

张 蛟,冯芝祥,崔世友,等. 滩涂垦区不同盐分水平土壤的盐分动态及土壤因子变化[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(4): 836-842.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.04.017

## 滩涂垦区不同盐分水平土壤的盐分动态及土壤因子变化

张 蛟<sup>1</sup>, 冯芝祥<sup>2</sup>, 崔世友<sup>1</sup>, 翟彩娇<sup>1</sup>

(1. 江苏沿江地区农业科学研究所, 江苏 南通 226541; 2. 江苏省如东县气象局, 江苏 如东 226400)

**摘要:** 为探明滩涂新围垦区不同盐分水平土壤的盐分季节性变化规律的差异性, 以及土壤盐分与土壤因子之间的关系, 2014年5月-2015年5月, 在江苏省沿海滩涂围垦区, 设置不同盐分水平(低盐, 含盐量0.1%~0.2%; 中盐, 含盐量0.5%~0.7%; 高盐, 含盐量1.0%以上)的田间试验, 监测了土壤电导率( $EC_{1:5}$ )和土壤因子(0~40.0 cm)的季节性动态变化。结果表明:(1)高盐土壤盐分具有明显的季节性变化规律, 表现为6-8月雨季土壤 $EC_{1:5}$ 降到最低值2.54 dS/m, 9-12月积盐作用明显, 且在10月 $EC_{1:5}$ 达到最大值6.49 dS/m; 中盐土壤盐分具有一定程度的季节性变化规律, 表现为在10-12月具有明显的积盐效果, 且在10月 $EC_{1:5}$ 达到最大值3.90 dS/m; 低盐土壤盐分没有明显的季节性变化规律。(2)不同盐分水平下, 土壤水分和pH<sub>1:5</sub>值(除高盐土壤外)均没有明显的季节性变化规律。(3)滩涂围垦地区, 在0-40.0 cm土层中, 土壤 $EC_{1:5}$ 与pH<sub>1:5</sub>值之间有极显著的负相关( $P < 0.01$ ), 而与土壤水分含量和土壤温度均没有明显的相关性。总之, 该地区土壤盐分水平越高, 雨季土壤表层脱盐越明显, 秋季和初冬季节积盐越明显。因此, 在滩涂围垦区农业利用时, 应在雨季前(3-5月)或秋季前(8-9月)采取人为措施(如秸秆覆盖等), 加速土壤降盐或控盐, 以达到农作物生产的要求。

**关键词:** 盐碱土; 滩涂围垦; 盐分动态; 土壤因子

中图分类号: S156.4<sup>+</sup>2 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2017)04-0836-07

## Seasonal variations of soil salinity and soil factors in reclamation area of tidal flats with different salinity levels

ZHANG Jiao<sup>1</sup>, FENG Zhi-xiang<sup>2</sup>, CUI Shi-you<sup>1</sup>, ZHAI Cai-jiao<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Sciences of Jiangsu Changjiang River Bank District, Nantong 226541, China; 2. Rudong Meteorological Observatory, Rudong 226400, China)

**Abstract:** To elucidate the difference in the seasonal variations of soil salinity in reclamation area and explore the relationship between soil salinity and soil factors, a field experiment was conducted in the typical reclamation area of tidal flats in Rudong, Jiangsu province. Three levels of salinity were set: low salinity (LS, 0.1%–0.2%), medium salinity

(MS, 0.5%–0.7%), and high salinity (HS, more than 1.0%). Soil electrical conductivity ( $EC_{1:5}$ ) and soil factors (soil moisture, pH and temperature in the depth of 0–40 cm) were determined from May 2014 to May 2015. Soil salinity exhibited a strong seasonal pattern in the HS treatment with the lowest  $EC_{1:5}$  2.54 dS/m in rainy season from June to August and the highest  $EC_{1:5}$  6.49 dS/m in October. A seasonal change was shown in the MS treatment

收稿日期: 2017-02-14

基金项目: 江苏省自主创新基金探索性项目[CX(14)5096]; 南通市科技项目-应用基础研究项目(MS12016047)

作者简介: 张 蛟(1987-), 男, 陕西渭南人, 硕士研究生, 助理研究员, 主要研究方向为沿海滩涂土壤改良与高效利用。  
(Tel) 0513-87573485; (E-mail) zhangjiao0609@126.com

通讯作者: 崔世友, (E-mail) cuisy198@163.com

as well, with obvious salt accumulation from October to December and the highest  $EC_{1:5}$  3.90 dS/m in October. No significant seasonal change was found in LS treatment. Soil moisture and soil  $pH_{1:5}$  had no significant seasonal pattern in MS and LS treated soils. Soil  $EC_{1:5}$  showed a negative correlation with soil  $pH_{1:5}$  at depth of 0–40 cm ( $P < 0.01$ ) but no correlation with soil moisture and soil temperature in all plots. In a word, the higher the soil salinity in the reclamation area, the more obvious the soil desalination in rainy season and the salt accumulation in autumn and early winter. Therefore, to meet the demand of crop production, some artificial measures such as straw mulching should be adopted to promote desalination before rainy season or autumn.

**Key words:** saline alkaline soil; tidal flat reclamation; soil salinity dynamics; soil factor

土壤盐碱化已成为严重的生态环境问题,盐碱地开发治理是世界相关国家和机构非常关注的热点<sup>[1-2]</sup>。滩涂是中国盐碱地的重要组成部分,也是中国农业与经济建设非常重要的后备土地资源。江苏省滩涂资源丰富,约占全国滩涂总面积的1/4,约为 $6.53 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,其围垦利用历史悠久<sup>[3]</sup>。滩涂土壤发展农业最大的障碍因子就是高盐分含量的限制,高盐分严重抑制了土壤地力的发挥及作物的生长,导致土地生产效率普遍偏低<sup>[4-7]</sup>。同时,由于滩涂土壤盐分分布的空间不均衡性、时间分布的变异性<sup>[8-10]</sup>,对开发利用滩涂资源带来很多不确定性。因此,在开发利用沿海滩涂土壤资源之前,明确滩涂土壤盐分的动态变化规律,对于今后合理与高效开发利用滩涂资源非常必要。

前人研究发现,在沿海滩涂滨海盐土中,土壤盐分变化受到土壤特性、浅层地下水位、植被生长和气候因素的影响,呈现高度的时间、空间变异性<sup>[1,9-14]</sup>。以往的土壤盐分和水分条件的动态变化试验研究大部分采用室内模拟试验<sup>[15]</sup>,也有部分野外田间试验研究,但主要为针对灌溉的盐渍化农田土壤或围垦多年的滩涂土壤的动态监测<sup>[4,11-12,16]</sup>,近年来已有针对滩涂地区轻度或中度盐渍化土壤的定位监测研究<sup>[17]</sup>。然而,针对滩涂土壤重度盐渍化(含盐量1%以上)土壤盐分的长期定位观测研究还比较缺乏。此外,目前对于轻度、中度及重度盐渍化土壤盐分动态变化规律的差异性尚缺乏全面的研究。

因此,本研究拟针对轻度、中度和重度盐分水平下江苏省沿海滩涂围垦区土壤,利用野外定位试验,研究不同盐分水平下土壤含盐量、pH值、水分含量和温度等因素的季节性变化规律,在此基础上揭示滩涂不同盐分水平下土壤盐分变化和土壤环境因子之间的关系,分析讨论滩涂围垦区土壤盐分动态变化机理,为江苏省滩涂围垦土壤退盐与改良提供科学依据。

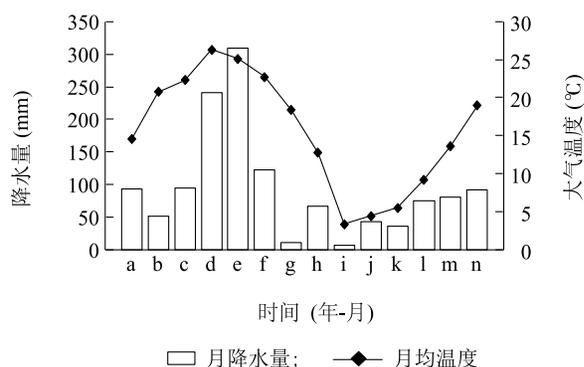
## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于江苏省如东县滩涂地区森茂生态园区(32°20'33"N,121°25'7"E),该地区属暖温带南部边缘,冬季受环流影响,以寒冷、少雨天气为主,夏季受东南季风影响,炎热、多雨,降水多于同纬度的内陆地区,春秋处于南北季风交替期,形成四季分明,干、湿、冷、暖天气多变的气候特征。降水充沛,年均雨量1 042 mm,汛期(6–9月)雨量相对集中,约占年总降雨量的55%~80%。年平均气温15.1℃,全年无霜期225 d,年平均日照2 136 h。试验进行期间降雨量和月平均温度如图1所示。该园区为2007年新围垦潮上带,地下水位1.2~1.5 m,土壤类型为滨海盐土,土质为中壤土,属弱碱性,pH值8.0左右,土壤有机质含量低,盐分含量在0.2%至2.0%之间。2014年3~4月,通过调查选择园区内新围垦未利用的地区不同盐分水平的田块作为试验样地,对样地土壤进行取样并测定基本理化性质。试验地土壤理化性质测定结果:有机质和全氮含量分别约为5.66 g/kg和0.54 g/kg,碱解氮、有效磷和速效钾含量分别为27.56 mg/kg、10.80 mg/kg和216.53 mg/kg,土壤容质量为1.39 g/cm<sup>3</sup>,孔隙度为47.41%,以上土壤性质指标在各盐分水平小区之间均没有明显差异。而不同盐分水平小区土壤电导率和pH均有明显差异,高、中、低盐分土壤电导率分别为3.06 dS/m、1.14 dS/m、0.44 dS/m,pH值分别为8.47、8.71、9.20。试验地初始生长着少量杂草、野生田菁、芦苇、碱蓬等耐盐或盐生植物。

### 1.2 试验设计与采样

2014年4月底,选择田块邻近、地形平整、盐分水平不同的地块,根据不同盐分水平设置3个处理:低盐,盐分含量0.1%~0.2%;中盐,盐分含量0.5%~0.7%;高盐,盐分含量1.0%以上。试验设计



a: 2014-04; b: 2014-05; c: 2014-06; d: 2014-07; e: 2014-08; f: 2014-09; g: 2014-10; h: 2014-11; i: 2014-12; j: 2015-01; k: 2015-02; l: 2015-03; m: 2015-04; n: 2015-05。

图1 试验期间如东县月降水量和月平均温度

Fig.1 Monthly cumulative precipitation and mean air temperature during the experimental period in Rudong county

采取局部控制,依照盐分梯度方向采样,分为3个盐分水平,重复5次,总共15个小区,小区面积为 $100\text{ m}^2$ ( $5\text{ m}\times 20\text{ m}$ )。为有利于排水,相邻2个小区之间进行挖沟隔开,沟宽大约为30 cm,沟深约为45 cm。2014年4月试验开始前,通过环刀法取样测定土壤容质量,同时采集0~20.0 cm和20.1~40.0 cm土层土壤样品,带回实验室自然风干后研磨过筛(分为2.00 mm和0.25 mm)备用,测定土壤基本理化指标。从2014年5月到2015年5月进行试验采样,试验期间无人灌溉和机械耕作,为避免扰动土壤,用小刀或镰刀去除地面少量杂草,保持地表裸露。每月1日和15日上午8:00-10:00采集0~20.0 cm和20.1~40.0 cm土壤样品,采样方法为S型多点取样法。将土壤混合样品装入样品袋带回实验室进行土壤水分、pH、电导率和盐分含量测定,同时利用便携式温度计(TPJ-21)在田间测定瞬时土壤10.0 cm处温度( $T_{10}$ )。

### 1.3 土壤理化因子测定

土壤理化因子测定方法参照文献[18]。容量测定采用环刀法,土壤pH值测定采用pH计法(土水比1:5),土壤盐分含量测定采用电导率法(土水比1:5),土壤水分含量测定采用烘干法,土壤颗粒组成(过2 mm筛土样)测定采用比重计法,土壤有机质含量测定采用重铬酸钾外加热法,土壤全氮含量测定采用凯氏消煮法,土壤有效磷含量测定采用碳酸氢钠浸提钼蓝比色法,碱解氮含量测定

采用碱解扩散法,有效钾含量测定采用乙酸铵浸提-火焰光度法。

### 1.4 数据分析

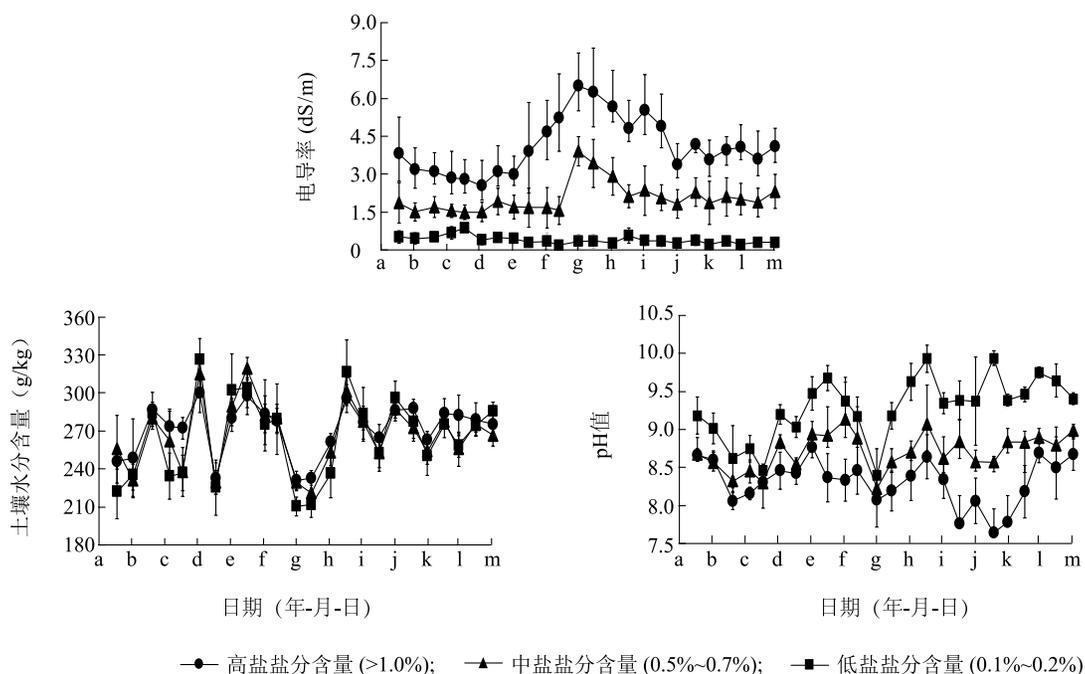
利用Microsoft Excel 2003和SPSS 13.0软件进行数据分析与作图,并进行随机区组单因素方差分析(One-way ANOVA),采用LSD法进行多重比较。用Pearson相关分析法分析土壤电导率( $EC_{1:5}$ )和土壤水分、土壤pH和土壤温度之间的相关性。

## 2 结果与分析

### 2.1 滩涂围垦区土壤盐分、pH值和水分的季节性变化特征

试验期间,滩涂围垦区高盐土壤的盐分( $EC_{1:5}$ )在0~20.0 cm和20.1~40.0 cm土层均具有显著的季节性变化趋势(图2、图3)。在0~20.0 cm土层,6-8月雨季盐分降到最低( $EC_{1:5}$ 为2.54 dS/m),9-12月土壤积盐明显,并在10月达到最大值( $EC_{1:5}$ 为6.49 dS/m);而在20.1~40.0 cm土层,6-8月雨季和2-3月初春盐分较低,并在2月期间达到最小值( $EC_{1:5}$ 为2.78 dS/m),9-12月土壤积盐效果明显,并在9月期间达到最大值( $EC_{1:5}$ 为5.82 dS/m);在不同土层之间,总体上在5-9月0~20.0 cm土层盐分普遍低于20.1~40.0 cm土层盐分,10月到翌年4月0~20.0 cm土层盐分普遍高于20.1~40.0 cm土层盐分。滩涂围垦区中盐土壤的盐分在0~20.0 cm土层具有明显的季节性变化规律,表现为在9~11月具有明显的积盐作用,并在10月份土壤盐分达到最大值( $EC_{1:5}$ 为3.90 dS/m);在20.1~40.0 cm土层具有一定的季节性变化规律,在8-12月具有一定的积盐作用,并在11月份达到最大值( $EC_{1:5}$ 为3.50 dS/m),其他月份在一定范围(2.00~2.60 dS/m)内波动;在不同土层之间,0~20.0 cm土层盐分基本低于20.1~40.0 cm土层盐分(盐分达到最大时除外);滩涂围垦区低盐土壤,0~20.0 cm和20.1~40.0 cm土层 $EC_{1:5}$ 均没有明显的季节性变化规律,分别在0.22~0.85 dS/m和0.43~0.95 dS/m波动;0~20.0 cm土层盐分普遍低于20.1~40.0 cm土层盐分。

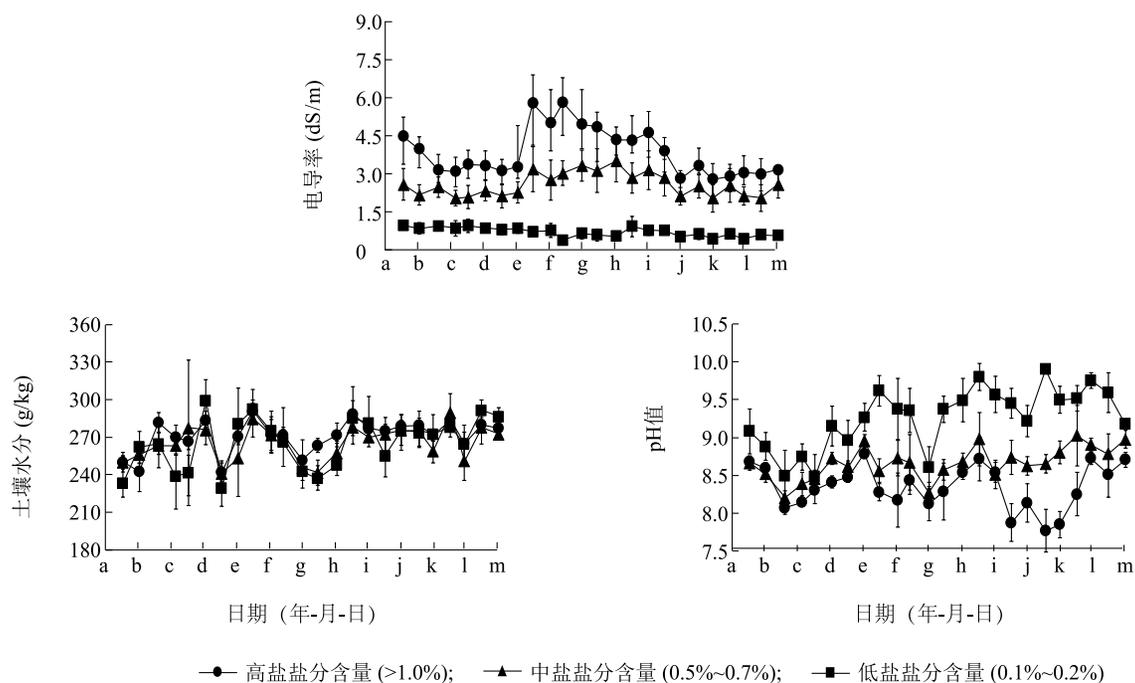
滩涂围垦区土壤水分含量没有明显的季节性变化规律,三种盐分水平土壤,土壤水分含量变化幅度



a; 2014-04-15; b; 2014-05-15; c; 2014-06-15; d; 2014-07-15; e; 2014-08-15; f; 2014-09-15; g; 2014-10-15; h; 2014-11-15; i; 2014-12-15; j; 2015-01-15; k; 2015-02-15; l; 2015-03-15; m; 2015-04-15。

图2 不同盐分水平土壤(0~20.0 cm深度)电导率、含水量和pH值的季节性变化

Fig.2 Seasonal variations in soil (0~20.0 cm depth) electrical conductivity, soil moisture and pH with different salinity levels



a; 2014-04-15; b; 2014-05-15; c; 2014-06-15; d; 2014-07-15; e; 2014-08-15; f; 2014-09-15; g; 2014-10-15; h; 2014-11-15; i; 2014-12-15; j; 2015-01-15; k; 2015-02-15; l; 2015-03-15; m; 2015-04-15。

图3 不同盐分水平土壤(20.1~40.0 cm深度)电导率、含水量和pH值的季节性变化

Fig.3 Seasonal variations in soil (20.1~40.0 cm depth) electrical conductivity, soil moisture and pH with different salinity levels

均为 223.0~327.0 g/kg。高盐滩涂土壤  $pH_{1:5}$  在 0~20.0 cm 和 20.1~40.0 cm 土层均具有一定的季节性变化规律,表现为夏季 8 月份  $pH_{1:5}$  达到最大值 8.77,12 月-翌年 2 月  $pH_{1:5}$  处于较低值,其他月份均在 8.00 至 8.70 之间波动。然而,中盐和低盐滩涂围垦区土壤  $pH_{1:5}$  均没有呈现显著的季节性变化规律, $pH_{1:5}$  分别在 8.30~9.15 和 8.45~9.90 波动。整体上,滩涂围垦区土壤 pH 值在不同土层之间没有明显的差异性。

由表 1 可知,不同盐分水平土壤间,无论是 0~20.0 cm 土层还是 20.1~40.0 cm 土层,滩涂围垦区土壤年平均  $EC_{1:5}$  值和  $pH_{1:5}$  值均具有显著差异 ( $P<0.05$ ),且  $EC_{1:5}$  越大, $pH_{1:5}$  越小;不同盐分水平土壤年平均土壤含水量没有显著差异 ( $P>0.05$ )。

表 1 不同盐分水平土壤年平均  $EC_{1:5}$  值、pH 值和水分含量的差异性

Table 1 Differences in the average annual  $EC_{1:5}$ , pH and moisture of soil with different salinity levels

土层 (cm)	盐分水平	$EC_{1:5}$ (dS/m)	$pH_{1:5}$	水分含量 (g/kg)
0~20.0	高盐	4.12±1.02a	8.31±0.25c	271.54±5.89a
	中盐	2.05±0.54b	8.71±0.14b	266.84±1.97a
	低盐	0.40±0.13c	9.28±0.09a	264.74±8.41a
20.1~40.0	高盐	3.85±0.70a	8.35±0.16c	271.05±1.86a
	中盐	2.57±0.46b	8.66±0.09b	265.50±4.70a
	低盐	0.70±0.13c	9.26±0.11a	265.63±6.57a

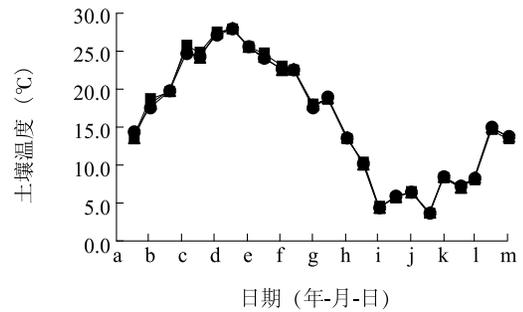
同一列中相同土层不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

## 2.2 滩涂围垦区土壤温度的季节性变化特征

图 4 显示,在试验期间,滩涂围垦区土壤温度 (10.0 cm 深度) 呈现明显的季节性变化规律,表现为夏季 7-8 月温度最高,冬季 2 月温度最低。土壤温度变化幅度为 3.56~28.04 °C,平均值为 16.03 °C。在不同盐分水平土壤间,土壤温度变化没有明显的差异。另外,结合图 4 与图 1 可知,滩涂围垦区土壤温度与大气月平均温度呈现极显著的线性正相关 ( $P<0.05$ )。

## 2.3 滩涂围垦区土壤盐分与土壤因子的相关性

从图 5 可见,滩涂围垦区土壤 0~20.0 cm 和 20.1~40.0 cm 土层深度下,土壤电导率 ( $EC_{1:5}$ ) 与土壤  $pH_{1:5}$  值之间均有极显著的负相关 ( $P<0.01$ ),而与土壤水分含量没有明显的相关性。同时,土壤电导率与土壤温度 (10.0 cm 深度) 没有显著的相关性。



●—高盐盐分含量 (>1.0%); ▲—中盐盐分含量 (0.5%~0.7%); ■—低盐盐分含量 (0.1%~0.2%)

a: 2014-04-15; b: 2014-05-15; c: 2014-06-15; d: 2014-07-15; e: 2014-08-15; f: 2014-09-15; g: 2014-10-15; h: 2014-11-15; i: 2014-12-15; j: 2015-01-15; k: 2015-02-15; l: 2015-03-15; m: 2015-04-15。

图 4 不同盐分水平土壤温度 (10.0 cm 深度) 的季节性变化

Fig. 4 Seasonal variation in soil temperature at 10.0 cm depth with different salinity levels

## 3 讨论

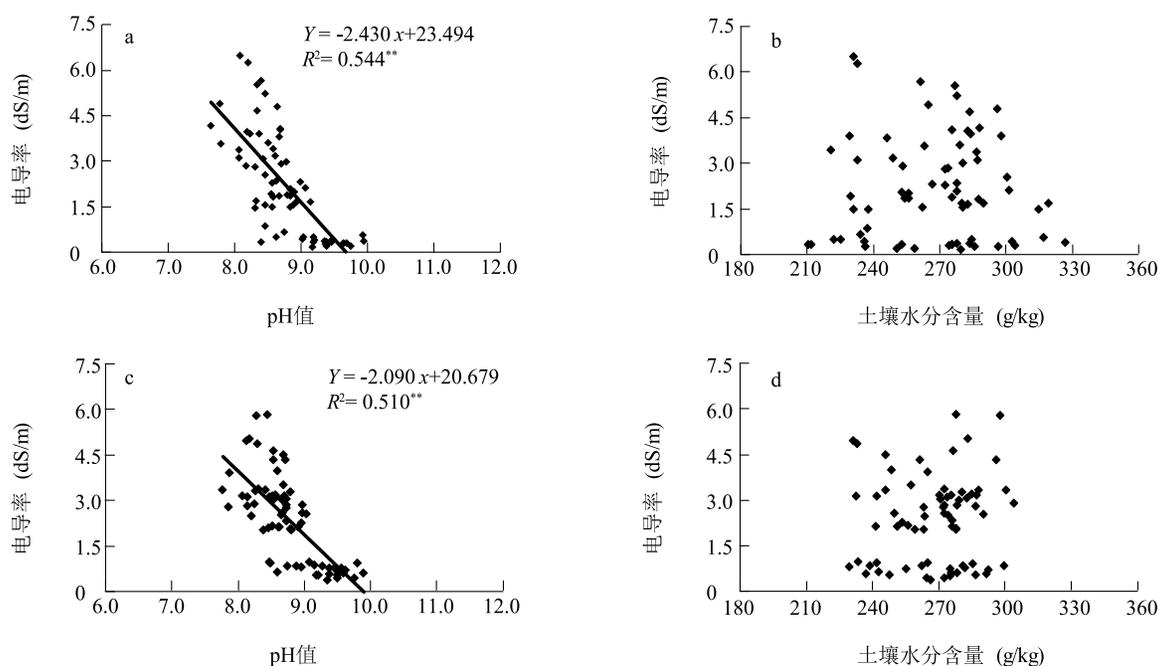
### 3.1 滩涂围垦区土壤因子季节性变化特征

土壤温度变化差异主要源于不同土壤质地、土壤含水率、植被状况以及气温变化的影响<sup>[19]</sup>。本研究中,滩涂围垦区不同盐分水平的土壤质地、含水率及植被状况 (均为裸地) 基本一致,土壤表层温度呈明显的季节性变化规律,且土壤表层温度变化与气温变化有着密切关系,这与前人的研究结果<sup>[19-21]</sup>相似。滩涂土壤温度与土壤盐分之间没有明显的相关性。

研究发现,滩涂围垦区土壤水分含量均没有明显的季节性变化规律,且不同盐分水平土壤间没有显著差异,这主要是由于本研究中土壤理化特性基本一致,围垦区土壤表层水分含量主要受到降雨和蒸发的影响<sup>[8]</sup>。此外,不同盐分水平土壤间  $pH_{1:5}$  没有明显的季节性变化规律 (除高盐土壤间外),且土壤  $pH_{1:5}$  与  $EC_{1:5}$  呈显著负相关 ( $P<0.05$ ),这与以往的研究结果<sup>[22]</sup>相似。高盐土壤  $pH_{1:5}$  呈季节性变化规律,主要是受到土壤  $EC_{1:5}$  季节性变化的影响。因此,我们认为,滩涂新围垦区土壤温度和水分含量变化主要受气温和降雨等气候因子的影响,而土壤 pH 值变化主要是由滩涂土壤盐分含量的季节性变化引起的。

### 3.2 滩涂围垦区土壤盐分季节性变化特征

在滨海盐碱地中,土壤盐分变化主要受到土壤特性、浅层地下水位、植被生长和气候因素的影响,



\*\*表示在0.01水平上显著。

图5 土层深度0~20.0 cm(a,b)和20.1~40.0 cm(c,d)土壤pH值、含水量与电导率的相关性

Fig.5 Correlations between soil electrical conductivity and soil pH value, soil moisture at 0-20.0 cm (a, b) and 20.1-40.0 cm (c, d) depths

具有高度的时空变异性<sup>[1,9-14]</sup>。王艳等<sup>[12]</sup>研究发现,自然状态下滨海盐渍土盐分含量具有明显的季节性积盐脱盐规律,大致表现为春季强烈积盐,雨季脱盐,秋季缓慢积盐和冬季盐分稳定。赵秀芳等<sup>[4]</sup>在苏北典型滩涂区的研究结果表明,土壤表层盐分随季节波动剧烈,盐分在夏季呈下降趋势,秋冬季呈上升趋势。通过野外定位试验,本研究发现江苏省沿海滩涂围垦区内,裸地(荒地)重度盐土(含盐量1%以上)土壤盐分具有剧烈的季节性变化规律,在6-8月雨季为脱盐期,9-12月为积盐期,这与王艳等<sup>[12]</sup>、赵秀芳等<sup>[4]</sup>的研究结果有一定的相似之处。本研究也发现该围垦区内中度盐分水平土壤(含盐量0.5%~0.7%)与重度盐土土壤盐分季节性变化规律具有一定程度的相似性,但重度盐土盐分波动较为剧烈,而低盐分水平(含盐量0.1%~0.2%)土壤盐分没有明显的季节性波动规律。沿海滩涂围垦区土壤表层(0~20.0 cm)比亚表层(20.1~40.0 cm)盐分季节性变化剧烈,且亚表层盐分变化相对于表层具有一定的滞后性,这与以往的研究结果<sup>[4, 11-12, 23-24]</sup>一致。

本研究滩涂新围垦区重度盐碱土中盐分变化剧烈的主要原因可能是:(1)在滩涂新围垦未经农业开

发利用的盐碱荒地,降雨是唯一的水分来源,在6-8月雨季降雨集中,土壤表层盐分经过降雨淋洗,盐浓度下降到最低值,而在9月、10月,江苏沿海滩涂降雨较少,在高蒸发力的作用下,雨季储存在土壤中水分剧烈蒸发,土壤中盐分在表层聚积而盐分浓度增加达到最大值<sup>[23-25]</sup>; (2)滩涂围垦区土壤表层水热状况比土壤亚表层受到降雨和蒸发作用的影响更为明显,进而造成土壤亚表层盐分变化相对于表层盐分变化有一定的滞后性<sup>[4,12]</sup>。本研究中,滩涂围垦区轻度盐碱土土壤盐分没有明显的季节性变化规律,可能是由于轻度盐碱地不仅受到降雨和气温等气候因子变化的影响,还受到植被生长(如盐生植物、杂草)和人为因素(如除草)等的影响<sup>[5,24,26]</sup>。

在滨海盐碱土中,采取人为措施(如秸秆覆盖、植被覆盖、种植水稻、添加土壤改良剂及农耕措施等)可以改变土壤盐分的季节性变化规律,增加土壤淋盐洗盐作用,达到降盐及控盐的作用,进而保证农作物安全生长<sup>[6,12,27-31]</sup>。虽然已有通过滩涂种植水稻进行土壤洗盐和盐土改良的研究报道<sup>[30-31]</sup>,但考虑到沿海滩涂新围垦区水利设施不完善以及淡水资源紧缺,目前进行淡水或微咸水灌溉还存在一定的难度。因此,我们建议:在沿海滩涂新围垦区,针对重度盐土

(含盐量1%以上),在农业开发前,可以在雨季来临前(4-5月份),用秸秆覆盖滩涂表面土壤,以减少6-8月雨季集中降雨时的地面径流,增加土壤表层盐分淋洗,达到表层土壤盐分降低的效果;针对中度盐土(含盐量0.5%~0.7%),可以在种植耐盐作物(如田菁等)时,在雨季之前或秋季进行秸秆覆盖,以降低土壤表层盐分或控制底层盐分上升,达到改良土壤的效果;针对轻度盐碱土(含盐量0.2%以下),可以种植棉花、油菜、大麦等作物,同时在秋季作物生长时采取一定措施进行降盐控盐。

### 参考文献:

- [1] HERRERO J, CASTANEDA C. Changes in soil salinity in the habitats of five halophytes after 20 years[J]. *Catena*, 2013, 109: 58-71.
- [2] LI X, CHANG S X, SALIFU K F. Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: a review[J]. *Environmental Reviews*, 2014, 22(1): 41-50.
- [3] 熊万英,王 建. 江苏沿海滩涂可持续发展研究[J]. *国土与自然资源研究*, 2004(4): 52-54.
- [4] 赵秀芳,杨劲松,姚荣江. 苏北典型滩涂区土壤盐分动态与水平衡要素之间的关系[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(3): 52-57.
- [5] 王茂文,刘 冲,丁海荣,等. 苏北沿海滩涂盐肥耦合对马齿苋生长及土壤环境的影响[J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(2): 331-337.
- [6] 姚荣江,杨劲松,赵秀芳,等. 水盐调控措施对苏北海涂油菜生长及土壤盐分分布的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2013, 32(1): 5-9.
- [7] 王康君,王 龙,顾正中,等. 盐胁迫对小麦种子萌发与幼苗生长的影响及外源物质调控效应[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(1): 111-115.
- [8] 殷小琳,丁国栋,张维城. 降雨及隔盐层对滨海盐碱地水盐运动的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2011, 9(3): 40-44.
- [9] HE B, CAI Y, RAN W, et al. Spatiotemporal heterogeneity of soil salinity after the establishment of vegetation on a coastal saline field[J]. *Catena*, 2015, 127: 129-134.
- [10] ABLIZ A, TIYIP T, GHULAM A, et al. Effects of shallow groundwater table and salinity on soil salt dynamics in Northwest China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(3): 1-15.
- [11] 王美丽,李 军,岳甫均,等. 天津盐渍化农田土壤盐分变化特征[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(9): 1949-1954.
- [12] 王 艳,廉晓娟,张余良,等. 天津滨海盐渍土水盐运动规律研究[J]. *天津农业科学*, 2012, 18(2): 95-97.
- [13] LEE S, BAE H, KIM H, et al. Temporal variations on soil salinity and cation displacement at saemangeum and yeongsangang reclaimed tidal lands[J]. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 2014, 3(4): 121-129.
- [14] XU Y, PU L, ZHU M, et al. Spatial variation of soil salinity in the coastal reclamation area, Eastern China[J]. *Journal of Coastal Research*, 2014, 294: 411-417.
- [15] 乔海龙,刘小京,李伟强,等. 秸秆深层覆盖对土壤水盐运移及小麦生长的影响[J]. *土壤通报*, 2006, 37(5): 885-889.
- [16] LIU M, YANG J, LI X, et al. Distribution and dynamics of soil water and salt under different drip irrigation regimes in northwest China [J]. *Irrigation Science*, 2013, 31(4): 675-688.
- [17] 张建军,杨劲松,姚荣江,等. 有机肥与覆盖方式对滩涂围垦农田水盐与作物产量的影响 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(15): 116-125.
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1999: 146-226.
- [19] 王世岩,杨永兴,杨 波. 三江平原典型湿地土壤温度变化及其影响因子分析[J]. *地理研究*, 2003, 22(3): 389-396.
- [20] 杜尧东,刘锦鑫,何 健. 广州地区蔬菜田土壤温度变化特征及其预报模型研究 [J]. *生态学杂志*, 2005, 24(9): 1021-1024.
- [21] 郑晓辉,巴特尔·巴克,李 宏,等. 不同灌水方式下干旱区盐碱地土壤水盐运移特征分析[J]. *东北农业大学学报*, 2011, 42(5): 95-99.
- [22] 曹丽花,刘合满,普塔拉. 西藏主要农作区土壤 pH 值和电导率分布特征及其相关性分析[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(5): 1189-1192.
- [23] 朱宏伟,夏 军,曹国栋,等. 盐渍化弃耕地土壤盐分动态及其影响因素[J]. *土壤*, 2013, 45(2): 1339-1345.
- [24] 周剑虹,王江涛,欧 强,等. 崇明东滩围垦区芦苇湿地土壤盐分动态研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(9): 1545-1551.
- [25] 周 丽,王玉刚,李 彦,等. 盐碱荒地开垦年限对表层土壤盐分的影响[J]. *干旱区地理*, 2013, 36(2): 285-291.
- [26] HE B, CAI Y, RAN W, et al. Spatial and seasonal variations of soil salinity following vegetation restoration in coastal saline land in eastern China[J]. *Catena*, 2014, 118: 147-153.
- [27] 李 鹏,濮励杰,朱 明,等. 江苏沿海不同时期滩涂围垦区土壤剖面盐分特征分析——以江苏省如东县为例 [J]. *资源科学*, 2013, 35(4): 764-772.
- [28] 王晓洋,陈效民,李孝良,等. 不同改良剂对滨海盐渍土水盐特性的影响[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(1): 261-264.
- [29] 刘鸿敏,毛伟兵,张玉文,等. 种棉改良对粘质盐土物理性状及水盐动态的影响[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(12): 152-157.
- [30] 王相平,杨劲松,姚荣江,等. 苏北滩涂水稻微咸水灌溉模式及土壤盐分动态变化[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(7): 54-63.
- [31] 刘广明,彭世彰,杨劲松. 不同控制灌溉方式下稻田土壤盐分动态变化研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(7): 86-89.

(责任编辑:张震林)