

基于 EM38 的滨海棉田土壤表观电导率空间变异与利用研究

孙运朋^{1,2}, 陈小兵^{2,3*}, 张振华¹, 吴从稳^{4,2}, 颜 坤^{2,3}, 张立华^{2,3}, 蒋名亮^{5,2}

(1. 鲁东大学 地理与规划学院, 山东 烟台 264025; 2. 中国科学院 烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 3. 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 山东 烟台 264003; 4. 烟台大学 生命科学学院, 山东 烟台 264005; 5. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710064)

摘 要 土壤盐渍化和次生盐碱化是制约黄河三角洲农业可持续发展的关键障碍因子, 了解和评估耕地土壤盐分的时空动态是对其进行科学利用和改良的前提。本文以黄河三角洲滨海盐碱地棉田为研究对象, 在降水集中月份前后用 EM38-MK2 大地电导率仪测量了棉花两个关键生育期土壤根系层 0 ~ 0.375 m 和 0 ~ 0.75 m 剖面的土壤表观电导率, 深入分析了棉花根区土壤表观电导率在空间上的分布特征与影响因素。结果表明: 1) 在降雨前后, 黄河三角洲滨海土壤盐分空间变异较大, 达到或超过中等变异水平; 2) 通过对大地电导率进行校正, 排除影响其读数的干扰因素影响, 大地电导率能快速表征 0 ~ 0.375 m/0 ~ 0.75 m 两个关键层次土壤盐分状态, 可有效用于滨海棉田的土壤盐渍化的监测和评估; 3) 结合黄河三角洲地区地形地貌特征、降水蒸发、作物综合长势等因素的区域调查, 作者认为在区域尺度上, 优化土地利用格局, 加强农田基本水利建设, 在田间尺度上, 加强土地平整和灌排配套等措施是治理和改良滨海盐碱土的基础。

关 键 词 碱地; 根区; 土壤表观电导率; EM38-MK2

中图分类号: S121 文献标识码: A 文章编号: 0564-3945(2014)03-0585-05

孙运朋, 陈小兵, 张振华, 吴从稳, 颜坤, 张立华, 蒋名亮. 基于 EM38 的滨海棉田土壤表观电导率空间变异与利用研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(3): 585-589.

SUN Yun-peng, CHEN Xiao-bing, ZHANG Zhen-hua, WU Cong-wen, YAN kun, ZHANG Li-hua, JIANG Ming-liang. The Spatial Variation of Apparent Soil Electrical Conductivity on the Root Area of Cotton Fields in Coastal Saline Soil [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45(3): 585-589.

在国家沿海开发战略实施与土地资源日益匮乏的大背景下, 滨海盐碱土地作为重要的后备耕地资源受到政府高度关注。盐分的空间变异状态在一定程度上反映了耕作层内的土壤盐渍化程度和状态, 掌握其变异性与分布规律对盐渍土地资源的合理利用与防治、农业生产等具有重要意义^[1]。如何快速获取实时、有效、动态的土壤盐渍化信息, 是进行盐渍化土地资源高效利用和合理开发的前提。

大地电导率仪作为一种土壤盐渍化快速监测工具, 可以在不扰动土壤内部结构的前提下, 通过土壤表观电导率值来反映土壤内部盐分状况。对国内外近 10 年相关文献分析表明, 大地电导率已较普遍用于某一生长季节的田间尺度的土壤盐渍化监测^[2-5], 但利用大地电导率仪对作物不同生长季节的影响其关键层位的

土壤盐分动态进行的研究鲜有报道^[6-7], 不利于指导生产实践中土壤水盐调控。

黄河三角洲滨海地区棉花等作物的绝大部分根系主要分布在 0 ~ 0.4 m 以内^[8], 0.4 ~ 0.75 m 层次根系分布较少, 紧居作物根系层以下, 对根系层的土壤水盐肥运移有直接影响, 了解和掌握这两层的土壤盐分状况对调控水盐尤为关键。至今尚无利用 0.375 m 层位数据进行作物根区电导率研究的先例。为此, 本研究于雨季前后的棉花开花期和棉花吐絮期两个关键生育期间, 采集 0 ~ 0.375 m 和 0 ~ 0.75 m 两个层位土壤表观电导率数据, 分析雨季前后两期棉花根区 0.375 m 层位内的电导率的时空变异特征和影响机制, 以期为黄河三角洲滨海地区田块尺度棉田的水盐管理和调控提供决策支持。

收稿日期: 2013-08-23; 修订日期: 2013-10-25

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001)、海洋公益性行业科研专项(201105020)、国家科技支撑计划项目(2009BADA3B04)、国家自然科学基金(41271236)和国家高技术研究发展计划(863 计划)(2011AA1005A4)资助

作者简介: 孙运朋(1989-) 男, 山东临沂人。硕士研究生, 主要从事区域水土资源高效利用研究。E-mail: 596012314@qq.com

*通讯作者 E-mail: xbchen@yic.ac.cn

1 试验与方法

1.1 研究区概况

本文研究区位于黄河三角洲垦利县，垦利县土地总面积 22.04 万 hm^2 ，盐渍化面积 10.3 万 hm^2 ，占 46.7%，旱涝、盐碱和土地贫瘠是制约当地农业可持续发展的关键障碍因素，是典型的滨海盐渍化地区。试验点设在中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站。属暖温带半湿润大陆性季风气候，光照充足，四季分明，雨热同期。年平均气温 12.9 $^{\circ}\text{C}$ ，最高气温 41.9 $^{\circ}\text{C}$ ，最低气温 -23.3 $^{\circ}\text{C}$ ，年降水量 530 ~ 630 mm，降水量集中在 6 月下旬到 8 月，年内分配极为不均，年蒸发量为 1962 mm，干旱指数达 3.56，对滨海平原区农业生产而言，春寒、盐害和夏涝等灾害时有发生，极易导致农业减产。土壤类型以滨海盐土为主，质地主要为砂质黏壤土，土壤盐分空间变异大。试验区地势低平，地下水埋深较浅，埋深一般在 1.3 ~ 2.4 m 间波动，受夏季降水影响，埋深最小可达 0.2 m。同时因处于滨海地带，受地下水顶托作用，区域排水不良。研究区为新垦农田，近十年来以种植棉花为主，基本不进行灌溉，在黄河三角洲具有较强的代表性。

1.2 数据采集和分析方法

分别于 2012 年 7 月中旬棉花盛花期和 10 月上旬

棉花吐絮期，根据 GPS 定位，用 EM38-MK2 大地电导率仪在山东省垦利县一面积为 40000 m^2 的棉花试验田内进行网格状采样，采样间距 20 m。本次采样所用的 EM38-MK2 型号仪器较常用的 EM38-MK2-1 仪器功能更多，可有效测量地表至 0.375 m 范围内的电导率。利用大地电导率仪采集 0.375 m 层位和 0.75 m 层位的两期土壤表观电导率数据，分别用 $EM_{0.375}$ 、 $EM_{0.75}$ 代表两期数据，测得的电导率用 $EM_{0.375}$ 与 $EM_{0.75}$ 表示(下同)，每次采样 270 个。

利用统计软件 SPSS 进行电导率的描述性统计，分析两期 $EM_{0.375}$ 、 $EM_{0.75}$ 平均值的变化以及每期两层数据间的相关性等数据特征。在 GS + 7.0 软件中进行棉花根区土壤表观电导率 $EM_{0.375}$ 半方差函数的计算，根据求得的块金值和基台值以及变程和最优模型在 ArcGis 9.3 软件中进行克里格插值，分析雨季前后滨海盐碱地棉田根区土壤表观电导率的空间变化。

2 结果与分析

2.1 根区电导率描述性统计

两期数据经 SPSS 18.0 软件描述性统计，结果见表 1。

表 1 不同土壤层次电导率统计特征参数
Table 1 Statistical feature parameters of electrical conductivity in different layers

大地电导率 Electrical conductivity	样点数 Number of sampling	极小值 Minimum/ (mS m^{-1})	极大值 Maximum/ (mS m^{-1})	均值 Mean/(mS m^{-1})	变异系数 Coefficient of variation/%	相关系数 Correlation coeffi cient
$EM_{0.375}$	270	61.00	682.00	265.24	47.10	0.967**
$EM_{0.75}$	270	86.00	824.00	328.83	44.47	
$EM_{0.375}$	270	66.00	745.00	238.00	52.42	
$EM_{0.75}$	270	89.00	759.00	296.00	43.00	

注：* 表示 $p < 0.01$ 水平上差异显著

一般而言，变异系数在 0 ~ 20% 之间属于弱变异强度，在 20% ~ 50% 之间属于中等变异强度， $> 50\%$ 时属于强变异强度^[9]。分析表明：一期 $EM_{0.375}$ 变异系数为 47.10%，属于中等变异强度，二期 $EM_{0.375}$ 变异系数为 52.42%，属于强变异强度，而 0 ~ 0.75 m 层的土壤表观电导率变异系数则分别为 44.47% 和 43.00%，都属于中等变异强度。在生育期和吐絮期 0 ~ 0.375 m 和 0 ~ 0.75 m 两个层次的表观电导率变异均达到中度变异或强变异水平，这在一定程度上也表明田块尺度上土地平整程度较差，该结果与田间的观察相一致，由此也说明在今后农田管理中要加强田块土地平整度的提高。吐絮期棉花根区的土壤表观电导率平均值较盛花期的减小，则表明八、九月份间降水对盐分具有明显

的淋洗效果，土壤盐分向地表深层迁移。吐絮期表层土壤盐分的变异系数增大，表明表层土壤盐分在垂直方向上迁移比水平方向上迁移的要大。

由盛花期和吐絮期两期的根区表观电导率 0 ~ 0.375 m 和 0 ~ 0.75 m 层的表观电导率相关系数可知，它们都呈强相关性。该结果表明，作物主根系层的盐分状况与下层水盐状况关系密切，表明土壤通体含盐量均很高，棉花种植和季节性降雨对区域土壤水盐整体运移状况未产生根本性的影响，田块土壤盐分在剖面上迁移为主，由此也说明在灌排工程配套的前提下，滨海平原区盐碱土改良的艰巨性和反复性。

2.2 根区土壤表观电导率空间变异特征

研究空间变异特征主要通过数据的半方差函数计

表 2 根区土壤表观电导率半方差函数模型

Table 2 Semivariogram models for electrical conductivity at root zone

土层类型 Date type	理论模型 Theoretical model	块金值 C_0 Nugget/(g kg ⁻¹) ²	基台值 Sill Base value/(g kg ⁻¹) ²	块金值 / 基台值 Nugget/Value	变程 Range/m	决定系数 R ²
期	球状	0.1638	0.2696	0.608	663.0	0.802
期	球状	0.1662	0.2524	0.723	646.0	0.898

算,半方差分析主要用来确定结构性因素和随机性因素对土壤空间变异的影响大小以及各层土壤特性间的空间相关性^[10,11]。GS+ 7.0 软件是进行空间变异分析的专业常用工具,经处理得到的两期根区土壤表观电导率的最优半方差函数模型及参数值如表 2 所示。

分析块金值与基台值的 $C_0 / (C_0 + C)$ (空间相关度) 块金值与基台值的比值表示随机部分引起的空间异质性占系统总变异的比例^[12]。如果该比值高,说明样本间的变异更多的是由随机性因素引起的,如果该比值低,说明样本间的变异更多的是由结构性因素引起的。在研究区内,这些随机性影响因素主要包括灌溉、耕作制度、种植制度等人为活动影响因素;研究区内的结构性影响因素主要包括气候、母质、地形、土壤等自然影响因素。如比值 25%,则系统具有强烈的空间相关

性;比值在 25% ~ 75% 之间,表明系统具有中等的空间相关性;比值 > 75% 则说明系统空间相关性很弱^[13]。

由表 2 可知,决定系数都 > 0.8,理论模型在球状模型下拟合最好。试验区盛花期和吐絮期的关键生育期,其块金值与基台值之比分别为 0.608 和 0.723,说明系统均呈中等空间相关性,说明其空间变异性由随机性因素和结构性因素共同作用,棉花种植影响与施肥管理等对土壤盐分空间分布有一定影响,但滨海平原区微地形、土壤等结构性因素的作用不可忽视。

采用经 GS+7.0 计算所做的 $\gamma(h) \sim h$ 散点图如图 1 所示。经计算变程分别为 663 m 和 646 m,采样间距 20 m 在变程之内,说明数据合理。结合实际情况,本研究采集数据完全符合研究需要,因此可以通过插值进一步分析表观电导率空间变异特征。

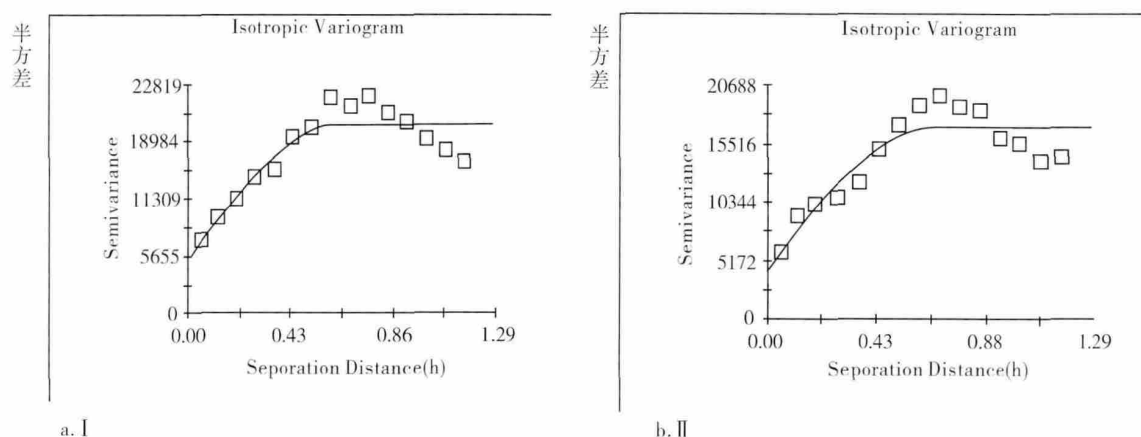


图 1 根区土壤表观电导率半方差函数图

Fig 1 Semivariograms of the electrical conductivity at root zone

2.3 根区土壤表观电导率空间变异分析

因 0 ~ 0.4 m 层次的盐分状况与棉花生长发育直接相关,因此下图均选用 0 ~ 0.375 m 的土壤表观电导率数据来对其空间变异性进行分析。

经 SPSS 18.0 处理知两期根区数据经对数转换后服从正态分布,结合表 2 中空间变异分析所得的基台值、块金值以及变程等数据,在 Arcgis 9.3 软件中进行普通克里格插值^[14],所得的结果如图 2 所示。

由图 2a 知,吐絮期(雨后)与盛花期(雨季前)相比较,根区土壤表观电导率高位区集中点并未发生较大移动,但高位电导率区域面积明显变大,由表 1 数据分

析知根区土壤电导率平均值在雨季之后减小,但变异系数增大,这种特征在图 2 中可以直观看出。吐絮期(雨季之后)间,表观电导率分布更加碎片化和集中化,部分区域的土壤表观电导率值明显增大且周围的土壤表观电导率值明显减小。结合田间实际采样调查知,雨季之后电导率增大和集中区域地势低洼,相对周围地势明显偏低。在雨水作用下,土壤盐分初期向底层迁移的同时,亦经地面径流的再分配,进入低洼地段;雨后则在蒸发作用下,盐分往微地形高处迁移。结果再一次证明了平整土地在滨海盐土改良中的重要性;雨季时要采取合理的排水防涝措施,由此方能预防各种影响

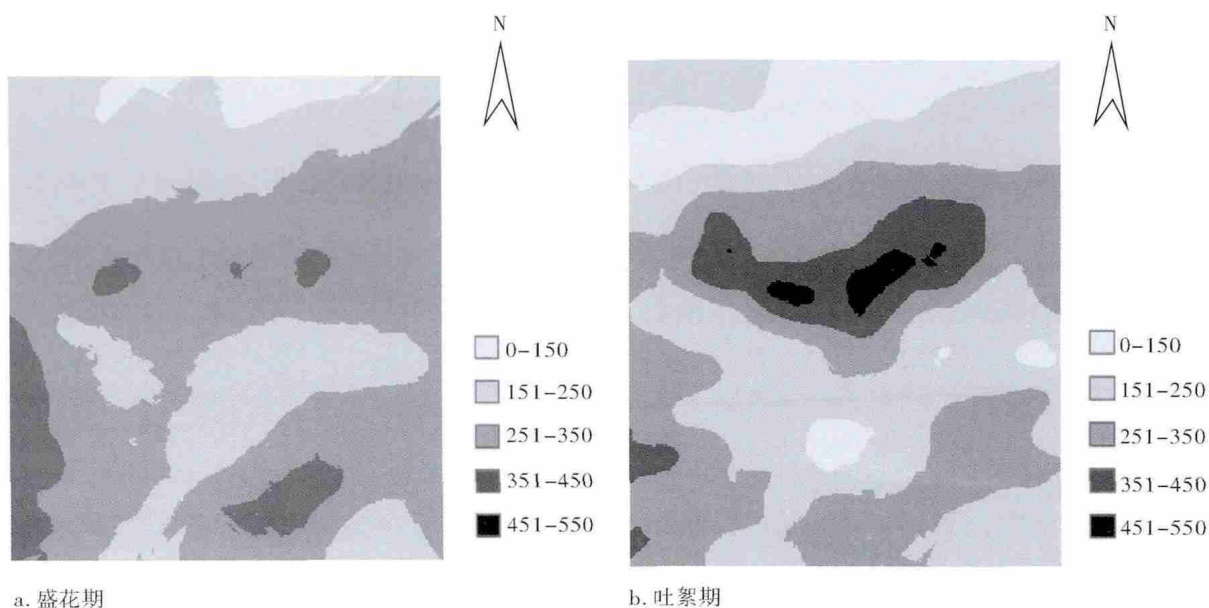


图 2 根区土壤表观电导率克里格插值图

Fig. 2 The kriging interpolation of electrical conductivity at root zone

农作物产量的不利因素。

雨季之后,棉田东北部根区土壤表观电导率降低明显且范围扩大很多,棉田中部盐分呈积聚趋势盐渍化程度加剧,根区土壤表观电导率最小值所在范围由雨季之前的东部偏东南方向向东西扩大。较高值电导率的变化是由于棉田中部地区所处地势较低,雨季排水不利所致。棉田的东北部靠近排水渠,雨季来临对表层盐分冲洗较为强烈,纵然地势不是近似平坦,盐分也随雨水带入沟中,有很好的脱盐效果。棉田中部由于雨水不能及时排水,导致雨水携带盐分在地势低洼处汇聚,盐分在个别区域内积聚,明显不利于作物生长,实际观测发现,中部地区的棉花株高和产量明显低于北部和南部棉花产量。

3 结论

盐碱地棉花根区土壤表观电导率反映了土壤中全盐量的大小,对根区的土壤含盐量动态监测结合植株生长状态可以有效控制施肥排涝等。由以上分析可知,雨季时棉田的地势和排水能力深刻影响着盐碱地上盐分含量,在实际作物种植过程中,利用 EM38 大地电导率仪器能快速测量土壤表观电导率来反应土壤含盐量大小,也能及时有效的采取人工干预,防止影响产量降低的一切不利因素发生。

(1)EM38 仪器快速便捷探测棉花根区土壤表观电导率值的相对大小,能有效应用于滨海棉田的水盐管理。

(2)在降雨前后,黄河三角洲滨海土壤盐分空间变

异较大,达到或超过中等变异水平。

(3)在滨海平原区,土地平整程度与降雨是控制土壤盐分的关键因素,微地形通过能有效影响地表径流,进而影响盐分的空间分布状态。

(4)在田间尺度上,应该加强土地平整和灌排配套等措施,在区域尺度上,应该优化土地利用格局,加强农田基本水利建设。

参考文献:

- [1] FLORINSKY I V,EILERSR G, MANNING R, et al. Prediction of soil properties by digital terrain modeling. Environmental Modelling and Software, 2002, 17(3): 295 - 311.(6):14 - 21.
- [2] 吴亚坤, 杨劲松, 刘广明.基于遥感与电磁感应仪数据的土壤盐分空间变异性[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 148 - 152.
- [3] 陈玉娟.EM38 大地电导仪的应用研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(2): 146 - 148.
- [4] 姚荣江, 杨劲松. 基于电磁感应仪的黄河三角洲地区土壤盐分时空变异特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 107 - 113 .
- [5] V.URDANOZ,R.ARAGUES. Comparison of Geonics EM38 and Dualem 1S electromagnetic induction sensors for the measurement of salinity and other soil properties [J]. Soil Use and Management, 2012, 28 (1):108 - 112.
- [6] YURUI SUN,CAIXIA CAI,JIANHUI LIN,et al. A case study of EM38 for characterizing topsoil thickness in a reclaimed field [J]. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 2011, 34(6):843 - 847.
- [7] 杨劲松, 姚荣江. 基于磁感式土壤表观电导率空间变异性的插值方法比较[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 50 - 57.
- [8] 孔祥强, 董合忠. 滨海盐碱地棉花熟相调控技术及其机理[J]. 棉花学报, 2011, 23(5): 466 - 471.
- [9] 刘 宁. 不同土地利用方式下黄河三角洲土壤特性空间变异研

- 究—以垦利县为例[D]. 山东: 山东农业大学, 2007: 37.
- [10] 刘广明, 吕真真等. 典型绿洲区土壤盐分的空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 100 - 107.
- [11] 秦耀东. 土壤空间变异研究中的半方差问题 [J]. 农业工程学报, 1998, 4: 42 - 47.
- [12] 张淑娟, 何 勇, 方 慧. 基于 GPS 和 GIS 的田间土壤特性空间变异性研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 39 - 44.
- [13] 刘 宁, 李新举等. 基于 GIS 的黄河三角洲土壤肥力质量自动化评价[J]. 土壤通报, 2006, 37(6): 1053 - 1057.
- [14] 李 艳. 基于空间变异特性的滨海盐土采样及管理分区研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2006.

The Spatial Variation of Apparent Soil Electrical Conductivity on the Root Area of Cotton Fields in Coastal Saline Soil

SUN Yun-peng^{1,2}, CHEN Xiao-bing^{2,3}, ZHANG Zhen-hua¹, WU Cong-wen^{4,2}, YAN kun^{2,3}, ZHANG Li-hua^{2,3}, JIANG Ming-liang^{5,2}

(1. College of Geography and Planning of Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China;

2. Yantai Institute of Coastal Zone Research Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264003, China;

3. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong, 264003, China; 4. Institute of Life Science of Yantai University, Yantai, Shandong 264005, China;

5. School of environmental science and engineering of Changan University, Xian, Shanxi, 710064, China)

Abstract: Soil salinization and secondary salinization were the key obstruction factors which restricted the agricultural sustainable development of the Yellow River delta. Understanding and evaluating the spatial-temporal dynamics of farmland soil salinity was the premise to use and improve it scientifically. The cotton field in the coastal saline-alkali land of the Yellow River delta was selected as research object in this paper. EM38 - MK2 earth conductivity meter was used to measure the apparent conductivity of soil root layers (0 ~ 0.375 m and 0 ~ 0.75 m) at the two key growth periods before and after the precipitation concentrated months, meanwhile the spatial distribution characteristics and influence factors of apparent conductivity in the cotton root zone soil were analyzed. The results showed that: 1) before and after the precipitation, the spatial variation of coastal soil salinity at Yellow River delta was up to or over medium level; 2) after correcting earth conductivity and eliminating interference factors for reading, the earth conductivity of the two key soil layers (0 ~ 0.375 m and 0 ~ 0.75 m) could be rapidly determined, which could be effectively used to monitor and evaluate the soil salinization in coastal cotton field; 3) Based on the region survey of landform and crop growth condition in the Yellow River delta region, we suggested that it should be optimized land use pattern and strengthened the infrastructure of irrigation and water conservancy at the regional scale. For the field scale, strengthening land consolidation and setting up a complete set of irrigation and drainage measure were the basis for management and improvement of coastal saline soil.

Key words: Coastal saline soil; Root area; Electrical conductivity; EM38-MK2 meter