

鲁东大学“东营基地”研究进展与展望

赵英 索立柱 王毅 吴楠 牛忠恩 胡秋丽 赵惠丽 李雅婷 宋冰

(1.鲁东大学 资源与环境工程学院,山东 烟台 264039; 2.鲁东大学现代农业高质量发展产教融合东营基地,山东 东营 257509)

摘要:黄河三角洲是我国重要的生态功能区,是实现国家粮食安全的重点区域。本文梳理了近期鲁东大学现代农业高质量发展产教融合东营基地的研究进展,并从粮食安全和生态环境保护的视角分析了围绕黄河三角洲生态保护与高质量发展的几个重要研究议题,指出这些方面需要攻克科学挑战,对盐碱地土壤综合治理与高效利用等重大研究领域的前景进行展望。

关键词:东营基地;黄河三角洲;盐碱地综合治理;生态保护;农业高质量发展

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2022) 01-0001-08

党的十八大以来,习近平总书记多次实地考察黄河流域生态保护和经济社会发展情况。2019年9月18日,习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上指出,保护黄河是事关中华民族伟大复兴的千秋大计。治理黄河,重在保护,要在治理。2021年10月8日,中共中央、国务院印发的《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》发布,规划范围为黄河干支流流经的青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东9省区相关县级行政区,国土面积约130万 km^2 ,2019年年末总人口约1.6亿。山东省地处黄河下游,是黄河流域生态保护和高质量发展的关键区域之一。当前,山东省常住人口占沿黄9省(区)的24%,经济总量占32%,进出口总额占50%以上。全省产量在10亿斤以上的粮食生产大县有80%分布在黄河沿线。山东省可充分发挥经济人口优势和山东半岛城市群龙头作用,更好服务国家战略,大力推动黄河流域生态保护和高质量发展这一重大国家战略在山东省落实,其中重要区域为黄河三角洲。

黄河三角洲是全球最年轻的三角洲和新生陆地之一,也是最年轻的湿地生态系统,生态环境脆弱,河—海—陆交互形成了独特的地理环境。黄河三角洲地区水土资源丰富,但受制于盐碱困扰,土地荒废严重,具有开发潜力的土地面积超过5000 km^2 。盐碱地的治理与农业利用技术研发、应用和产业发展既符合国家战略的发展需求,同

时具有广阔的市场前景。盐渍土在我国分布广泛,为我国盐渍土研究提出了多样化的科学问题和特色鲜明的研究对象^[1]。盐渍化的发生和盐渍土的形成,主要是受自然和人为等多种因素影响下的水分和盐分在土体中迁移与再分配的水盐运动过程所控制,土壤水盐运动过程及其调控机理仍然是盐渍土研究的核心^[2]。目前,盐渍土的改良和盐渍化治理包含物理、化学、水利和生物等途径,其实质是通过改变土壤的上、下边界条件和相关土—水—气—生参数,定向调节土壤盐分的运动与聚集过程^[3]。在我国地理、农业实践研究和服务地方层面,试验站发挥着重要的科技支撑和示范功能。为此,鲁东大学和东营市政府成立了“鲁东大学现代农业高质量发展产教融合东营基地”(以下简称东营基地)。

东营基地依托“自然地理学”省重点学科和农业水文与水资源学创新团队建设,紧扣现代高效农业和环境安全的重大技术需求,紧跟滨海水土资源高效利用学科发展的现状与趋势,针对黄河三角洲主要土地利用类型,多尺度、实时监测植被和土壤的水、肥、盐、热动态变化和互馈机制,从地球关键带的角度明确土壤水文过程及其生态效应,通过不同技术措施调控,达到节水、提质、增效、减污的生态环境友好型的土地利用要求。研究基地的建成可作为鲁东大学未来在黄河三角洲从事相关野外工作的基础,也可作为校地融合和

收稿日期: 2021-11-25; 修回日期: 2021-12-04

基金项目: 泰山学者青年专家项目(201812096); 山东省杰出青年基金项目(ZR2019JQ12)

第一作者简介: 赵英(1979—),男,甘肃西和人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为土壤水文过程及其机理。E-mail: yzhaosoils@gmail.com

学生实习的理想场所,是践行“黄河流域生态保护和高质量发展国家重大战略”的重要举措,对于黄河三角洲区域数据观测、保障区域粮食安全、

科研有效服务地方具有重要意义(图 1)。本文将从研究基地当前研究进展、近期研究工作重点和未来展望等三个方面进行论述。

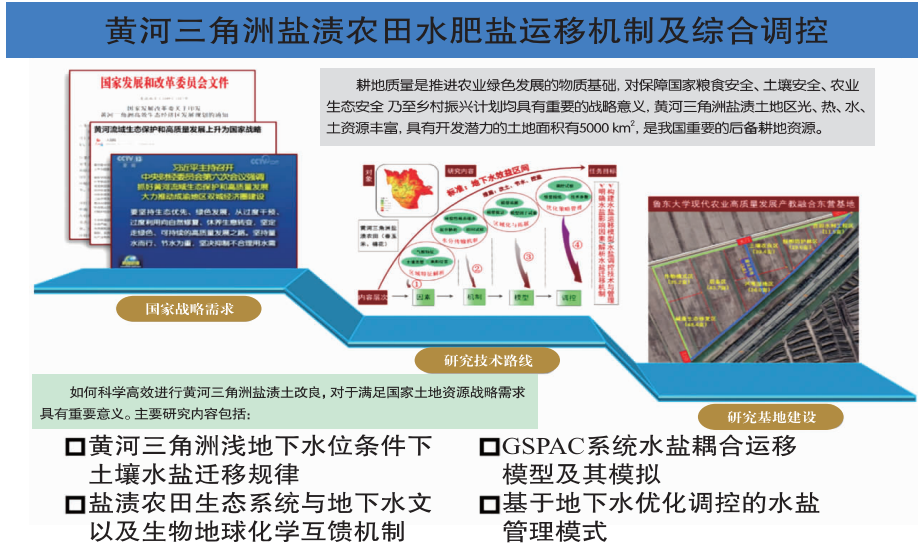


图 1 东营基地研究规划示意图

Fig.1 Schematic diagram of research and planning of Dongying Base

1 东营基地主要开展的试验

1.1 地下水位调控与生态岛构建技术

黄河三角洲地下水位埋深浅且矿化度高,农田水盐调控既要发挥地下水资源潜力,也要防止土壤积盐。在地下咸水区,如果要想实现农业生产,则需将地下水位调控在临界地下水位以下和地下水产量补贴重叠的区间。生态岛实验通过抬高地表高度(1、1.5和2 m)达到控制不同地下水位的目 的,这为盐分淋溶提供了先天条件,进而通过微咸水灌溉技术利用地下的微咸水对地表土壤进行洗盐脱盐,从而达到“改土、节水、控盐”的目的^[4]。此方法可依据不同生境条件(土壤盐分和地下水位),构建出不同的盐渍土区水土资源高效利用的配置模式,相关成果可在东营市现代化农业示范区等高盐度盐碱地区推广应用,对于盐碱地高效利用研究有重要意义,预期可辐射面积为东营高盐碱含量土地 666.67 hm²,研究成果已申报国内发明专利 1 项、国际专利 1 项。

1.2 盐碱地土壤综合改良技术

土壤改良实验主要针对盐碱地土壤高碱、有

机质含量极低、土壤结构差等问题,开展田间原位试验和模拟研究,采用化学改良措施如脱硫石膏、过磷酸钙,有机物料改良措施如秸秆、褐煤腐殖酸、豆科绿肥、脱碱 3 号,利用当地不同种类盐生植物制成不同改性生物质炭,采用宏基因组分析、同位素标记和团聚体分级等技术,探明不同改良培肥措施对土壤理化性状及作物产量的影响,研究低成本改良产品对盐碱地土壤养分固持的影响,揭示滨海盐碱地植物根系—土壤—微生物之间的互作机制,阐明改良培肥措施对盐碱地土壤地力提升的影响机制,筛选促进盐碱地高效农业利用的最优组合方式,集成不同有机—无机改良滨海区盐碱地的关键技术。从学术层面上丰富盐碱地土壤肥力演变过程理论,从应用层面上为该区土壤健康发展、作物增产增效提供技术途径。研究发现:添加秸秆、秸秆+脱硫石膏均能显著降低滨海盐碱土的 pH 和碱化度(ESP);与单施秸秆相比,秸秆+脱硫石膏可不同程度降低土壤碱化度、钠吸附比(SAR)以及可溶性 Na⁺含量,却提高了可溶性 Ca²⁺、SO₄²⁻含量以及有机碳含量。明确秸秆与脱硫石膏复合改良措施下土壤有机碳(SOC)周转过程,揭示复合改良措施影响 SOC 固持的关键因子。中量秸秆还田(10 t hm²)+脱硫石膏(29 t hm²)是该区较优的改良组合措施,此

方法对于中低盐度盐碱地有显著效果。预期可辐射东营中度盐碱含量土地面积1333.33 hm²。

1.3 畜禽粪便生物转化技术

依托畜禽粪便生物转化与循环技术的农业环境友好型畜牧一直是我国可持续发展的方向,而现今禽畜粪便多采用自然干燥法和地坑式高温发酵法进行简单处理后作为有机肥施加农田,这不仅影响周围居民的生活环境,残留的重金属、抗生素、致病菌对地表、地下水以及土壤都造成了严重污染。基于农业废弃物资源化与种养结合的发展理念,引入黑水虻生态工业技术,利用黑水虻幼虫7~10 d的采食过程,结合虫体蠕动产热和自身有益菌群的作用,发酵、分解畜禽粪便,剩余干燥松软的虫粪沙与商品幼虫。其预蛹含32%蛋白质、37%脂肪、19%矿物质、9%几丁质,成虫期粗蛋白可高达57.6%,还有21.6%的脂肪,可作为高蛋白商品饲料直接出售,虫粪沙则为高有机质土壤改良制剂。基于虫粪沙有机质含量高、氮与磷含量低的情况,以盐碱土改良先锋盐生植物盐地碱蓬和经济作物水稻为研究对象,精细配伍黄河三角洲盐生植物根际分离筛选高效解磷菌、固氮菌等高效耐盐功能促生菌,结合温室盆栽模拟和田间原位实验,利用同位素标记、核心微生物组分析、宏基因组和蛋白质组学等多种跨学科技术,明确畜禽粪污资源化产物制剂对盐生植物促生及其对黄河三角洲不同盐分盐碱土的改良效果。预期可辐射面积为东营中高盐碱含量土地666.67 hm²,相关研究成果正在申报国家专利。

1.4 湿地生态保护

湿地生态保护是一项重要的生态工程,同时也是国家生态文明建设的重要组成部分。黄河三角洲作为我国暖温带最完整、最广阔、最年轻的湿地生态系统,具有巨大的社会效益和不可替代的生态环境功能。然而,由于自然环境的改变和人为因素的干扰,黄河三角洲湿地生态系统遭受了巨大破坏,生态功能退化,环境问题突出。黄河三角洲最重要的建群物种柽柳(*Tamarix chinensis*),对维持滨海湿地生态系统稳定具有不可替代的作用。一方面,柽柳可以增加土壤有机质,降低土壤盐分,改善土壤结构;另一方面,柽柳具有防止水土流失、削弱海岸侵蚀、维持库岸稳定等功能。因此,围绕黄河三角洲柽柳这一物种,系

统开展柽柳地上部生理生态特征、地下部生长分布规律及其对根区水盐环境的响应研究,厘清柽柳蒸腾耗水规律、水分来源及其对环境胁迫响应机制等,能够揭示黄河三角洲柽柳地上地下部生长发育规律与生态水文过程,最终为黄河三角洲湿地生态系统的保护与恢复提供理论指导。

2 近期研究工作重点

2.1 地下水位调控与盐源阻隔土体构建

传统上,土壤水盐调控措施多种多样,包括各种具有节水控盐、绿色增效特色的土壤改良、灌溉、水利工程,其核心是通过减少蒸发抑制盐分上行(如覆盖)、改善土壤结构促进盐分淋洗(如改良剂)、创建隔层阻滞盐分上行(如隔层),或增加土壤排水加快土壤排盐(如暗管)等途径实现调控^[3]。随着近年来材料科学研究的不断深入,出现了可降解地膜、生物质材料、多孔吸附材料、纳米材料等盐渍化物理调控的新方法。最近,Swallow和O'Sullivan基于植物仿生学原理,测试了一种新的植物仿生除盐法,模仿维管束植物吸水原理设计制作除盐材料,添加在土壤中,借助自然蒸发作用,将地下水—土壤盐分通过结晶过程析出,然后直接从表面移除^[5]。室内试验表明,该方法能够将土壤盐分含量迅速从8%降低到0.8%,除盐效果非常明显,但还缺乏田间应用效果验证。总体来看,物理调控措施的机理相对明确,操作性较强,调控的效果根据土壤质地、剖面构型、气象和地下水条件、灌溉水质水量等状况不同存在差异。黄河三角洲盐渍地下水浅,中低产田地力提升和盐碱区农业高质量发展,地下水管控是核心,阻隔盐源是保障,研发基于地下水优化调控的关键技术,构建有效阻隔盐源的土体模式(如秸秆、地膜隔层;土壤剖面自然滞水层),可为该区盐渍土改良和农业高效生产提供理论依据与技术支撑。暗管排盐可通过在地下一定深度铺设打孔排水管网,保持地下水位在临界埋深以下,适合地势低洼、地下水埋深浅或次生盐渍化灌区^[6]。然而,应该看到,黄河三角洲地下水资源丰富,如利用得当,也是资源。基于此,我们重新定义“地下水效益区间”——将地下水位调控在临界地下水位以下和地下水产量补贴两者重叠的

区间,并以此作为地下水调控的理论标准^[7]。首先,解析基于地下水效益区间的土壤控盐因素;其次,构建地下水效益区间模型并进行情景分析,确定黄河三角洲地区不同分区地下水效益区间范围;最后,探讨台田结合隔盐层土体构建的盐源阻隔效应,抑或暗管排盐的使用效果,并明确地下水效益区间对不同阻盐排盐模式的响应。

2.2 多水源联动高效利用机制探究

淡水资源短缺成为制约黄河三角洲高效生态经济区发展的瓶颈之一,高效合理的“开源节流”对于缓解淡水资源压力显得十分必要。在非常规水资源的安全利用方面,刘海曼等^[8]研究发现高矿化度咸水灌溉后覆盖地膜,膜下蒸汽水凝结成淡水在地表形成淡化薄层,为作物出苗提供适宜的微域土壤水盐环境;Guo等^[9]发现在冬季抽取浅层地下咸水进行结冰灌溉,融水入渗后,咸淡水分离梯次入渗显著降低土壤盐度和SAR,咸水结冰灌溉比直接灌溉咸水或淡水有更好脱盐效果。节水灌溉为盐渍土根区水盐调控提供重要依据,大量研究表明膜下滴灌有利于在植物根系形成局部的淡化环境。雷宏军等^[10]针对灌溉过程中土壤缺氧问题,利用曝气滴灌水肥一体化将大量微气泡与水肥同步输送到根区;然而,节水灌溉下非充分淋洗引起土壤盐分在亚表层聚集以及如何维持年际间土体水盐平衡备受关注。利用微咸水资源进行农田灌溉,可以节约大量的淡水资源,但若利用不当,会导致土壤次生盐碱化、土壤结构等物理性质恶化。鉴于以上问题,亟待对利用微咸水进行农田灌溉展开系统研究:1)改进降水的“集—输—灌—排”排水排盐水利设施,提升降雨或淡水灌溉时盐分淋洗效率;2)基于水土资源特征的差异,对不同微咸水灌溉方式(轮灌、混灌、垄沟灌溉)进行适用性评价;根据农作物生育期不同阶段的需水量,制定科学的灌水时间、次数和灌水量,揭示微咸水灌溉对作物生长发育和品质的影响机制;3)探究微咸水灌溉方式对区域土壤安全的作用机理,阐明微咸水灌溉与覆盖措施(秸秆、地膜)对盐碱地土壤水热盐运移的影响机理,探析微咸水灌溉方式与土壤改良剂配施对土壤碳库和氮库作用机理;4)从合理利用微咸水资源、微咸水灌溉作物优质高产(产量、品质)、土壤安全(肥力、结构)的角度综合分析论证,探讨适宜于当地水文气候特征和土壤盐分动态分布的咸

淡水灌溉方式,探明气候变化条件下长期微咸水灌溉适用性,实现区域生态环境保护和土壤可持续利用,为科学利用微咸水资源、盐碱地资源持续利用提供科学借鉴和管理依据。

2.3 农经牧循环的综合种植模式

黄河三角洲盐碱地普遍存在土壤盐碱度高、肥力低下、水资源有限等障碍性因子,对应的传统种植模式往往采用大水漫灌压盐、增施化肥等方式,这与有限的水资源矛盾突出,同时容易造成肥力流失、环境污染。而通过农、林、牧循环发展和优质资源挖掘,进行合理的区域资源系统配置,则在一定程度上有望解决该问题。在高强度的人为改造影响条件下,土壤盐渍障碍快速消减,生产功能迅速提升,但生态系统形成与稳定具有滞后性和长期性,盐渍土的生态治理是指兼顾农田生产和生态功能、短期性与长效性、资源节约与环境友好的治理方式^[11]。Rozema等^[12]指出生物技术有助于解决全球不可逆的土壤盐渍化问题,盐生植物可在盐渍化程度较高的土地上生长,可以充分利用海水资源和边际水资源,避免使用紧缺的淡水资源改良盐碱地。赵振勇等^[13]研究发现重度盐渍土种植海蓬子和盐地碱蓬可从土壤中带走大量盐分(每公顷约5000 kg)。如此,在重度盐碱地改造的基础上,可进一步构建农田生态系统。在农田系统,通过粮食作物、经济作物(牧草)协调发展,大力发展豆科作物的固氮效力,进行系统内部结构优化,减少化肥使用,探究多元化种植体系(轮作、轮休、轮肥、轮耕、免耕)对土壤含盐量、土壤质量、增氮促磷保水效应和水肥利用效率的影响,为盐碱农田绿色生产提供理论依据。通过“可持续性指数”“全农经济评估”“土壤健康指标”和“环境足迹”等指标来量化综合种植模式系统健康程度,做到用地、养地结合,农业、牧业结合,经济效益、社会效益和生态效益结合,保证农业生产长期处于一种良性循环和可持续发展之中。

2.4 盐碱地土壤健康与生物强化技术

环渤海盐碱地土壤含盐量高,地下水水位高,土壤自然脱盐率低,土壤有机质含量低、结构差、土壤层次发育不全,限制了耕地质量快速提升。但盐碱地作为一种资源,能够为盐生植物提供生长的环境,为盐碱农业的发展提供基质。生物改

良是指通过提升植物的耐盐抗逆能力并在盐渍土上进行适应性种植,利用植物根系生长改善盐渍土理化性质,或最大化植物生物量并结合收获物移除根区部分盐分,主要机制表现在植物耐盐性、植物生长对土壤质量提升、植物收获物除盐三个方面^[14]。大多数盐生植物和耐盐植物,如碱蓬、海蓬子和柹柳等,都具备特殊的渗透调节机制或盐分泌机制,使得它们能够在高盐分的土壤中生长。诸多研究表明多种材料联用能显著提升盐渍土的调理效应,通过各种功能微生物的组合制备复合微生物的菌剂、菌肥等,在改良修复盐渍土方面均表现出较好的效果。近年来,分子生物学的发展使得耐盐基因克隆和表达成为可能^[15]。基于此,围绕环渤海盐碱区土壤健康与盐碱农业绿色发展,利用高通量测序、核心微生物组分析、宏基因组和蛋白质组学等多种跨学科技术,分析环渤海不同成因盐碱地本土抗盐植物的环境适宜性机理及其对盐碱地浅层土壤的保水作用及土壤返盐的抑制程度,解析菌根真菌在低有机质含量盐碱土壤中协助植物耐盐、及获取氮、磷养分的机制;研究土壤核心功能微生物群系的建立、定植及其对微生境的响应过程,促进有益根际微生物组以改善土壤健康和提高作物生产力,同时利用土壤中天然存在的“拮抗微生物”对作物常见病原菌进行生物防治;挖掘并利用土壤“微生境”功能,从而减少因高施化肥和农药带来的生产成本低、土壤酸化、农产品品质低、有害物质积累以及农业面源污染等生态环境问题。

2.5 盐渍农田养分增效和有机质快速提升技术

盐渍化耕地作为我国最主要的中低产田类型之一,其土壤有机质含量不足1%的面积达到26%,因而提高其耕地质量意义重大。黄河三角洲盐碱地土壤肥力快速提高的一个关键点在于促进表层土壤良好结构(主要是团聚体)的形成。有机质是促进土壤团聚体形成及稳定的重要物质基础。土壤有机碳,通常被认为是改善土壤团聚体形成和稳定性的重要“结合剂”;盐碱地土壤的高含盐量(尤其是交换性 Na^+)被普遍认为是破坏团聚体形成及稳定性的“分散剂”。研究表明,添加外源有机物增加了土壤有机碳的“结合”作用,在一定程度上可“抵消”交换性 Na^+ 的“分散”作用,促进盐碱地土壤团聚体的形成和稳定。此外,土壤盐渍化显著影响农田氮、磷等大量营养元素

的迁移转化与吸收利用过程,黄河三角洲盐碱地土壤肥力快速提高的另一个关键点在于促进表层土壤碳、氮等养分库的形成。增施有机物是解决盐碱地土壤肥力问题的一条重要途径。土壤有机质分解以后可提供各种养分,特别是氮素,因为盐碱地土壤矿物质一般不含氮,除施入的氮肥外,盐碱地土壤氮素的主要来源就靠有机质分解所提供。此外,有机质也是盐碱地土壤中磷、硫、钙以及微量元素的重要来源。由此,土壤有机质是土壤肥力的物质基础,可不断地供给作物所需的各种营养、改善作物营养水平。Xiao等^[16]发现生物炭可提升土壤质量,增大土壤孔隙,在改良盐渍土的同时增加土壤中速效养分,延长肥效,减少土壤铵态氮的淋失量,提高作物养分吸收和利用。在盐渍土中,磷素移动性差且易与土壤胶 Ca^{2+} 结合形成沉淀,同时盐渍土中大量 Na^+ 使土壤可溶性磷以磷酸钠盐的形式存在,危害作物生长,降低磷肥生物有效性^[17],因此关于盐渍土磷素的研究更多从磷素活化方面开展。环渤海盐碱地土壤层次发育不全,耕作层次尚未形成,盐碱地土壤有机质极低,土壤结构差、养分种类少、微生物区系组成单一。且在盐碱地高盐、高pH等特殊生境条件下,盐碱地自身积累大量有机质的过程极其缓慢。针对这些问题,开展田间原位试验和模拟研究,采用宏基因组分析、同位素标记和蛋白质组学等技术,在外源施用土壤改良剂降盐措施的基础上,研究不同作物体系秸秆还田和施用有机肥/生物炭等对养分固持的影响机制,揭示滨海盐碱地植物根系—土壤—微生物之间的互作机制,探明该区特殊生境对不同盐碱程度的响应规律,阐明秸秆还田、豆科作物肥田和有机肥/生物炭施用等培肥措施对盐碱区地力提升的机制,集成不同有机物改良滨海盐碱地的关键技术。

2.6 盐渍化演变多源数据融合与水盐运移过程多尺度模拟

精确获取土壤盐渍化多尺度、多要素的时空动态,对精准解析自然、人为要素驱动下的盐渍化演变机制具有重要意义。近年来,随着遥感和近地传感技术的不断发展,使得土壤盐渍化多要素、多尺度、一体化监测成为可能,如航空/卫星光学/微波遥感影像、磁感式大地电导率仪、探地雷达等。在土壤盐渍化的近地传感监测方面,Xie

等^[18]构建了磁感式大地电导率和土壤盐分之间的回归模型,定量评估了河口区近 10 年来土壤盐渍化的时空演变。近年来,国内学者更多关注不同尺度、观测要素和数据之间的融合以提高土壤盐渍化的反演精度,如陈俊英等^[19]构建了基于无人机多光谱遥感和 GF-1 卫星遥感数据的模型,实现了无人机—卫星遥感升尺度的土壤盐渍化监测。目前,关于土壤盐分运动的尺度转化研究尚不成熟,主要原因在于盐分迁移基于土壤水文过程,其驱动要素和控制因子更为复杂且具有极强的时空依赖性,未来研究应加强不同尺度观测数据的集成,构建普适性的尺度转换函数。土壤溶质运移模型是描述盐渍土水盐运移规律的有效方法,目前较成熟的商业化水盐运移数值模型包括 HYDRUS、DRAINMOD、SHAW 和 COMSOL 等,其中 HYDRUS 是目前最为广泛应用的模型,能够较好地模拟点源交汇条件下饱和—非饱和和渗流区水、热及多组分溶质的迁移与转化过程^[20]。目前,越来越多的研究采用数据同化方法,以水盐运移模型作为模型算子,以大尺度观测数据作为驱动数据,采用同化算法将观测数据同化到模型中,提高土壤盐渍化演变规律的预测能力,如 Yao 等^[21]利用集合卡尔曼滤波算法将磁感式大地电导率数据同化到 HYDRUS 模型,提高了土壤盐分时空动态的估算精度。

3 展望及前景

3.1 盐渍土高效用水与精准控盐理论与技术

黄河三角洲盐碱地水盐调控不仅是本地的问题,而且是黄河下游乃至整个黄河流域的问题。黄河生态系统是一个有机整体,要充分考虑上中下游的差异。黄河三角洲盐渍土区水资源非常短缺,土壤盐渍障碍治理对水资源存在极强的依赖性。在“以水而定,量水而行”的水资源刚性约束下,“水”的高效和安全利用依然是未来盐渍土水盐调控的核心。需要重点研究流域—灌区—景观—田块等多尺度上的水资源优化配给机制,分析作物物候相匹配的节水灌溉理论与制度;要深化节水型盐渍土水盐优化调控研究,深入阐明各类节水条件下盐渍化的中长期演变规律,进一步拓展微咸水和咸水利用条件下土壤水盐平衡的调控机理与技术,建立综合考虑农田土壤水文过程、

作物生长和盐分特征的机理模型,研究灌区用水实时调配技术与产品,构建现代灌区高效用水调控技术集成模式。当前盐渍农田生境模型虽然在一定程度上初步实现了作物产量和灌溉的优化管理,但对盐分胁迫的影响以及土壤水、盐、热、气、肥、微生物之间耦合关系缺乏深入考虑,尚不能适应当前盐渍农田地力提升、作物高产和农业增效的需求^[22]。亟需充分结合区域气候特征、水资源禀赋和土壤条件,研究不同灌溉处理、土壤改良措施和施肥管理等农艺措施下作物产量、水分利用效率及土壤质量(含盐量)的变化趋势,以多尺度的高效用水实现田块和区域尺度的土壤盐渍化精准调控。

3.2 变化环境下农业用水与生态协同适应

在当今气候变化对农业和生态环境影响越来越突出,且国际间资源政策博弈加深,黄河三角洲盐碱地水盐调控还需充分考虑气候变化的影响。盐渍土的灌排管理需根据不同形成、驱动机制下的水盐运动实际情况进行确定,随着近年来气候变化、极端气候频繁和降雨带移动的影响,开展水资源格局再分配、再平衡背景下的土壤盐渍化灌排管理研究至关重要。当前,这方面的研究国内外已经做了大量工作,但真正能阐明土地利用变化和气候变化耦合关系的并不多,尤其是在区域上如何具体落实,从而指导生产是一个极具挑战的问题。因此,亟需研究预测未来气候变化情景下作物需水量和作物产量的变化规律,提出黄河下游不同区域应对气候变化的策略和措施,评价不同技术方案的水足迹,开展流域水资源、能源、粮食协同优化研究,研发变化环境下流域水资源优化配置方案和优化技术^[23];研究全球气候变化背景下土壤盐渍化演变驱动机制及生态效应,土壤盐渍化与植被生态对节水场景的响应与过程模拟,解析盐渍土区土壤—植被—水文耦合响应与协同适应机制;阐释黄河三角洲盐碱地农业用水和湿地生态用水的配额配置,既能加强湿地生态保护,也能促进区域农业高质量发展。

3.3 盐渍农田土壤质量与土壤健康

盐渍化耕地作为我国主要的中低产田类型之一,提升地力水平与养分库容,对粮食增产与增碳减排具有重要意义。黄河三角洲盐渍土为新成土,土壤有机质极低,土壤固碳潜力巨大。在“碳

中和”热潮的当今,需要重点研究盐渍农田土壤有机碳调控与碳汇能力提升原理,探索“有机质—养分库—生物功能”协同驱动盐渍农田肥沃耕层培育理论,拓展盐渍生境的固碳机理与潜力;进一步,研究盐渍化对土壤养分蓄纳和供给的抑制机制,土壤结构调理与养分库容扩增的互馈机理,农牧废弃物资源化利用的稳碳保氮机制,以养分分库扩容助推盐渍化土地碳汇提升^[1]。此外,需要注重研究通过基因工程方法和根际微生物介入提高植物耐盐阈值的生物学机制,通过盐生植物拒盐和聚盐机理与功能仿生材料,有益功能微生物的筛选、驯化与高效定植模式,促进盐渍土健康生境定向调节与保育,推动土壤盐渍障碍消减与土壤质量及功能提升,提高盐渍土壤生产力。“植物聚盐”为盐渍土的生物适应性改良提供了重要思路,尽管盐生植物生物吸盐效果较好,但盐渍土区土壤和地下水往往存在频繁的盐分交换,“植物聚盐”对盐渍土生物适应改良的长效性仍有待长期观测。

3.4 盐碱地农田大数据与信息化

近期我国在土壤盐渍化演变过程的监测与多源数据融合、土壤水盐运移过程模拟与尺度拓展、盐渍农田灌排优化管理与边际水安全利用等方面取得了积极的进展和成果。总体上,构建土壤盐渍化多要素、多尺度的“星(卫星遥感)—空(无人机巡拍)—地(地面测量)”观测数据相结合,利用机器学习算法开展多元数据融合同化,以精准推演盐渍化的时空演变过程,揭示盐渍化驱动机制成为未来研究热点。亟需建立空天地一体化的土地资源监测体系,把地下、近地、航天无人机和卫星获取的海量数据实现无障碍融合,通过算法优化多维和海量数据,实现空天地对地观测的植物、土壤、水文、气象信息一体化;进一步综合已有的试验观测数据,结合室内、田间试验观测和数值模型,利用深度机器学习,发展空间和时间上表征土壤特性的理论和算法,优化数字土地制图技术,把大数据信息化、参数化,以指导精准农业生产、态势感知、预警预测与辅助决策,实现区域水土资源高效利用,推动黄河三角洲乃至全省“智慧农业”建设。显然,这方面的发展可依靠当前比较先进的物联网、大数据、人工智能和云平台技术,通过对农业用水的数字化改造和土壤盐渍化特征的评估,建立先进的智慧农业水资源管理体系和盐碱

地综合治理管控体系。

总体而言,根据当前的科学需求和国家需求,依托黄河三角洲丰富的盐渍土资源,东营基地将在现有工作基础上,发挥鲁东大学地理学、农学、生物学、环境科学等学科优势,聚焦学科前沿,拓展国际交流合作,加强理论研究,发展高新技术,面向农业、资源、生态、环境等行业和领域,积极服务于我国“藏粮于地、藏粮于技”和“黄河流域生态保护和高质量发展”等国家战略,为国家的粮食安全、生态安全、高质量发展发挥重要作用。希望在学校的大力支持下,将东营基地打造为我校学生的实习实训基地、相关科学研究的试验示范基地以及科学项目申报的条件保障基地。

参考文献:

- [1] 杨劲松,姚荣江,王相平,等.中国盐渍土研究:历程、现状与展望[J/OL].土壤学报,2021:1-21[2021-11-15].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20211112.0951.002.html>.
- [2] 杨劲松,姚荣江.我国盐碱地的治理与农业高效利用[J].中国科学院院刊,2015,30:162-170.
- [3] 彭新华,王云强,贾小旭,等.新时代中国土壤物理学主要领域进展与展望[J].土壤学报,2020,57(5):1071-1087.
- [4] HU Q L,ZHAO Y,HU X,et al.Effect of saline land reclamation by constructing the “Raised Field-Shallow Trench” pattern on agroecosystems in Yellow River Delta[J/OL].Agricultural Water Management,2021:107345 [2021-11-23].<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107345>.
- [5] SWALLOW M J B,O’SULLIVAN G.Biomimicry of vascular plants as a means of saline soil remediation[J].Science of Total Environment,2019,655:84-91.
- [6] 耿其明,闫慧慧,杨金泽,等.明沟与暗管排水工程对盐碱地开发的土壤改良效果评价[J].土壤通报,2019,50(3):617-624.
- [7] ZHAO Y,QI J,HU Q L,et al.The “Groundwater Benefit Zone”, proposals, contributions and new scientific issues [M/OL] // Soil Science-Emerging Technologies,Global Perspectives and Applications, IntechOpen (2021-11-13) [2021-11-20].<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.100299>.
- [8] 刘海曼,郭凯,李晓光,等.地膜覆盖对春季咸水灌溉条件下滨海盐渍土水盐动态的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(12):1761-1769.
- [9] GUO K,LIU X.Infiltration of meltwater from frozen sa-

- line water located on the soil can result in reclamation of a coastal saline soil [J]. *Irrigation Science* ,2015 ,33 (6) : 441–452.
- [10] 雷宏军 ,臧明 ,张振华 ,等.循环曝气压力与活性剂浓度对滴灌带水气传输的影响 [J]. *农业工程学报* , 2014 ,30(22) : 63–69.
- [11] 杨劲松 ,姚荣江 ,王相平 ,等.河套平原盐碱地生态治理和生态产业发展模式 [J]. *生态学报* ,2016 ,36 (22) : 7059–7063.
- [12] ROZEMA J , FLOWERS T. Crops for a salinized world [J]. *Science* ,2008 ,322(5907) : 1478–1480.
- [13] 赵振勇 ,张科 ,王雷 ,等.盐生植物对重盐渍土脱盐效果 [J]. *中国沙漠* ,2013 ,33(5) : 1420–1425.
- [14] ZHENG H , WANG X , CHEN L , et al. Enhanced growth of halophyte plants in biochar-amended coastal soil: roles of nutrient availability and rhizosphere microbial modulation [J]. *Plant Cell & Environment* ,2018 ,41 (3) : 517–532.
- [15] KUMARI A , JHA B. Engineering of a novel gene from a halophyte: potential for agriculture in degraded coastal saline soil [J]. *Land Degradation & Development* , 2019 ,30(6) : 595–607.
- [16] XIAO L , YUAN G , FENG L , et al. Soil properties and the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in response to reed (*Phragmites communis*) biochar use in a salt-affected soil in the Yellow River Delta [J]. *Agriculture , Ecosystems & Environment* ,2020 ,303: 107124.
- [17] ROCHESTER I J. Phosphorus and potassium nutrition of cotton: interaction with sodium [J]. *Crop and Pasture Science* ,2010 ,61(10) : 825–834.
- [18] XIE W P , YANG J S , YAO R J , et al. Spatial and temporal variability of soil salinity in the Yangtze River estuary using electromagnetic induction [J]. *Remote Sensing* ,2021 ,13(10) : 1875.
- [19] 陈俊英 ,王新涛 ,张智韬 ,等.基于无人机—卫星遥感升尺度的土壤盐渍化监测方法 [J]. *农业机械学报* ,2019 ,50(12) : 161–169.
- [20] ŠIMÚNEK J , VAN GENUCHTEN M T , ŠEJNA M. Recent developments and applications of the HYDRUS computer software packages [J]. *Vadose Zone Journal* , 2016 ,15(7) : 1–25.
- [21] YAO R J , YANG J S , WANG X P , et al. Improving soil salinity simulation by assimilating electromagnetic induction data into HYDRUS model using ensemble Kalman filter [J/OL]. *Journal of Environmental Informatics* ,2021 , <http://www.jeionline.org/index.php?journal=mys&page=article&op=view&path%5B%5D=202100451>.
- [22] 王全九 ,单鱼洋.微咸水灌溉与土壤水盐调控研究进展 [J]. *农业机械学报* ,2015 ,46(12) : 117–126.
- [23] HATFIELD J L , SAUER T J , CRUSE R M. Soil: the forgotten piece of the water , food , energy nexus [J]. *Advance in Agronomy* ,2017 ,143: 1–46.

Research Progress and Perspectives for “Dongying Base” in Ludong University

ZHAO Ying , SUO Lizhu , WANG Yi , WU Nan , NIU Zhongen , HU Qiuli , ZHAO Huili , LI Yating , SONG Bing

(1. School of Resources and Environmental Engineering , Ludong University , Yantai 264039 , China; 2. Ludong University Dongying Base of Integration between Industry and Education for High-quality Development of Modern Agriculture , Dongying 257509 , China)

Abstract: The Yellow River Delta is an important ecological function area in China and a key area for achieving national food security. This article concludes the recent research progress of the integration of production and education in the *Ludong University Dongying Base of Integration between Industry and Education for High-quality Development of Modern Agriculture* , and analyzes several important research topics associated with the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Delta from the perspective of food security and ecological environmental protection. Meanwhile , we pointed out the scientific challenges that need to be overcome and the prospects of major research fields such as the comprehensive management and efficient use of saline-alkali soils are highlighted.

Keywords: Dongying Base; Yellow River Delta; comprehensive management of saline-alkali land; ecological protection; high-quality agricultural development (责任编辑 李秀芳)