

# 苏北滨海盐碱土壤性质演化及其对脱盐规律的启示

楼锦花, 胡建\*, 葛云, 蔡珊, 魏文杰, 杨天乐, 顾琳

(江苏省有色金属华东地质勘查局 地球化学勘查与海洋地质调查研究院, 江苏 南京 210007)

**摘 要:**结合野外观测和室内分析,研究了江苏如东县滨海地区围垦土地土壤性质演化规律,及其演化过程中不同粒径组含量变化对脱盐规律的影响。结果表明,江苏如东滨海地区围垦土地随着围垦年限的增加,土壤质地逐渐变细,盐度逐渐降低。土壤质地变化趋势与盐度变化趋势具有较好一致性。砂粒含量与盐度随着围垦年限的增长而同时降低,粉粒含量随着围垦年限的增长而增加。黏粒含量与盐度变化关系较复杂,在围垦年限短的高盐度区域表现为黏粒含量随围垦年限增加而升高,与盐度变化呈相反趋势。而随着围垦年限增加到土壤盐度处于较低水平时,黏粒含量对盐分淋洗的阻碍作用较强,黏粒含量较高区域往往盐度较高。

**关键词:**江苏如东;围垦年限;土壤质地;粒径;盐度

**中图分类号:**P736

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-3682(2018)03-0034-09

**doi:**10.3969/j.issn.1002-3682.2018.03.004

沿海围垦滩涂地区介于陆海交汇处,土壤发育时间短,生态环境脆弱,自然条件限制因素多。江苏如东滨海盐碱地大多由滩涂自然淤涨或者人为填海形成,成陆时间短,受海水影响大。这类盐碱地改良后的农田土壤质地以砂质壤土-壤土为主,肥力水平低,养分供应不足,限制了农田生产力的提升和粮食安全的保障,是区域农业可持续发展的瓶颈和制约环节<sup>[1]</sup>。

据已有的工作显示,江苏沿海土壤盐碱化危害较为严重<sup>[2-4]</sup>。研究区表层土壤盐度达到 11~23,属于重盐土级别<sup>[5]</sup>。土壤物理特征上砂粒含量高,板结严重,孔隙度低,不保水不保肥;化学成分呈现缺氮,贫磷,富钾,有机质贫瘠的特征,成熟度低<sup>[6]</sup>。

沿海造陆过程中,土壤演化过程会同时受到自然因素和人为因素的影响。自然因素是指随着成陆年限的增长,土壤逐步脱盐熟化,在此过程中,盐度逐步降低,土壤粒度逐渐减小<sup>[7]</sup>。人为因素是指受围垦年限、土地利用类型等因素的影响。随着围垦年限的增长,土壤逐步脱盐熟化<sup>[8]</sup>。

本文以如东滨海盐碱地不同围垦年限的表层土壤质地与盐度为研究对象,分析土壤性质随围垦年限的演化规律,探讨土壤类型演化过程中粒径组成的变化及其对脱盐规律的影响。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

本文以江苏省如东县滩涂围垦区滨海盐碱地改良示范区及其外围 10 km 范围为研究对象。本研究区

收稿日期:2018-01-12

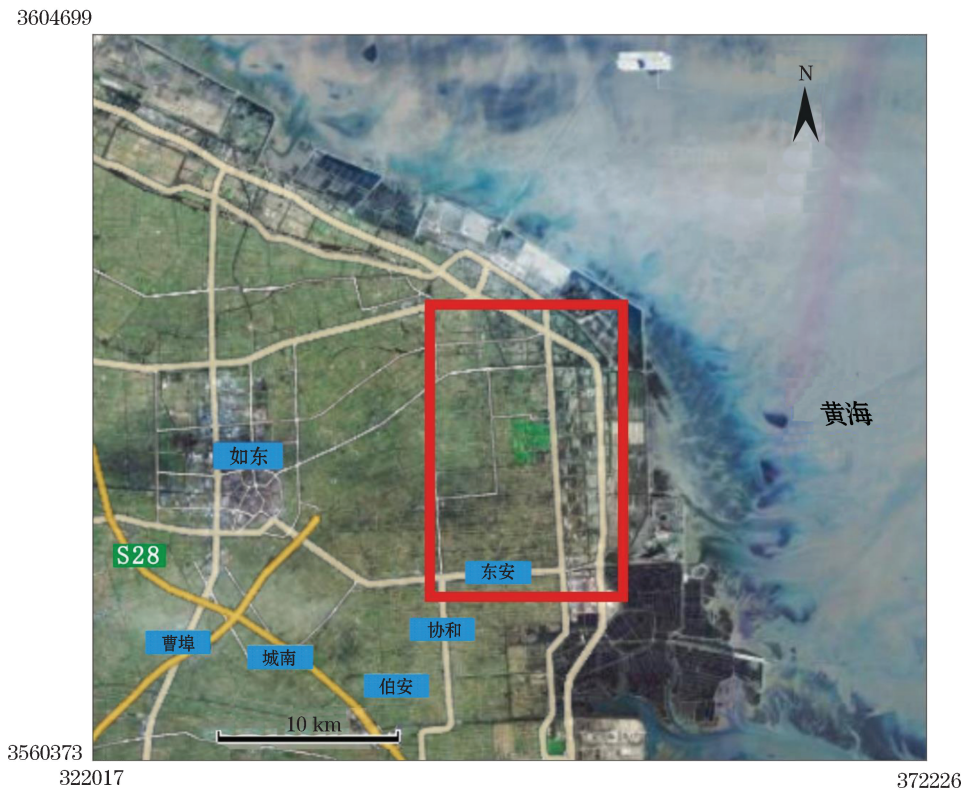
资助项目:原国土资源部公益性行业科研专项——滨海盐碱地快速改良技术及标准研究(201511086)

作者简介:楼锦花(1982-),女,工程师,硕士,主要从事环境地质、矿产地质方面工作. E-mail: dajingua@163.com

\* 通讯作者:胡建(1980-),男,高级工程师,博士,主要从事环境地质、矿产地质方面工作. E-mail: 65153743@qq.com

(李 燕 编辑)

位于江苏沿海,研究区以东即黄海(图 1)。地貌类型为滨海平原,土壤质地类型以砂质壤土-砂土为主,土壤盐度在 0.25~40.36。年均气温 13~15 °C,年均降水量 850~1 080 mm,种植制度以冬小麦—夏玉米轮作为主。



注:图中坐标采用 2000 国家大地坐标系

图 1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

## 1.2 土壤样品采集与测定

2015-08 在研究区采集土壤样品,以 1 km×1 km 为基本网格布设表层样采样点,共计 110 个表层样,形成 15 条垂直于海岸线的表层样调查线路(图 2)。表层样用土钻采集 0~20 cm 土壤样品。土壤样品送实验室风干,所有土壤样品,去除残留的枯枝落物,部分过 2 mm 筛用于测定土壤颗粒组成,另一部分经研磨后过 0.25 mm 筛,用于测定土壤盐度。

土壤颗粒组成采用激光粒度仪分析<sup>[9]</sup>,测定砂粒(2.000~0.020 mm)、粉粒(0.020~0.002 mm)和黏粒(<0.002 mm)的质量分数,用于确定土壤质地。土壤盐度采用质量法测定<sup>[10]</sup>,通过汲取一定量的土壤水浸出液,蒸干除去有机质后,在 105~110 °C 烘箱中烘干、称量,求出盐度。

## 1.3 数据处理及分析方法

采用 Excel 2010 软件对数据进行统计分析,用 MapGis 6.7, Surfer 12 和 CorelDRAW 14 软件作图。分别对土壤质地、不同粒径组分质量分数、盐度及对应围垦年限做相关性统计分析。

首先按照不同围垦年限,将研究区土壤由海岸到内陆大致划分为 3 个围垦年限区,2005 年岸线向海一侧为 10 a 围垦区,光绪岸线—2005 年岸线间为 30 a 围垦区,光绪岸线以西为 50 a 围垦区(图 2)。对不同围垦年限区域的盐度、粒径组分质量分数、土壤质地数据做统计,见表 1。

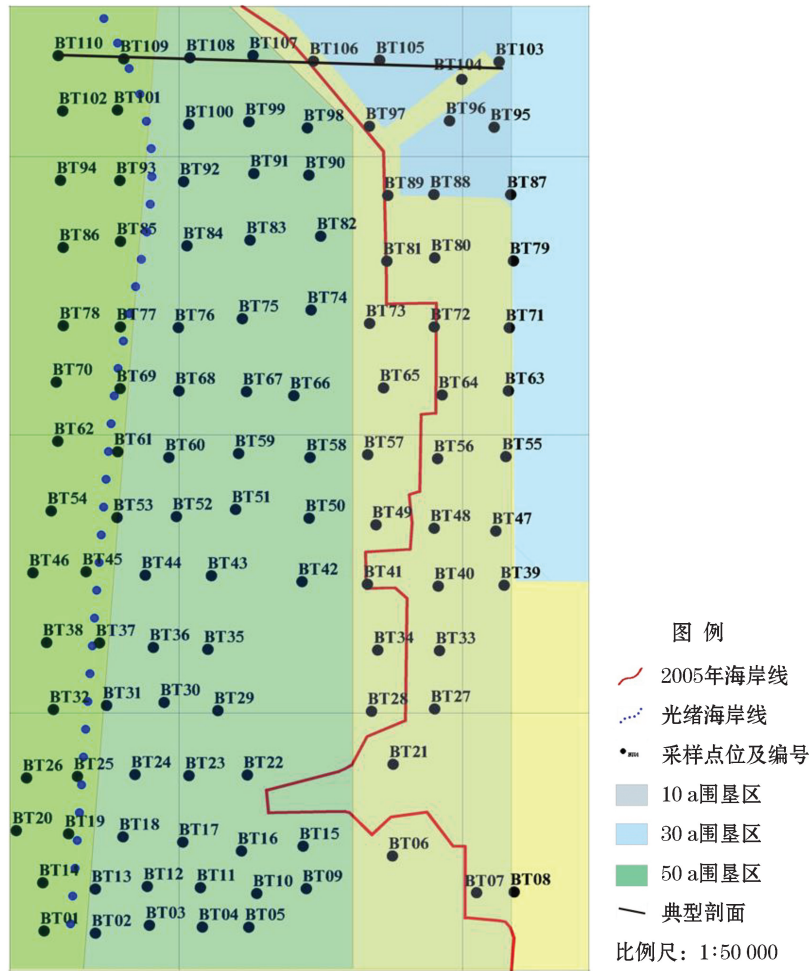


图2 工作区采样点位及围垦年限分区

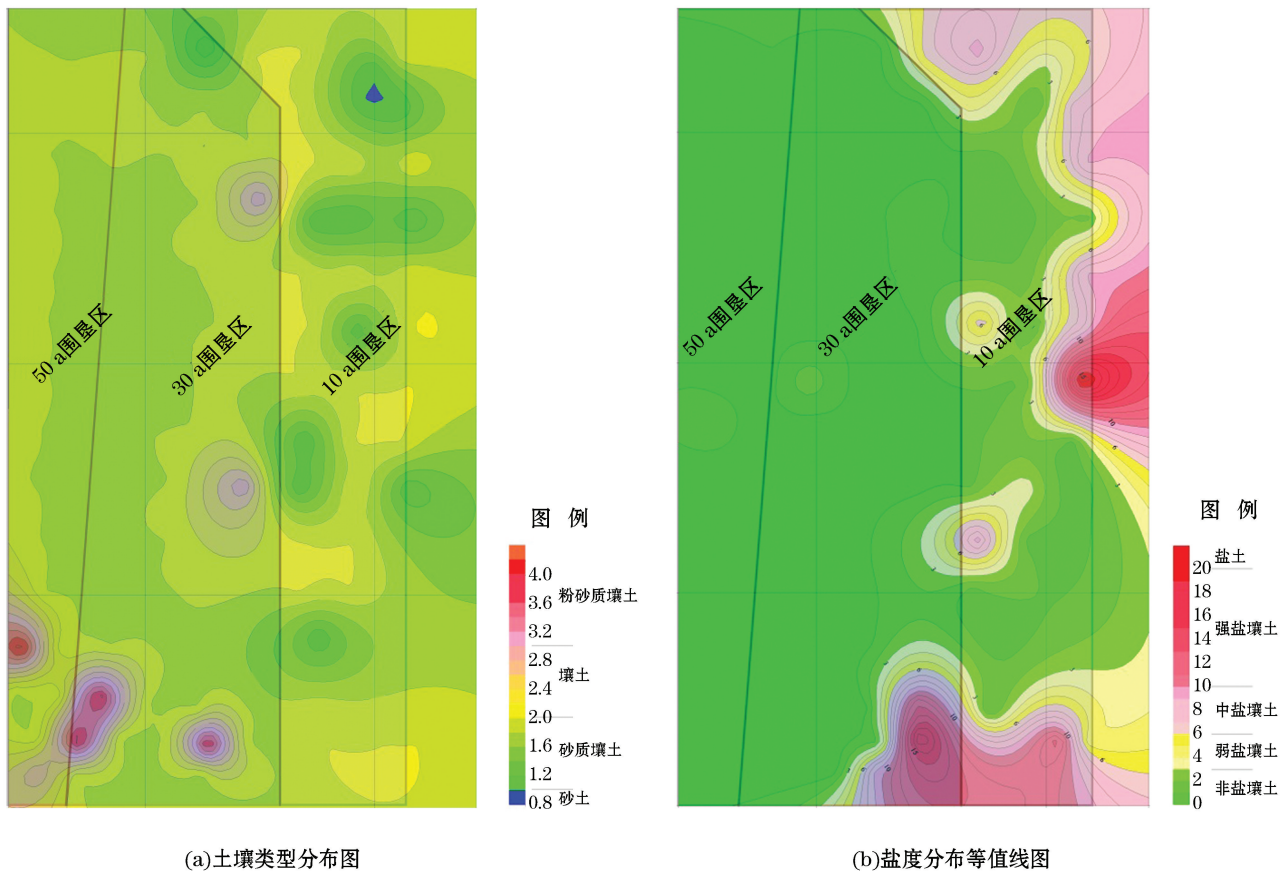
Fig.2 Sampling stations in the study area and divisions of reclamation years

表1 如东滨海地区围垦土地不同围垦年限表层土壤质地、粒径及盐度

Table 1 The texture, grain size and salinity of the surface soils in the reclamation areas with different reclamation years in the coastal region of Rudong County

围垦年限分区		S	不同粒径组分质量分数/%			土壤质地类型
			砂粒	粉粒	黏粒	
10 a 围垦区	最大值	21.70	100.00	38.36	6.43	砂土-砂质壤土
	最小值	0.27	56.40	0.00	0.00	
	平均值	3.87	78.17	18.56	3.27	
	变异系数	1.22	0.15	0.53	0.49	
30 a 围垦区	最大值	2.84	85.24	49.87	8.64	砂质壤土-粉砂质壤土
	最小值	0.25	41.85	12.43	2.34	
	平均值	0.56	69.75	26.20	4.05	
	变异系数	0.83	0.15	0.35	0.40	
50 a 围垦区	最大值	1.77	82.78	52.19	5.76	砂质壤土-粉砂质壤土
	最小值	0.31	42.67	15.05	2.17	
	平均值	0.51	68.69	27.72	3.59	
	变异系数	0.59	0.14	0.31	0.27	

把所有点位的盐度数据用 surfer 12 和 MapGis 6.7 软件制作等值线分布图,土壤类型数据用 MapGis 6.7 软件制作土壤类型分布图(图 3)。



注:比例尺 1 : 50 000

图 3 研究区盐度、土壤类型分布

Fig.3 Distributions of salinity and soil types in the study area

## 2 结果与分析

### 2.1 表层土壤质地随围垦年限的变化规律

根据实验分析数据显示,研究区表层(0~20 cm)土壤中砂粒(2.000~0.020 mm)含量在 41.03%~100.00%,粉粒(0.020~0.002 mm)含量在 1.56%~52.19%,黏粒(<0.002 mm)含量在 1.58%~8.64%,土壤质地类型有砂土、砂质壤土、壤土、粉砂质壤土,其中砂土样点占总样点数的 10.90%,砂质壤土占绝大多数,为 82.73%,壤土和粉砂质壤土分别占 2.73%和 3.64%。可见研究区表层土壤类型以砂质壤土为主,其次为砂土,壤土和粉砂质壤土仅占少数。从图 3a 中可以看出,砂土、砂质壤土主要分布于工作区的东部,壤土和粉砂质壤土主要分布于工作区中西部及西南部。

结合图 2 和图 3a 可以发现,10 a 围垦区以砂土-砂质壤土为主,30 a 围垦区则过渡为砂质壤土-壤土为主,50 a 围垦区则基本以壤土-粉砂质壤土为主。总体上看,土壤质地随着围垦年限的增长基本呈现砂土-砂质壤土-壤土-粉砂质壤土梯级过渡。从表 1 中各粒径组分含量的变异系数值可以看出,随着围垦年限的增

加,各粒径组分含量呈现趋于均一化的趋势。

将 3 个不同围垦年限区域的粒径分别统计平均值,得表 2,随着围垦年限的增加,土壤中 0.020~2.000 mm 砂粒的比重逐渐降低,0.002~0.020 mm 粉粒的比重逐渐增加,而 0.000~0.002 mm 黏粒先增加后小幅降低。这说明随着围垦年限的增加和植物的生长,土壤中中小粒径组分的比重逐渐增大<sup>[8]</sup>。

表 2 不同围垦年限下的土壤不同粒径组分质量分数

Table 2 Contents of different particle fractions under different reclamation years

土壤粒径/mm	不同粒径组分占比/%		
	10 a	30 a	50 a
0.000~0.002	3.27	4.05	3.59
0.002~0.020	18.56	26.20	27.72
0.020~2.000	78.17	69.75	68.69

选取一条典型线路 BT103—BT110 做粒径组分含量变化图(图 4),由图 4 可见,从海岸线向内陆,黏粒、粉粒含量逐渐增大,而砂粒占比逐渐减小,表明土壤平均粒径随着围垦年限的增加而逐渐减小。

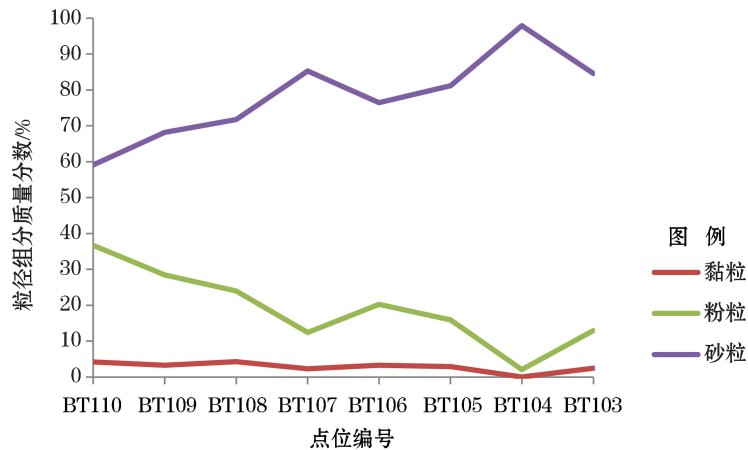


图 4 BT103—BT110 调查线路表层土壤粒径组分质量分数变化

Fig.4 Changes of the particle fraction contents in the surface soil along the surveying line Bt103—Bt110

## 2.2 表层土壤盐度随围垦年限的变化规律

研究区表层土壤盐度在 0.25~21.70,平均值 1.99。从海岸线向内陆方向,随着海水作用强度的递减,研究区表层土壤盐度呈递减趋势。由盐度等值线图(图 3b)可以看出,除个别点位因存在养殖鱼塘而出现高值外,盐度大于 6 以上的高值点均出现在 10 a 围垦区,该区域土壤盐度最高可达 21.70,平均盐度约 3.87。30 a 围垦区的盐度最高值 1.56,平均值 0.56。50 a 围垦区的土壤含盐量多数降至 0.5 以下,最高值 1.77,平均值 0.51(表 1)。且从表 1 中各区盐度的变异系数值可以看出,随着围垦年限的增加,表层土壤盐度趋于均一化。说明从海岸线向内陆,表层土壤盐度逐渐降低并逐步趋于均匀。

仍以表层样调查线路 BT103—BT110 为例,做盐度变化图(图 5),BT103—BT106 位于 10 a 围垦区,其盐度平均值为 5.93,BT107—BT108 位于 30 a 围垦区,盐度平均值为 0.87,BT109—BT110 位于 50 a 以上围垦区,盐度平均值为 0.50。可见,随着围垦年限的增长,研究区表层土壤盐度呈现由海到陆逐渐降低的变化过程。

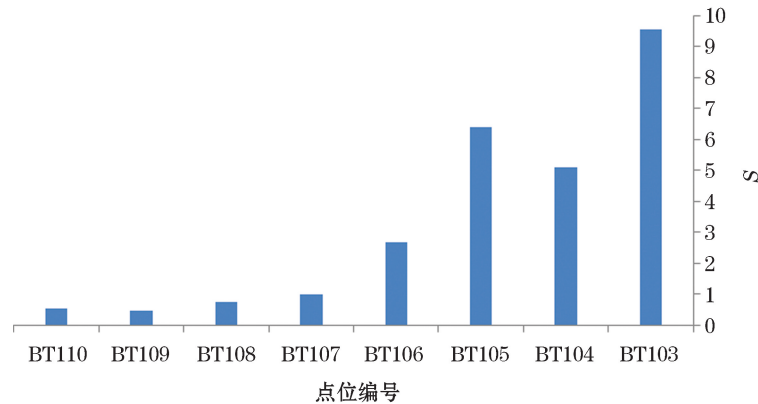


图5 BT71—BT78 表层土壤调查线路含盐量变化

Fig.5 Changes of salinity in the surface soil along the surveying line BT71—BT78

### 3 不同围垦年限表层土壤盐度与质地的关系探讨

把 3 个围垦年限区域对应的盐度平均值及土壤质地分别为因变量,做围垦年限-盐度-土壤质地变化图(图 6)。从总体上看,土壤质地与盐度变化具有一致性趋势,从海岸线到内陆方向上,随着围垦年限的增加,土壤质地呈现砂土→砂质壤土→壤土→粉砂质壤土的变化规律,盐度由高逐渐降低。

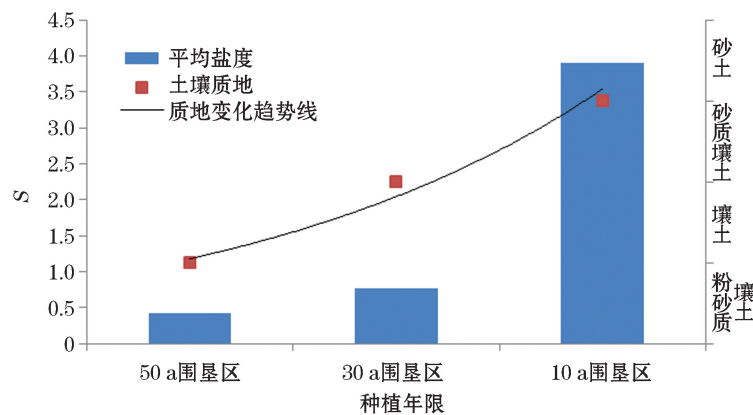


图6 围垦年限-土壤质地-盐度变化

Fig.6 Variations of reclamation years, soil texture and soil salinity

对不同粒径组分的含量数据,以盐度为 X 轴,以不同粒径组分含量为 Y 轴做散点图,并做回归统计<sup>[11-12]</sup>,得图 7,可以看出随着盐度的升高,表层土壤黏粒含量略有变化,粉粒含量减少而砂粒含量增多,两者正好相反。砂粒含量与盐度呈正相关,砂粒含量减少的同时盐度逐渐降低。粉粒含量与盐度呈负相关,其含量增加的同时盐度逐渐降低。黏粒含量与盐度关系最不显著,总体表现为低盐度区域( $<1$ ),黏粒含量增加的同时盐度升高,而高盐度区域变化关系不明显。这是因为黏粒虽然有利于土壤肥力的保持,可另一方面它却一定程度上阻碍了土壤的洗盐速率,当土壤黏粒增加时,土壤孔隙变小,土壤变得黏重,土壤颗粒对盐分离子的吸附作用增强,使得土壤盐分离子不容易随着土壤水分的下渗而向下迁移<sup>[8]</sup>。而这一作用在低盐度区域表现较显著。

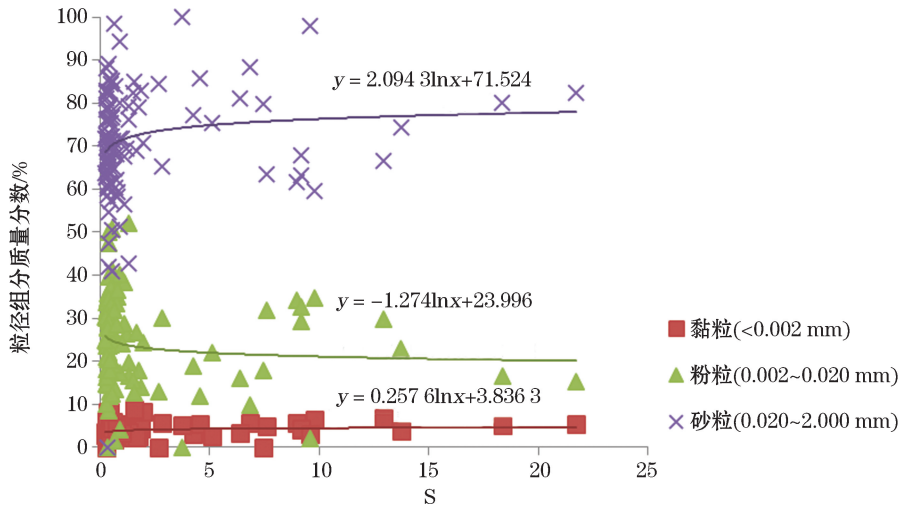


图 7 盐度与各粒径组分含量的相关性分析

Fig.7 Correlation analysis between the salinity and the particle fractions

将不同围垦年限区对应的盐度平均值及土壤各粒径组分质量分数平均值分别为因变量，做围垦年限-盐度-粒径变化图(图 8)，同样可以判断，砂粒含量与盐度同时随着围垦年限的增加而降低，与盐度变化呈相同趋势。这是由于砂质含量高的土壤更易板结，甚至使盐分积聚于表层，从而导致土壤盐度较高<sup>[13]</sup>。粉粒含量随着围垦年限的增加而增长，与盐度变化呈相反趋势。黏粒含量则出现转折，在 30 a 以内围垦区黏粒含量随围垦年限增加而升高，与盐度变化呈相反趋势，说明黏粒对盐分淋洗的阻碍作用力较小，其影响小于土壤盐度受人类活动和作物生长等其它因素的影响<sup>[8]</sup>，因而表现为土壤黏粒含量总体增加的情况下盐度降低。而到了 30 a 以上围垦区则黏粒含量转为与盐度同时略降低。正如前文所述，在围垦年限达到 30 a 以上盐度已基本降到较低水平(<math><1</math>)时，黏粒含量对盐分淋洗的阻碍作用较明显，黏粒含量较高区域盐度往往较高。

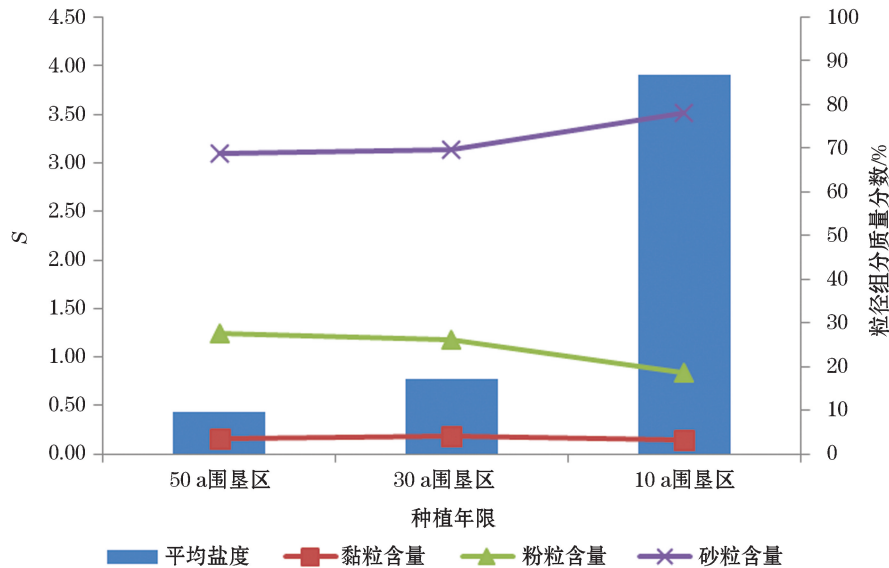


图 8 不同围垦年限围垦区土壤-盐度和不同粒径组分含量的变化

Fig.8 Variations of the soil salinity and the particle fraction contents in the reclamation areas with different reclamation years

## 4 结 语

江苏如东滨海滩涂区域土壤发生演化过程中,表层土壤质地随着围垦年限的增加基本呈现砂土-砂质壤土-壤土-粉砂质壤土梯级过渡,粒度逐渐变细,粒径趋于均一。盐度随着围垦年限的增加呈现由海岸线到内陆逐渐降低的梯级过渡,同时趋于均匀。土壤质地变化趋势与盐度变化趋势具有较好一致性。

如东沿海围垦土地土壤性质演化过程中,其土壤地质的变化与盐度变化虽不是直接因果关系,但其砂粒、粉粒质量分数与盐度变化的相关性较密切,砂粒含量与盐度变化呈正相关,且二者随着围垦年限的增长而同时降低。粉粒含量与盐度变化呈负相关,随着围垦年限的增长而增加。黏粒含量与盐度变化关系较复杂,在围垦年限短的高盐度区域表现为黏粒含量随围垦年限增加而升高,与盐度变化呈相反趋势。而随着围垦年限增加到 30 a 以上时,土壤盐度处于较低水平,此时表现为黏粒含量对盐分淋洗的阻碍作用较强,黏粒含量较高区域往往盐度较高。

## 参考文献 (References):

- [1] WANG X F, TIAN X H, CHEN Z H, et al. Effect of mulching and fertilization on winter wheat field soil moisture in dry highland region of Loess Plateau[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(5): 1105-1111. 王晓峰, 田霄鸿, 陈自惠, 等. 不同覆盖施肥措施对黄土旱塬冬小麦土壤水分的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(5): 1105-1111.
- [2] MA Z L, DAI Y X, CAI H H, et al. The current situation and improvement measures of saline soil in coastal area of Jiangsu Province[J]. *Modern Gardening*, 2015(7): 189-190. 马赞留, 戴云新, 蔡红海, 等. 江苏滨海地区盐碱地现状及改良措施[J]. *现代园艺*, 2015(7): 189-190.
- [3] WAN X, JIANG H, WANG L, et al. Progress of soil amelioration technology in coastal beach in Jiangsu Province[J]. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 2017, 44(5): 43-47. 万欣, 江浩, 王磊, 等. 江苏沿海滩涂土壤改良技术研究进展[J]. *江苏林业科技*, 2017, 44(5): 43-47.
- [4] XU Y, PU L J, ZHANG R S, et al. Cropland quality evolution following coastal reclamation at the prograding tidal flats of Jiangsu Province, China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(11): 2032-2046. 许艳, 濮励杰, 张润森, 等. 江苏沿海滩涂围垦耕地质量演变趋势分析[J]. *地理学报*, 2017, 72(11): 2032-2046.
- [5] WANG Z Q, ZHU S Q, YU R P, et al. Chinese saline soil[M]. Beijing: Science Press, 1993. 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [6] LI L Q. Basic knowledge of saline soil[M]. Beijing: Science Press, 1986. 黎立群. 盐渍土基础知识[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [7] TANG S Y, ZHU S Q, SHAN G Z, et al. The formation and evolution of salt-affected soils in the coastal area of northern Kiangsu[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1978, 15(2): 151-164. 唐淑英, 祝寿泉, 单光宗, 等. 苏北滨海盐渍土的形成和演化[J]. *土壤学报*, 1978, 15(2): 151-164.
- [8] LI P, PU L J, ZHU M, et al. Characteristics of soil profile salt in tidal flats under different reclamation years in Jiangsu Province[J]. *Resources Science*, 2013, 35(4): 764-772. 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.
- [9] YANG X L, ZHANG Q Y, LI X Z, et al. Determination of soil texture by laser diffraction method[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2015, 79(6): 202-210.
- [10] ZHU X T, MI X H, WANG Y P. Comparative study on the two testing methods of soil total salt[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2010 (4): 14-16. 朱晓涛, 米晓辉, 王玉萍. 两种测定土壤全盐量方法的比较[J]. *甘肃农业科技*, 2010 (4): 14-16.
- [11] BROWN P J. Multivariate calibration [J]. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1982, 44(B): 287-321.
- [12] ZONG X P. Probability theory and mathematical statistics[M]. Beijing: China Machine Press, 2006. 宗序平. 概率论与数理统计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [13] LIU Q S, LIU G H, ZHAO J. The indication function of soil type and soil texture and land type to soil salinization levels[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(1): 297-300. 刘庆生, 刘高焕, 赵军. 土壤类型、质地和土地类型对土壤盐渍化水平的指示[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(1): 297-300.



## Evolution of the Nature of the Coastal Saline-Alkali Soil in Northern Jiangsu and Its Enlightenment to the Desalting Law

LOU Jin-hua, HU Jian, GE Yun, CAI Shan, WEI Wen-jie, YANG Tian-le, GU Lin

(*Institute of Geochemical Exploration and Marine Geological Survey, ECE, Nanjing 210007, China*)

**Abstract:** The evolution law of the soil property of the land reclaimed in the coastal area of Rudong County, Jiangsu Province is studied based on the field investigations and the laboratory analyses, and the influence of the changes of the fractions with different grain size on the desalting law is also studied. The results show that with the increase of reclamation years, the soil texture of the land reclaimed in the coastal area of Rudong County become gradually finer and the soil salinity is decreasing gradually. The change trend of the soil texture is consistent with that of the soil salinity. The sand content and the salinity decrease simultaneously and the silt content increases with the increase of reclamation years. The relationship between the clay content and the salinity variation is relatively complex. In the high-salinity coastal areas where the reclamation period is short, the content of clay particles in the soil increases with the increase of the reclamation years, being opposite to the change trend of the salinity. When the soil salinity becomes lower with the increase of reclamation years, however, the content of clay particles has a strong inhibition effect on salt leaching so that the soil salinity tends to be higher in the areas with higher clay content.

**Key words:** Rudong County of Jiangsu Province; reclamation years; soil texture; grain size, salinity

**Received:** January 12, 2018