殖模式,通过滨海盐碱地利用模式的变化驱动土地利用结构和格局的优化,最终实现生态友好、生产高效的区域土地资源可持续利用。

“台田-浅池”综合改良仍存在进一步的研究方向和重点:

1) 提高台田土壤肥力,保证土壤中动植物的正常生长发育。台田的修建扰动了原有土壤层次,表层土壤受气候、作物及人为等因素影响较大,土壤肥力和动植物生长环境发生改变,随着改良年份的继续增加,有待进一步研究探讨土壤盐分总量和粉粒因素的变化状况。

2) 冬季取浅池中的冰覆盖在台田上,春季冰融化,土壤含水量增大,在达到洗盐效果的同时,也打破了原有的区域水平衡。台田-浅池建成后形成了非均匀的下垫面,水面成为区域内的热源和水汽源,其对水域周边气候温湿场的影响作用有待进一步研究。

3) 积极开展海水灌溉耐盐经济作物和大田作物品种的选育,筛选合理的种植作物,提高单位产量,创建安全高效的海冰水农业灌溉技术;保证土壤水盐平衡,以防为主,防治结合,坚持滨海盐碱地的开发与保护并重。

4) 进一步探讨“台田-浅池”利用模式对土壤肥力、土壤微生物,浅池中的有机质、营养元素、浮游动植物、底泥肥力等影响,生态环境影响更是不容忽视。

5) 将风能、太阳能资源引入综合改良利用过程,构建良性互动的滨海盐碱地农业生态系统;以人与自然环境和谐统一为目标,实现生态、经济和社会效益的统一,从而保证滨海盐碱地可持续的发展利用。

参 考 文 献:

[1] Tejada M, Gonzalez J L. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield[J]. European Journal of Agronomy 2005, 23:336-347.

[2] Wichern J, Wichern F, Joergensen R G. Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils[J]. Geoderma, 2006, 137:100-108.

[3] Rietz D N, Haynes R J. Effects of irrigation – induced salinity and sodicity on soil microbial activity[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35:845-854.

[4] Zhang S J, Chao Y, Zhang C L, et al. Earthworms enhanced winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) growth and nitrogen uptake[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2010, 139:463-468.

[5] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等.盐碱地可持续利用研究综述[J].地理学报,2011,66(5):673-684.

[6] 岳耀杰,张 峰,张国明,等.滨海盐碱地利用变化与优化研究——以黄骅市“台田 – 浅池”模式为例[J].资源科学,2010,32(3):423-430.

[7] 孙家山.苏北滨海盐土改良利用的历史经验[J].中国农史,1982,(2):37-47.

[8] 王 斌,于以舜,翟乾祥.天津历代中稻概述[J].古今农业,1989,(2):11-18.

[9] 营口市盐碱地利用科学研究所.辽河下游滨海盐碱地的改良和利用[J].北方水稻,1978,(2):2-29.

[10] 郗金标,宋玉民,李克俭,等.山东省滨海盐碱地造林绿化及可持续利用的对策[J].山东林业科技,1999,(6):43-46.

[11] 张展羽,詹红丽,郭相平.滨海平原农田土壤含盐量空间变异分析[J].河海大学学报,2002,30(4):61-65.

[12] 柴寿喜,杨宝珠,王晓燕,等.渤海湾西岸滨海盐渍土的盐渍化特征分析[J].岩土力学,2008,29(5):1217-1221,1226.

[13] 柴寿喜,王 沛,魏 丽,等.含盐量对滨海盐渍土物理及水理性质的影响[J].煤田地质与勘探,2006,34(6):47-50.

[14] 王娜娜,齐 伟,王 丹,等.基于样带的滨海盐碱地土壤养分和盐分的空间变异[J].应用生态学报,2012,23(6):1527-1532.

[15] 张蕾娜,冯永军,张 红,等.滨海盐渍土水盐运动规律模拟研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2000,31(4):381-384.

[16] 冯永军,陈为峰,张蕾娜,等.滨海盐渍土水盐运动室内实验研究及治理对策[J].农业工程学报,2000,16(3):38-42.

[17] 张蕾娜,冯永军,张 红,等.滨海盐渍土水盐运移影响因素研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2001,32(1):55-58.

[18] 尹建道,姜志林,曹 斌,等.滨海盐渍土脱盐动态规律及其效果评价——野外灌水脱盐模拟实验研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2002,26(4):15-18.

[19] 赵名彦,丁国栋,郑洪彬,等.集雨措施对滨海盐碱林地水盐运动影响研究[J].水土保持学报,2008,22(6):52-56.

[20] 张月珍,张展羽,张宙云,等.滨海盐碱地暗管工程设计参数研究[J].灌溉排水学报,2011,30(4):96-99.

[21] 黄河三角洲启动盐碱地改良工程[N].中国海洋报,2000 年 10 月 31 日.

[22] 程文娟,潘 洁,肖 辉,等.咸水结冰灌溉结合改良剂对滨海盐土的改良作用[J].中国生态农业学报,2011,19(4):778-782.

[23] 郭 凯,张秀梅,李向军,等.冬季咸水结冰灌溉对滨海盐碱地的改良效果研究[J].资源科学,2010,32(3):431-435.

[24] 陶 军,顾 卫,林叶彬,等.冬季覆海冰对台田盐渍土壤水分和盐分的影响[J].水土保持学报,2011,25(1):176-179.

[25] 谷孝鸿,胡文英,李宽意.基塘系统改良低洼盐碱地环境效应研究[J].环境科学学报,2000,20(5):569-573.

[26] 刘树堂,秦 韧,王学锋,等.滨海盐碱地“上农下渔”改良模式对土壤肥力的影响[J].山东农业科学,2005,(2):50-51.

[27] 王仰仁,周青云,孙书洪,等.滨海盐碱地微区改土系统刍议[J].天津农学院学报,2011,18(4):45-48.

[28] 左 建,孔庆瑞.沸石改良碱化土壤作用的初步研究[J].河北农业大学学报,1987,10(3):58-64.

[29] Sembiring H, Raun W R, Johnson G V, et al. Effect of wheat straw inversion on soil water conservation[J]. Soil Science, 1995, (2):81-89.

[30] 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.

[31] 孙泽强,刘法舜,王学君,等.覆膜对滨海盐渍土水盐分布和竹柳生长的影响[J].山东农业科学,2011,(8):33-35,39.

[32] Rhoades J D, Lesch S M, LeMert R D, et al. Assessing irrigation/drainage/salinity management using spatially referenced salinity measurements[J]. Agricultural water management, 1997, 35 (1 – 2): 147-165.

[33] Mohammed S S, Negm M A, Rehan M G. Gypsum amendment against soil alkalinity in relation to tomato Plants. II . Change in agro – chemical properties and nutrient availability of the soil[J]. Egyptian journal of soil science, 1997, 37(1):93-110.

[34] Kostandi S F, M F Soliman. The role of calcium in mediating smut disease severity and salt tolerance in corn under chloride and sulphate salinity[J]. Journal of phytopathology (Berlin), 1998, 146(4):191-195.

[35] Sharma B A, Yadav J S P. Removal during leaching and availability of iron and manganese in pyrite and farmyard-manure-treated alkali soil[J]. Soil Sci, 1989, 147(1):17-22.

[36] 杨永利.滨海重盐碱荒漠地区生态重建技术模式及效果的研究——以天津滨海新区为例[D].北京:中国农业大学,2004.

[37] 张凌云,赵庚星,徐嗣英,等.滨海盐渍土适宜土壤盐碱改良剂的筛选研究[J].水土保持学报,2005,19(3):21-23,28.

[38] 史汉祥,杨俊成,蔡关明. DS 盐碱地改良制在滨海盐碱地改良中的应以研究[J].现代农业科技,2009,(21):219-220.

[39] 刘祖香,陈效民,李孝良,等.不同改良剂与石膏配施对滨海盐渍土离子组成的影响[J].南京农业大学学报,2012,35(3):83-88.

[40] 王睿彤,陆兆华,孙景宽,等.土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效应[J].水土保持学报,2012,26(4):239-244.

[41] 邵玉翠,任顺荣,廉晓娟,等.有机 – 无机土壤改良剂对滨海盐渍土降盐防碱的效果[J].生态环境学报,2009,18(4):1527-1532.

[42] 承 陶.盐渍土改良原理与作物抗性[M].北京:中国农业科技出版社,1992.

[43] Peck A J. Development and reclamation of secondary salinity[M]. Queensland Australia: University of Queensland Press, 1975:301-307.

[44] 韩麟凤,胡承海.营口地区盐渍土立地条件类型的划分和造林树种的选择[J].沈阳农学院学报,1963,(4):45-52.

(上接第 160 页)

- [45] 孟康敏,杨秀清,潘文利,等.辽宁滨海盐碱地土壤改良及造林技术研究[J].林业科学,1997,33(1):25-33.
- [46] 魏忠平,范俊岗,潘文利,等.小胡杨对滨海苏打盐渍土改良效果研究[J].防护林科技,2012,(3):14-16.
- [47] 高彦花,张华新,杨秀艳,等.耐盐碱植物对滨海盐碱地的改良效果[J].东北林业大学学报,2011,39(8):43-46.
- [48] 郝金标,邢尚军,宋玉民,等.黄河三角洲不同造林模式下土壤盐分和养分的变化特征[J].林业科学,2007,43(1):33-38.
- [49] 房用,姜楠南,梁玉.黄河三角洲盐碱地造林抑盐效应分析[J].北方园艺,2008,(4):180-183.
- [50] 胡海波,梁珍海,康立新,等.泥质海岸防护林改善土壤理化性能的研究[J].南京林业大学学报,1994,18(3):13-18.
- [51] 龙斯曼.滨海沙地木麻黄林的生产效率和生态效率[J].林业科技通讯,1987,(9):3-6.
- [52] 孙彭力.黄河三角洲滨海盐渍土的形成及改良利用[J].山东师大学报,1993,8(4):19-22.
- [53] 张立宾,刘玉新,张明兴.星星草的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果研究[J].山东农业科学,2006,(4):40-42.
- [54] 刘玉新,谢小丁.耐盐碱植物对滨海盐渍土的生物改良试验研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2007,38(2):183-188.
- [55] 李澜涛,刘成玉,顾卫,等.渤海海冰淡化利用研究进展与问题[J].海洋通报,2012,31(1):105-112.
- [56] 张福信,吴伟,范庆明,等.黄河三角洲地区“上农下渔”的研究和示范成果[J].安徽农业科学,2007,35(14):4367-4369.
- [57] 张国明,张峰.开发海冰水资源及改良滨海盐碱土的研究[J].安徽农业科学,2009,37(23):11139-11141.
- [58] 张国明,史培军,岳耀杰,等.环渤海地区滨海盐碱地不同排盐处理下的台田降盐效率[J].资源科学,2010,32(3):436-441.
- [59] 张化,王静爱,徐品鸿,等.台田及海冰水灌溉利用对洗脱盐的影响研究[J].自然资源学报,2010,25(10):1668-1665.
- [60] 林叶彬,顾卫,许映军,等.冬季咸冰覆盖对滨海盐渍土的改良效果研究[J].土壤学报,2012,49(1):18-25.
- [61] 张国明.环渤海地区海冰水农业灌溉及综合利用试验研究[D].北京:北京师范大学,2006.
- [62] 张化,张峰,岳耀杰,等.环渤海地区海冰水资源农业利用研究[J].环境科学与技术,2011,34(6):321-324.
- [63] 张国明,张峰,吴之正,等.不同盐质量浓度海冰水灌溉对土壤盐分及棉花产量的影响[J].北京师范大学学报(自然科学版),2010,46(1):72-75.
- [64] 张立宾,徐化凌,赵庚星.碱蓬的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果[J].土壤,2007,39(2):310-313.
- [65] 陶军,顾卫,许映军,等.蚯蚓资源在海冰水改良渤海湾滨海盐渍土壤中的应用前景[J].资源学报,2010,32(3):465-471.