

围垦后不同土地利用方式对长江口滩地 土壤粒径分布的影响

周学峰¹, 赵 睿¹, 李媛媛^{1,2,*}, 陈小勇^{1,2}

(1. 华东师范大学环境科学系 上海 200062; 2. 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室 上海 200062)

摘要: 土壤粒径分布影响土壤水分、肥力等传输与保持, 是土壤的重要物理性质。崇明东滩滩地围垦后, 表层 0 ~ 20cm 及 20 ~ 40cm 土层土壤粒径分布受土地利用方式和利用年限的显著影响。不同土地利用方式下, 土壤平均粒径为高潮滩 < 稻田 < 菜地 < 林地。不同围垦年限下, 土地利用 15a 间土壤平均粒径逐渐增加, 但土地利用年限延长至 38a 时, 平均粒径显著降低。不同土地利用方式下土壤水分、植被覆盖和受风蚀程度, 以及不同土地利用年限下土壤有机质含量与受风蚀影响程度, 改变了粘粒和细粉粒等土壤细颗粒的含量, 引起土壤粒径分布的差异。

关键词: 崇明东滩; 围垦; 土地利用方式; 土壤粒径分布

文章编号: 1000-0933(2009)10-5544-08 中图分类号: Q142, S15 文献标识码: A

Effects of land use types on particle size distribution of reclaimed alluvial soils of the Yangtze Estuary

ZHOU Xue-Feng¹, ZHAO Rui¹, LI Yuan-Yuan^{1,2,*}, CHEN Xiao-Yong^{1,2}

¹ Department of Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China

² Shanghai Key Laboratory for Ecological Processes and Restoration, Shanghai 200062, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5544 ~ 5551.

Abstract: Reclamation is a very common disturbance to the alluvial lands of estuaries. In China, the reclaimed alluvial lands are generally used for agricultural or industrial purposes. However, the physical and chemical properties of these reclaimed lands had been rarely studied. Particle size distribution (PSD) has been proven to be a useful indicator of land use. In the present study, we tried to clarify the changes of PSD under different land use types and durations. East End of Chongming Island at the Yangtze Estuary, the largest alluvial island in the world, which has a chronosequence of reclaimed lands, provides a good and special case to study the changes of PSD after reclamation. Three long-term land use types, i. e. paddy field, vegetable field and woodland, were involved. Soil samples of different land use types and different durations were collected. The soil particle size distribution was determined by using a Beckman-Coulter LS 13320 laser particle size analyzer, and the particle size fractions were performed. The changes of particle size fractions (i. e., > 63 μm , 63 – 32 μm , 32 – 16 μm , 16 – 4 μm , and < 4 μm representing sand-, coarse silt-, medium silt-, fine silt-, and clay-sized fractions, respectively) were analyzed. An order of magnitude was revealed in the terms of the soil mean particle size: tidal flat < paddy field < vegetable field < woodland. Moreover, compared to the tidal flat, fractions of the fine particle size of the other three land use types were significantly decreased, probably due to the wind erosions (anova, post hoc). Soils of vegetable fields and woodlands were more susceptible to wind erosion than the paddy field owing to their dryness and bareness. On the other hand, the mean particle size increased significantly during the soil development for the first 15 years

基金项目: 国家“十一五”林业科技支撑计划资助项目(2006BAD03A15); 上海市科学技术委员会重大资助项目(07DZ12038); 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室开放基金资助项目

收稿日期: 2008-06-14; 修订日期: 2009-03-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yyli@des.ecnu.edu.cn

after reclamation (one-way anova), result from the severe wind erosion while soil organic matters increased during this period. However, at the duration of 38 years, particle sizes decreased again, due to the accumulation of organic matters and the improved forest coverage on those fields. Significant changes were found in the soils with the depth of 0—40 cm, with no distinguishable changes were observed below 40cm, reflecting the impacts of wind erosions and cultivations. Our results show that the distinct changes in soil particle size distribution can occur after reclamation, which sheds light on differential impacts of land uses on soil properties.

Key Words: Chongming Island; reclamation; land-use types; particle size distribution (PSD)

由河流携带泥沙沉积形成的滩地是陆地和水域的生态过渡带,维持着丰富的生物多样性,同时也是河流泥沙、污染物质的截纳、净化系统。然而,由于人类开发压力的不断增大,对滩地的围垦已成为农牧业、建设用地等新增用地的主要来源^[1]。围垦是对滩地影响最严重的人为干扰,围垦后改变了土地利用方式,产生不同的土地覆盖类型,使湿地生态系统逐渐向陆地生态系统演替,生态系统结构、生态过程以及生态系统服务功能发生根本性变化^[2,3]。

围垦后进行农林开发是常见的土地利用方式之一,在逐渐向农业土壤发育的过程中,土壤理化性质发生显著改变,并且人类活动的影响也加速了土壤性质的这种改变。已有研究表明,河口滩地围垦后土壤电导率和交换性钠含量迅速下降,pH 值和碳酸盐含量也显著下降^[4],而连年的耕作施肥不仅使土壤总磷和有机碳含量显著增加^[4],而且进一步加剧了土壤有机质表层与下层的含量差异^[5]。围垦后利用 100~260a 后,土地利用导致土壤沉积结构逐渐模糊,土壤结构体发生变化,土壤孔隙度同时增加^[5]。粒径是土壤的重要物理性质,影响着土壤强度以及水力性质、养分状况、土壤侵蚀以及热量的传输和保持等^[6,7]。土壤粒径分布 (particle size distribution, PSD) 是由各种成土因素和成土过程相互作用所决定^[8],是不同利用格局对土壤性质影响的指示指标^[3]。一般来讲,土壤粒径分布在短时期内变化甚微^[9],然而由于不同的土地利用方式会改变土壤粒径分布^[10],因而随着不同利用时间的增加,不同土地利用格局间土壤粒径分布可能会发生分化,特别是当原有性质发生剧变时,差异可能会尤为明显。围垦显著地改变了土壤的重要特征,特别是水分性质,然而在这种剧变情况下,土壤粒径分布可能发生的变化规律尚不清楚。

崇明位于长江入海口,它是由长江携带的泥沙沉积形成,是长江口最大的河口冲积岛。崇明东滩位于崇明岛最东端,是近百年来淤涨形成的新生滩地。近半个世纪以来,通过几次大规模的滩涂围垦,形成了 3 个不同时期的围垦区域。在这些围垦区域存在相似的土地利用方式,为本项研究提供了很好的研究体系。本文研究崇明东滩围垦后不同土地利用方式对滩地土壤粒径影响以及时间动态,分析影响土壤粒径变化的主要因素,为围垦后滩地土壤发育以及科学利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究地点

研究地点位于崇明东滩(东经 121°50′~122°05′,北纬 31°25′~31°38′),这里是长江口新生的滩地,然而,由于水利工程的建设、工农业生产及生活用水的增加和水土保持工程的进行,来沙量不断减小,尤其随着 2003 年三峡大坝开始蓄水,使得长江河口泥沙量减少了 2/3^[11],从而湿地淤张速率也减缓。崇明东滩属于亚热带季风气候,夏季盛行东南风,冬季盛行偏北风,而且台风、暴雨是该地区常见的灾害性气候。受长江径流和外海非正规浅海半日潮流的影响,目前崇明东滩主要的潮滩植物由海向陆分别为海三棱藨草、互花米草和芦苇。

本文的研究地位于崇明东滩的 69 垦区(1969 年全部完成)、92 垦区(1992 年全部完成)、98 垦区(1998 年全部完成)、98 大堤外高潮滩(图 1),至 2007 年采样时,围垦后的利用时间分别为 38、15a 和 9a。选择 3 种常见的土地利用方式:稻田、菜地和林地。经向管理部门——上海实业投资公司确认稳定的用地类型及其分布,从而确定 3 种土地利用类型的具体采样地点(图 1)。

1.2 土壤样品的采集

采样时间为 2007 年 3 月 29 日至 2007 年 4 月 1 日,采样前后天气晴朗,无降雨。分别在 69 垦区、92 垦区和 98 垦区内选取稻田、林地和菜地 3 种利用类型采集土样,并选择高潮滩作为围垦的起始点,每种土样随机选取 4 个分散于围垦区域的平行样点,以保证研究样点的代表性。总共选取 40 个样点采集土样并用 GPS 精确定位(图 1)。

每个样点去掉表层,挖 1m 深土壤剖面,按照深度 0~20cm、20~40cm、40~60cm、60~80cm、80~100cm 分为 5 层,在每层中部分别取 1kg 土样带回实验室,自然风干备用。

1.3 土壤粒径分析

土壤中有有机质可使矿物颗粒胶结,且这种胶结作用对粘土颗粒尤为突出,碳酸盐可使土壤小颗粒聚合,所以粒径测试前需要通过前处理去除有机质和碳酸盐^[12]。由于酸性会增加颗粒凝聚的机会^[13],且碳酸盐较多的土壤中钙离子会干扰过氧化氢对有机物的去除^[12],因此参照 Murray^[12]的方法,先添加 10% 盐酸去除碳酸盐,7000r/min 离心、清洗 3 次,再加入 30% 过氧化氢去除样品中的有机质,最后加入 0.05 mol/L 的六偏磷酸钠溶液(NaPO_3)。作为分散剂分散。利用超声波振荡仪振荡 10min 后,采用 LS 13320 激光衍射粒径分析仪(美国 BECKMAN COULTER 公司生产)分析土壤粒径大小。

1.4 数据处理

分析的土壤粒径分布范围为 0.04~400 μm ,激光粒度仪提供的是连续的体积百分比—粒径数据。土壤颗粒的粒级类型参照《海洋调查规范》^[14]等比制(Φ 标准)粒级分类方法划分为 5 级:砂粒(>63 μm)、粗粉砂(63~32 μm)、中粉砂(32~16 μm)、细粉砂(16~4 μm)以及粘粒(<4 μm)。采用平均粒径(d_m)以及粒径频率分布曲线上累积百分含量分别为 10%、25%、50%、75% 和 90% 的 5 个粒径值 $d_{0.1}$ 、 $d_{0.25}$ 、 $d_{0.5}$ 、 $d_{0.75}$ 和 $d_{0.9}$ 反映样本中粒径分布的总体趋势。

利用 SPSS11.5 统计软件对结果进行多因素方差分析来检验围垦年限、土地利用方式以及土层深度对土壤粒径分布影响的显著性。并利用 LSD(最小显著差数)法检验同一因素下各水平间差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 粒径频率分布基本特征

研究区域土壤粒径频率分布曲线基本上呈单峰型正态分布(图 2)。该区域土壤粒径较小,各样本平均粒径的均值为 31.528 μm (范围为 7.893~95.139 μm),最大粒径的平均值为 254.251 μm (范围为 83.891~373.13 μm),众数均值为 40.081 μm (范围为 5.878~40.081 μm);3 个参数的变异系数分别为 46.0%、31.3% 和 57.7%,相对其他地点土壤而言,变异系数不大。土壤颗粒以粉砂为主,其次为粘粒。

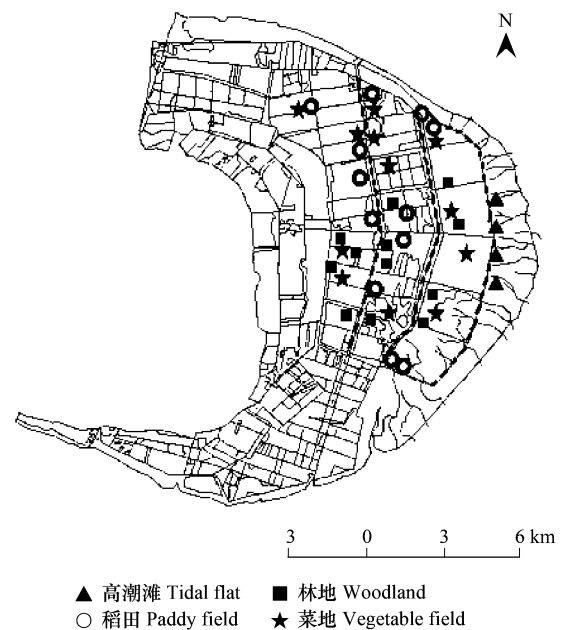


图 1 崇明东滩土壤采样点

Fig. 1 Soil sampling sites in Dongtan of Chongming Island

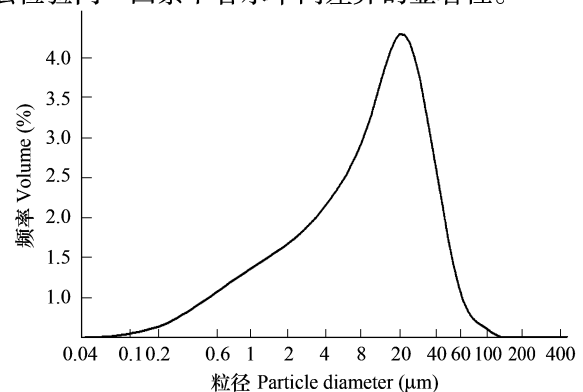


图 2 土壤粒径频率分布曲线

Fig. 2 Particle-size distribution of one of the 200 samples

2.2 围垦后土地利用方式对粒径分布特征的影响

崇明围垦滩地土壤平均粒径的方差分析表明,土地利用方式、围垦利用年限对土壤粒径分布有显著影响,另外围垦年限和土地利用方式之间存在显著的交互作用(表 1)。土层深度对平均粒径的影响不显著,这主要是因为研究地点为长江口泥沙沉积形成的,深度仅为 1m,土壤粒径分布在垂直剖面上比较均一,基本上没有层次之分。鉴于这种情况,下面主要阐述土地利用方式和利用时间对围垦土壤粒径分布的影响。

表 1 土壤平均粒径的多因素方差分析
Table 1 Multivariate analysis of variance of the mean particle size

来源 Source	自由度 df	均方 Mean square	F	显著性 Significance
土地利用方式 Land-use types	2	1197.412	7.405	0.001
土层深度 Soil depths	4	305.372	1.888	0.115
围垦年限 Reclaimed years	2	1403.466	8.679	0.000
围垦年限×土地利用方式 Reclaimed years × Land-use types	4	643.581	3.980	0.004
围垦年限×土层深度 Reclaimed years × Soil depths	8	96.107	0.594	0.781
土地利用方式×土层深度 Land-use types × Soil depths	8	261.528	1.617	0.124
围垦年限×土地利用方式×土层深度 Reclaimed years × Land-use types × Soil depths	16	92.377	0.571	0.901
误差 Error	150	161.714		

不同的土地利用方式显著改变围垦土壤的粒径(表 2)。 $d_{0.1}$ 、 $d_{0.25}$ 、 $d_{0.5}$ 、 $d_{0.75}$ 、 $d_{0.9}$ 和 d_m 6 个表征土壤粒径分布特征的参数均显示土壤颗粒大小呈现如下趋势:高潮滩<稻田<菜地<林地。对于平均粒径而言,高潮滩显著小于稻田、菜地和林地,稻田显著小于菜地和林地,而菜地和林地之间的差异不显著(表 2)。其他 5 个参数中,高潮滩与稻田的差异不显著,但一般显著小于菜地和林地;稻田的 5 个参数值均显著小于林地($p < 0.05$),但部分参数与菜地的差异不显著(表 2);而菜地和林地之间差异不显著。

随着围垦利用年限的增加,反映土壤粒径分布特征的 6 个参数也都呈现先增加后降低的现象。在土地利用 15a 的 92 垦区,土壤颗粒大小达到最大值(表 2)。围垦利用 9a 和 15a 的土壤中,反映土壤粒径特征的 6 个参数均显著高于高潮滩。在已利用 38a 的 69 垦区,土壤颗粒又相对 92 垦区、98 垦区显著减小;土壤粒径 5 个参数(d_m 、 $d_{0.25}$ 、 $d_{0.5}$ 、 $d_{0.75}$ 、 $d_{0.9}$)与高潮滩没有显著差异(表 2)。

表 2 不同土地利用方式和年限的围垦滩地上土壤主要粒径参数(μm)

Table 2 Main parameters of particle size of reclaimed alluvial soils with different land-use types and durations

项目 Item		d_m	$d_{0.5}$	$d_{0.1}$	$d_{0.25}$	$d_{0.75}$	$d_{0.90}$
土地利用方式 高潮滩 Tidal flat		21.02 ± 3.57a	17.62 ± 3.78a	1.46 ± 0.29a	6.25 ± 1.88a	30.35 ± 4.77a	44.10 ± 5.97a
Land-use types 稻田 Paddy field		27.89 ± 11.51b	22.41 ± 9.22ab	1.78 ± 0.61a	7.97 ± 3.82ab	39.92 ± 17.79ab	59.28 ± 27.75a
菜地 Vegetable field		33.48 ± 13.66c	26.78 ± 11.90bc	2.10 ± 0.82b	9.77 ± 5.00bc	47.91 ± 20.37bc	73.20 ± 31.16b
林地 Woodland		36.72 ± 17.50c	30.20 ± 17.33c	2.24 ± 0.86b	10.65 ± 5.36c	53.32 ± 28.18c	79.28 ± 38.70b
围垦年限(a) 0		21.02 ± 3.57a	17.62 ± 3.78a	1.46 ± 0.29a	6.25 ± 1.88a	30.35 ± 4.77a	44.10 ± 5.97a
Reclaimed years 9		33.79 ± 16.44b	26.81 ± 15.69bc	2.02 ± 0.87bc	9.42 ± 5.47bc	48.64 ± 25.99b	74.59 ± 37.60b
15		36.89 ± 16.39b	30.12 ± 14.67c	2.26 ± 0.78c	10.81 ± 4.78c	53.69 ± 26.01b	79.89 ± 37.60b
38		27.41 ± 8.92a	22.46 ± 8.16ab	1.84 ± 0.68b	8.17 ± 3.97ab	38.82 ± 12.22a	57.28 ± 18.45a

每组同一列中不同字母表示平均值在 $p < 0.05$ 水平下有显著差异(lsd) Means with different letters within a variable in the same row indicate significant differences at $p < 0.05$ in every group(lsd),下同 the same below

2.3 土地利用方式对土壤颗粒组成的影响

在 0~20cm、20~40cm、40~60cm、60~80cm、80~100cm 5 个土层,分别对土壤颗粒中砂粒($> 63\mu\text{m}$)、粗粉砂(32~63 μm)、中粉砂(16~32 μm)、细粉砂(4~16 μm)以及粘粒($< 4\mu\text{m}$) 5 个粒级不同土地利用方式

下的组分含量进行差异显著性分析(表3)。结果表明土地利用方式对浅层土壤(0~40cm)颗粒组成具有显著影响,而对深层土壤的影响不显著。其中0~20cm 土层小粒径组分(粘粒、细粉砂)含量差异明显,高潮滩>稻田>菜地>林地,仅菜地和林地间的差异不显著;而大粒径的砂组分(>63 μm)含量则成相反的趋势(表3),高潮滩和稻田间以及菜地和林地间的差异不显著,其余差异均达到了显著程度(表3)。20~40cm 土层粒径分布有类似趋势,但变化不如表层明显,高潮滩、稻田与菜地和林地之间在粘粒、细粉砂和砂的组分含量存在显著差异(表3)。中粉砂和粗粉砂尽管也存在一定的变化趋势,但是差异未达到显著程度。

表3 不同利用方式土地土壤主要粒级组分含量(%)变化

Table 3 Particle size distribution (%) of the reclaimed alluvial soils with different land-use types

土层深度(cm) Soil depths	土地利用方式 Land-use types	砂 Sand (>63 μm)	粗粉砂 Coarse silt (63 ~ 32 μm)	中粉砂 Medium silt (32 ~ 16 μm)	细粉砂 Fine silt (16 ~ 4 μm)	粘粒 Clay (<4 μm)
0 ~ 20	高潮滩 Tidal flat	1.53 $\pm$ 0.72a	11.95 $\pm$ 3.55	25.95 $\pm$ 2.38	33.95 $\pm$ 3.48a	26.63 $\pm$ 3.17a
	稻田 Paddy field	9.91 $\pm$ 7.58a	23.36 $\pm$ 7.56	23.08 $\pm$ 4.43	23.40 $\pm$ 6.21b	20.26 $\pm$ 5.70b
	菜地 Vegetable field	21.73 $\pm$ 13.55b	25.20 $\pm$ 5.12	19.78 $\pm$ 5.22	18.03 $\pm$ 6.05c	15.27 $\pm$ 5.00c
	林地 Woodland	25.42 $\pm$ 14.97b	24.28 $\pm$ 6.37	19.20 $\pm$ 5.87	16.93 $\pm$ 5.12c	14.17 $\pm$ 3.96c
	<i>p</i>	0.004	0.768	0.128	0.011	0.006
20 ~ 40	高潮滩	2.60 $\pm$ 1.11a	18.05 $\pm$ 3.18	31.08 $\pm$ 2.28	27.53 $\pm$ 2.80a	20.75 $\pm$ 2.43ab
	稻田	8.26 $\pm$ 8.17a	21.13 $\pm$ 10.26	22.87 $\pm$ 4.78	25.33 $\pm$ 8.83a	22.42 $\pm$ 9.44a
	菜地	21.09 $\pm$ 12.63b	25.87 $\pm$ 7.28	19.33 $\pm$ 5.468	18.26 $\pm$ 6.91b	15.45 $\pm$ 5.78b
	林地	21.61 $\pm$ 14.29b	24.82 $\pm$ 6.42	21.56 $\pm$ 6.96	17.75 $\pm$ 4.57b	14.27 $\pm$ 3.25b
	<i>p</i>	0.007	0.287	0.290	0.008	0.004
40 ~ 60	高潮滩	3.30 $\pm$ 0.78	20.33 $\pm$ 2.32	30.80 $\pm$ 1.42	25.63 $\pm$ 1.95	19.95 $\pm$ 1.78
	稻田	8.26 $\pm$ 10.59	25.93 $\pm$ 8.77	25.86 $\pm$ 5.31	21.52 $\pm$ 7.05	18.43 $\pm$ 7.03
	菜地	15.54 $\pm$ 12.56	28.25 $\pm$ 5.27	22.93 $\pm$ 5.97	18.11 $\pm$ 5.00	15.17 $\pm$ 4.20
	林地	14.57 $\pm$ 17.53	23.75 $\pm$ 9.87	22.98 $\pm$ 7.06	21.11 $\pm$ 7.91	17.60 $\pm$ 6.64
	<i>p</i>	0.366	0.387	0.388	0.407	0.377
60 ~ 80	高潮滩	4.58 $\pm$ 1.05	22.25 $\pm$ 2.11	31.00 $\pm$ 2.76	24.28 $\pm$ 1.84	17.90 $\pm$ 1.56
	稻田	8.48 $\pm$ 12.07	24.77 $\pm$ 6.33	27.08 $\pm$ 6.18	21.69 $\pm$ 4.64	17.975 $\pm$ 4.27
	菜地	8.59 $\pm$ 9.31	22.38 $\pm$ 7.75	24.25 $\pm$ 4.76	24.26 $\pm$ 7.31	20.53 $\pm$ 7.80
	林地	13.36 $\pm$ 15.06	23.97 $\pm$ 6.34	23.79 $\pm$ 6.80	21.24 $\pm$ 7.44	17.64 $\pm$ 5.98
	<i>p</i>	0.505	0.645	0.349	0.404	0.387
80 ~ 100	高潮滩	4.35 $\pm$ 1.39	25.50 $\pm$ 1.90	31.53 $\pm$ 2.72	22.15 $\pm$ 1.00	16.48 $\pm$ 1.01
	稻田	7.77 $\pm$ 9.43	26.28 $\pm$ 7.80	26.93 $\pm$ 4.67	21.13 $\pm$ 5.99	17.91 $\pm$ 6.15
	菜地	7.08 $\pm$ 5.42	21.64 $\pm$ 9.33	23.81 $\pm$ 4.22	25.24 $\pm$ 7.54	22.23 $\pm$ 8.40
	林地	10.69 $\pm$ 12.07	23.72 $\pm$ 6.56	24.84 $\pm$ 5.79	22.62 $\pm$ 6.48	18.13 $\pm$ 4.50
	<i>p</i>	0.549	0.379	0.293	0.288	0.187

每组同一列中不同字母表示平均值在 $p < 0.05$ 水平下有显著差异(lsd) Means with different letters within a variable in the same row indicate significant differences at $p < 0.05$ in every group(lsd)

2.4 土地利用年限对土壤颗粒组成的影响

围垦后土地利用年限对土壤颗粒组成的影响也主要体现在0~40cm之间,对深层土壤没有显著影响(表4)。随着围垦利用年限的增加,土壤颗粒从高潮滩到98垦区、92垦区显著粗化,细颗粒比例减少,粗颗粒比例增大。0~40cm土层中,粒径小于32 μm 的粘粒、细粉砂和中粉砂组分含量从高潮滩到98垦区、92围垦区显著下降,再到69围垦区则显著上升;反之,粒径大于63 μm 的砂粒组分含量从高潮滩到98垦区、92围垦区再到69围垦区呈显著先上升后下降的变化趋势(表4)。

3 讨论

土壤粒径分布因影响土壤水力特性、肥力状况及土壤侵蚀等,是重要的土壤物理特性之一^[15]。滩地围垦

后不同土地利用方式和利用年限显著改变了土壤的粒径分布特征。从土地利用方式来看,平均粒径大小为高潮滩 < 稻田 < 菜地 < 林地;从利用年限来看,平均粒径呈现先增加,后降低的趋势;从影响层次来看,仅在 0 ~ 40cm 土层存在显著变化,而深层则基本上不受影响。这些变化规律和趋势是不同土地利用方式对土壤性质改变程度不同的结果。

表 4 不同年限围垦区土壤主要粒级组分含量变化 (%)

Table 4 Particle size distribution (%) of the reclaimed alluvial soils with different durations of land-use types

土层深度 (cm) Soil depths	围垦年限 (a) Reclaimed years	砂 Sand (>63 μ m)	粗粉砂 Coarse silt (63 ~ 32 μ m)	中粉 Medium silt (32 ~ 16 μ m)	细粉砂 Fine silt (16 ~ 4 μ m)	粘粒 Clay (<4 μ m)
0 ~ 20	0	1.53 $\pm$ 0.72a	11.95 $\pm$ 3.55	25.95 $\pm$ 2.38a	33.95 $\pm$ 3.48a	26.63 $\pm$ 3.17
	9	23.07 $\pm$ 17.94b	22.85 $\pm$ 8.41	18.74 $\pm$ 6.26b	19.00 $\pm$ 7.59bc	16.34 $\pm$ 6.79
	15	22.88 $\pm$ 9.60b	26.43 $\pm$ 3.30	19.57 $\pm$ 4.06b	16.68 $\pm$ 3.32c	14.44 $\pm$ 2.98
	38	11.11 $\pm$ 9.57a	23.57 $\pm$ 6.03	23.74 $\pm$ 4.43a	22.68 $\pm$ 6.24b	18.91 $\pm$ 5.49
	<i>p</i>	0.016	0.338	0.039	0.029	0.069
20 ~ 40	0	2.60 $\pm$ 1.11a	18.05 $\pm$ 3.18	31.08 $\pm$ 2.28	27.53 $\pm$ 2.80a	20.75 $\pm$ 2.43
	9	17.70 $\pm$ 13.65bc	20.69 $\pm$ 10.24	19.21 $\pm$ 5.67	22.63 $\pm$ 9.73a	19.77 $\pm$ 10.17
	15	22.78 $\pm$ 14.15c	26.48 $\pm$ 5.51	20.15 $\pm$ 6.26	16.62 $\pm$ 4.02b	13.97 $\pm$ 3.06
	38	10.48 $\pm$ 9.23ab	24.64 $\pm$ 7.67	24.40 $\pm$ 4.48	22.08 $\pm$ 7.11a	18.40 $\pm$ 6.53
	<i>p</i>	0.030	0.176	0.060	0.042	0.055
40 ~ 60	0	3.30 $\pm$ 0.78	20.33 $\pm$ 2.32	30.80 $\pm$ 1.42	25.63 $\pm$ 1.95	19.95 $\pm$ 1.78
	9	14.18 $\pm$ 12.32	26.15 $\pm$ 9.18	21.71 $\pm$ 5.49	20.35 $\pm$ 8.11	17.62 $\pm$ 7.52
	15	15.02 $\pm$ 18.64	25.26 $\pm$ 9.11	23.58 $\pm$ 7.31	19.52 $\pm$ 6.64	16.63 $\pm$ 6.19
	38	9.18 $\pm$ 9.51	26.53 $\pm$ 6.71	26.48 $\pm$ 4.85	20.87 $\pm$ 5.82	16.95 $\pm$ 4.69
	<i>p</i>	0.523	0.922	0.151	0.884	0.916
60 ~ 80	0	4.58 $\pm$ 1.05	22.25 $\pm$ 2.11	31.00 $\pm$ 2.76	24.28 $\pm$ 1.84	17.90 $\pm$ 1.56
	9	11.38 $\pm$ 12.75	24.37 $\pm$ 6.48	23.48 $\pm$ 6.11	22.13 $\pm$ 7.15	18.65 $\pm$ 6.04
	15	12.71 $\pm$ 16.37	21.93 $\pm$ 7.57	23.85 $\pm$ 7.39	22.53 $\pm$ 7.98	18.98 $\pm$ 8.03
	38	6.35 $\pm$ 4.60	24.81 $\pm$ 6.25	27.79 $\pm$ 3.10	22.54 $\pm$ 4.59	18.51 $\pm$ 4.40
	<i>p</i>	0.374	0.495	0.159	0.981	0.977
80 ~ 100	0	4.35 $\pm$ 1.39	25.50 $\pm$ 1.90	31.53 $\pm$ 2.72	22.15 $\pm$ 1.00	16.48 $\pm$ 1.01
	9	8.25 $\pm$ 7.04	22.51 $\pm$ 8.24	24.40 $\pm$ 4.76	24.31 $\pm$ 6.57	20.53 $\pm$ 6.39
	15	12.39 $\pm$ 13.37	25.77 $\pm$ 8.64	23.93 $\pm$ 6.31	20.31 $\pm$ 7.61	17.60 $\pm$ 8.00
	38	4.90 $\pm$ 3.61	23.36 $\pm$ 7.35	27.24 $\pm$ 3.03	24.37 $\pm$ 5.59	20.13 $\pm$ 5.57
	<i>p</i>	0.113	0.593	0.214	0.215	0.476

影响土壤粒径分布特征的主要因素包括水蚀、风蚀以及其他成土因素^[15,16]。与红树林区一样^[17],潮滩土壤以细颗粒为主。崇明东滩地处长江入海口,风速较大,土壤易受风蚀影响,大量粘粒和细粉砂、中粉砂易被吹蚀带走,土壤细颗粒物质容易损失^[18]。土壤水分、土地覆盖均是风蚀程度的主要影响因素,干旱或者裸露土壤更易受到风蚀的影响^[19]。高潮滩受周期性潮水的影响,土壤含水量很高;稻田也维持长达半年的水淹;菜地在较早时期也有一定的人为水分补充;而林地的水分则只有降水这一途径的水分补充,并且地势往往相对较高。同期测定的土壤含水量在不同土地利用方式间的变化趋势,正好与以上土壤平均粒径的变化趋势相反。因此,林地受风蚀影响较大,土壤中较大粒径的颗粒易残留,加之林地树木稀疏,林下枯枝落叶等有机物质覆盖较少,大量土地长期裸露,受风蚀影响更大。菜地中大部分有机物质被人为收获,土壤表层腐殖质积累不多,且其植被覆盖时间相对较短,土壤也易受到风蚀。林地、菜地易受风蚀影响与我国农牧交错带的观察到的现象类似^[20]。另外,人类耕作对土壤的物理扰动和破碎,更加剧了土壤风蚀程度^[21]。这在土壤粒径变化的层次性也可以得到反映,粒径变化基本上发生在浅层的耕作层,深层(>40cm)的土壤粒径没有显著变化(表 4)。

利用年限对土壤粒径特征的影响与土地利用中有机质的输入和风蚀的综合影响有关。围垦后,潮滩沉积物在自然成土和耕作成土的综合作用下逐渐向农业土壤转化,土壤粒径分布也发生着显著的变化。研究表明,随着围垦年限的增加,在 0~30cm 土层中土壤有机质的含量不断增加^[4]。同样,在本研究区域,从高潮滩到 92 垦区再到 69 垦区,经过了长达 38a 的农业耕作,由于作物残体、分泌物以及自然凋落物覆盖在土壤表层形成腐殖质并富集,再加上有机肥料的施用,使得土壤表层有机质含量逐年积累和增加。但是,与高潮滩相比,92 垦区耕作了 15a 之后,虽然有机质有所增加,0~40cm 土层中 <32 μm 的土壤颗粒组分含量却下降 40% 左右。这主要是由于强烈风蚀引起粘粒和细粉砂、中粉砂组分的流失所导致的;且 98 垦区和 92 垦区位于外围,防护林体系尚未建立或不够完善。然而,在 69 垦区,不仅有较完善的防护林,受风蚀的影响较小,其 <32 μm 的小颗粒组分含量较 92 垦区有 30% 左右的显著上升。另外,由于土壤肥力大大增强,69 垦区的植被长势也较其他垦区更好,所以同时能截留较多被风吹蚀而来的细颗粒物^[21]。

尽管土层深度对土壤粒径特征没有显著影响,但是不同土地利用方式和利用年限对不同土层的土壤颗粒的影响还是有显著差异的。土地利用方式和年限对土壤粒径特征的影响主要发生在浅层(0~40cm),也反映了人类活动干扰和风蚀影响的土层深度。崇明东滩滩地围垦后以农业利用为主,主要是种植水稻、蔬菜以及水产养殖,人类活动的影响集中在耕作层。而风蚀的影响也主要集中在土壤表层,这些在其他许多研究中都已得到证实^[22~24]。

不同土地利用方式对土壤粒径分布的影响表明稻田这类人工湿地的土壤粒径变化较小,存在较好防护的后期阶段土壤性质也较佳,因此,在对滩地围垦后早期阶段应尽量维持湿地性质,特别是作为水鸟重要栖息地的崇明东滩,水产养殖、稻田为主的土地利用方式一方面不容易受风蚀影响,降低土壤细颗粒的丧失;另一方面也可以为水鸟提供丰富的食物和栖息地,维持一定的鸟种类和数量^[25]。

4 结论

(1) 崇明东滩滩地围垦后不同土地利用方式下土壤粒径分布存在显著差异,表现为土壤平均粒径高潮滩 < 稻田 < 菜地 < 林地。菜地和林地的土壤含水量较小,以及受风蚀影响较大导致土壤小颗粒物流失。

(2) 围垦的不同年限对土壤粒径分布也有显著影响,表现为利用 15a 的土壤粒径最大,利用 9a 的其次,又大于利用 38a 和高潮滩的粒径。长期耕作使土壤有机质增加,从而土壤粒径细化;围垦年限 9a 和 15a 的土壤受风蚀引起粘粒和细粉砂、中粉砂组分的流失所致。

(3) 总体上,ANOVA 分析表明土层深度对土壤粒径特征没有显著影响,但不同土地利用方式和年限对浅层(0~40cm)土壤粒径特征存在显著影响,反映了人类活动干扰和风蚀主要影响上层土壤的粒度特征。

References:

- [1] Chen J Y. To exploiting lower tidal flats for expending living space of China. *Engineering Science*, 2000, 2(3): 27–31.
- [2] Zhao B, Kreuter U, Li B, *et al.* An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China. *Land Use Policy*, 2004, 21: 139–148.
- [3] Wang Z, Zhang B, Zhang S, *et al.* Changes of land use and of ecosystem service values in Sanjiang Plain, Northeast China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, 112: 69–91.
- [4] Iost S, Landgraf D, Makeschin F. Chemical soil properties of reclaimed marsh soil from Zhejiang Province P. R. China. *Geoderma*, 2007, 142: 245–250.
- [5] Ellis S, Atherton J K. Properties and development of soils on reclaimed alluvial sediments of the Humber estuary, eastern England. *CATENA*, 2003, 52: 129–147.
- [6] Wang D, Fu B J, Chen L D, *et al.* Fractal analysis on soil particle size distributions under different land-use types: a case study in the loess hilly areas of the Loess Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27: 3081–3089.
- [7] Wang H J, Li X W, Shi X Z, *et al.* Distribution of soil nutrient under different land use and relationship between soil nutrient and soil granule composition. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(2): 44–50.
- [8] Miranda J G V, Montero E, Alves M C, *et al.* Multifractal characterization of saprolite particle-size distributions after topsoil removal. *Geoderma*,

- 2006, 134: 373—385.
- [9] Brye K R. Long-term effects of cultivation on particle size and water-retention characteristics determined using wetting curves. *Soil Science*, 2003, 168: 459—468.
- [10] Wang D, Fu B J, Zhao W W, *et al.* Multifractal characteristics of soil particle size distribution under different land-use types on the Loess Plateau, China. *CATENA*, 2008, 72: 29—36.
- [11] Yang S L, Zhang J, Xu X J. Influence of the Three Gorges Dam on downstream delivery of sediment and its environmental implications, Yangtze River. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34: L10401, doi:10.1029/2007GL029472.
- [12] Murray M R. Is laser particle size determination possible for carbonate-rich lake sediments? *Journal of Paleolimnology*, 2002, 27: 173—183.
- [13] Wang J B, Zhu L P. Influence of different pre-treatments on grain-size measurement of lake sediments. *Journal of Lake Sciences*, 2005, 17: 17—23.
- [14] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey Part 9: Guidelines for marine ecological survey. GB/T 12763.9—2007
- [15] Montero E. Renyi dimensions analysis of soil particle-size distributions. *Ecological Modelling*, 2005, 182: 305—315.
- [16] Gao Y J, Wang Y M, Hao X H. Study of distribution law of soil particle diameter in serious soil and water loss zone of the Middle Reaches of the Yellow River. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(5): 27—29.
- [17] Liang S C, Dong M, Wang B S, *et al.* Fractal characteristics of particle size distribution of mangroves soils in Yingluo Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14: 11—14.
- [18] Guo D M, Bai Y, Guo W. Fractal characteristics of particle-size distribution for soil of wind erosion. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2005, 26(1): 82—86.
- [19] Li F R, Zhao L Y, Zhang T H. Wind erosion and airborne dust deposition in farmland during spring in the Horqin sandy land of eastern Inner Mongolia, China. *Soil and Tillage Research*, 2004, 75: 121—130.
- [20] Hu Y, Liu J, Zhuang D, *et al.* Fractal dimension of soil particle size distribution under different land use/land coverage. *Acta Pedologica Sinica*, 42: 336—339.
- [21] Su Y Z, Zhao H L, Zhang T H, *et al.* Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. *Soil and Tillage Research*, 2004, 75: 27—36.
- [22] Riksen M J P M, Goossens D. The role of wind and splash erosion in inland drift-sand areas in the Netherlands. *Geomorphology*, 2007, 88: 179—192.
- [23] Visser S M, Sterk G. Nutrient dynamics-wind and water erosion at the village scale in the Sahel. *Land Degradation & Development*, 2007, 18: 578—588.
- [24] Steffens M, Kolbl A, Totsche K U, *et al.* Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P. R. China). *Geoderma*, 2008, 143: 63—72.
- [25] Ma Z J, Li B, Zhao B, *et al.* Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds? A case study on Chongming Island, China. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13: 333—350.

参考文献:

- [1] 陈吉余. 开发浅海滩涂资源 拓展我国的生存空间. *中国工程科学*, 2000, 2(3): 27~31.
- [6] 王德, 傅伯杰, 陈利顶, 赵文武, 汪亚峰. 不同土地利用类型下土壤粒径分形分析——以黄土丘陵沟壑区为例. *生态学报*, 2007, 27(7): 3081~3089.
- [7] 王洪杰, 李宪文, 史学正, 于东升. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成的关系. *水土保持学报*, 2003, 17(2): 44~50.
- [13] 王君波, 朱立平. 不同前处理对湖泊沉积物粒度测量结果的影响. *湖泊科学*, 2005, 17(1): 17~23.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范, 第9部分: 海洋生态调查指南. GB/T 12763.9~2007.
- [16] 高亚军, 王玉明, 郝晓慧. 黄河中游严重水土流失区土壤粒径分布规律研究. *水土保持研究*, 2006, 13(5): 27~29.
- [17] 梁士楚, 董鸣, 王伯荪, 张炜银. 英罗港红树林土壤粒径分布的分形特征. *应用生态学报*, 14(1): 11~14.
- [18] 郭冬梅, 白英, 郭炜. 表层风蚀土壤粒径分布的分形特征研究. *内蒙古农业大学学报*, 2005, 26(1): 82~86.
- [20] 胡云峰, 刘纪远, 庄大方, 曹红霞, 闫慧敏. 不同土地利用/土地覆盖下土壤粒径分布的分维特征. *土壤学报*, 2005, 42(2): 336~339.