

弃耕和施加沼液对滨海盐土有机碳和粒度分级的影响

宋哲岳, 宋照亮, 单胜道

(浙江农林大学 环境科技学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 通过对西瓜 *Citrullus lanatus* 地滨海盐土施加养猪沼液试验, 讨论弃耕和施加沼液年限对土壤总有机碳(TOC)和各粒级有机碳的影响, 阐明弃耕和沼液施加影响下土壤有机碳的积累和演化规律, 为滨海盐土改良提供基本依据。结果表明: ①随着剖面深度和沼液施加年限的增加, 土壤总有机碳质量分数分别减少和增加; ②土壤中以粉粒有机碳为主且随着剖面深度和沼液施加年限的增加, 土壤各粒级有机碳质量分数分别减少和增加; ③弃耕和沼液施加均可提高滨海盐土总有机碳和各粒级有机碳质量分数, 其中弃耕地总有机碳的变化范围是 8.90 ~ 14.40 g·kg⁻¹, 施肥地总有机碳为 5.45 ~ 13.55 g·kg⁻¹, 从而改良滨海盐土。图 1 表 2 参 16

关键词: 土壤学; 弃耕; 沼液; 滨海盐土; 有机碳; 粒度分级

中图分类号: S152 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2011)02-0214-05

Particle fractionation and organic carbon content in coastal saline soils with natural fallow and pig slurry amendments

SONG Zhe-yue, SONG Zhao-liang, SHAN Sheng-dao

(School of Environmental Sciences and Technology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To provide a reference for coastal saline soil improvement, an experiment with pig slurry amendments from coastal saline soils was conducted to determine the effects on content and particle fractionation of organic carbon and to demonstrate the accumulation and evolution law of soil organic carbon. Results showed that soil total organic carbon (TOC) and carbon content for different sized soil particles decreased with an increase of soil profile depth and increased with the length of time that pig slurry amendment was used. Also, soil carbon consisted mainly of silt carbon. In natural fallow land TOC was 8.90 - 14.40 g·kg⁻¹, and on fertilized land it was 5.45 - 13.55 g·kg⁻¹. Thus, both natural fallow and pig slurry amendments could improve TOC and carbon from different sized soil particles in coastal saline soils, thereby improving their quality. [Ch, 1 fig. 2 tab. 16 ref.]

Key words: soil science; natural fallow; pig slurry; coastal saline soil; organic carbon; particle fractionation

养殖场内大量的畜禽粪便无法消化, 对周边生态环境造成压力, 带来一系列问题, 如水体富营养化和重金属污染等^[1-2]。厌氧发酵是废弃物资源化利用的重要途径, 沼液是人、畜粪便以及农作物秸秆等各种有机物经厌氧发酵后的残余物, 养分全面, 含有丰富的腐殖酸等有机质, 是一种优质的有机肥料源^[3]。沼液以肥料形式施入土壤后, 不仅能促进植物的有效生长, 还能起到改良土壤的作用^[1,4]。沼液中的腐殖酸对土壤的团粒结构形成起重要作用, 土壤有机质随着沼液施用量的增加而增加。施用化肥可以降低土壤 pH 值, 长期使用化肥必然导致土壤酸化, 而施用沼液可不同程度地提高土壤 pH 值, 有效防止土壤酸化^[2]。滨海盐土作为特殊而重要的亚类盐土, 在中国分布广, 面积大, 因其含盐量大, pH 值高,

收稿日期: 2010-06-07; 修回日期: 2010-09-14

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Z5080203, Y5080110)

作者简介: 宋哲岳, 从事环境生态研究。E-mail: sss-11.00@163.com。通信作者: 单胜道, 教授, 博士, 博士生导师, 从事环境科学研究。E-mail: shanshd@vip.sina.com

土壤贫瘠等不良理化性质，对植物生长产生较大影响。为了改良和开发利用这一重要土地资源，不少学者采取围田蓄淡养鱼，蓄淡种植田菁 *Sesbania roxburghii*，稻麦轮作，施用改良剂和各种有机肥以及地面覆盖等技术措施，并已取得一定成果^[5-9]。种植黄麻 *Trema orientalis* 可以降低滨海盐土盐分，增加有机质含量，提高酶和微生物活性，是改良滨海盐土的有效生物措施^[10]。施用有机肥料(以鸡粪为主)和秸秆还田可以改善滨海盐土理化性质，降低土壤密度、pH 值和盐分，提高土壤孔隙度，增加土壤有机质和养分含量^[11]。但是沼液施加对滨海盐土影响的研究目前罕见报道。本研究开展施用沼液对滨海盐土有机碳分布影响的试验，为沼液的合理化处理及滨海盐土的改良利用提供基本依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

宁海位于浙江省东部沿海，属亚热带季风性湿润气候区，常年以东南风为主，气候温暖湿润，四季分明，日照充足，雨水充沛，年平均气温为 15.3 ~ 17.0 °C，年日照时数 1 900 h 左右，年平均降水量 1 000 ~ 1 600 mm。猪 *Susscrofa domestica* 等畜禽养殖和西瓜 *Citrullus lanatus* 等作物种植在宁海比较广泛。区内土壤类型主要有水稻土、潮土和滨海盐土。对盐分测定结果显示，滨海盐土($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$)/($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$) > 1，为苏打盐土类型^[12]。

为了解沼液施加对滨海盐土有机碳的影响，于 2004 - 2008 年期间，在浙江宁海循环经济示范园内开展了西瓜地滨海盐土养猪沼液施加试验。试验小区面积为 160 m²。试验共设 4 个处理：①未施沼液区(S₀)；②施沼液 1 a (S₁)；③施沼液 2 a (S₂)；④施沼液 > 3 a (S₃)。重复 3 次·处理⁻¹，随机排列。西瓜种植年限与施沼液年限一致。供试养猪沼液的酸碱度为 pH 7.1 ~ 8.9 (平均 8.0)，硅的质量浓度为 9.0 ~ 13.6 mg·L⁻¹(平均 11.7 mg·L⁻¹)，磷质量浓度为 27.4 ~ 38.0 mg·L⁻¹(平均 33.1 mg·L⁻¹)，有机碳质量浓度为 96.3 ~ 545.2 mg·L⁻¹(平均 229.7 mg·L⁻¹)。

1.2 样品采集与处理

人工开挖土壤剖面，深度为 50 ~ 70 cm。自下而上采集土壤剖面样品(不少于 1.0 kg·样品⁻¹)，并进行编号。样品现场缩分后用聚乙烯塑料袋密封包装。样品自然风干后，去掉植物根须及植物残枝和腐叶，粉碎，过筛。用于测 pH 值的样品过 10 目筛，其他测试的过 100 目筛。

1.3 样品测试及数据处理

样品常规分析测定方法见参考文献[13]。按土水比为 1.0 : 2.5 测定土壤 pH 值。土壤碱熔后，用钼蓝比色法测定二氧化硅和总磷质量分数。重铬酸钾法测有机碳质量分数。80 °C 的水浴 16 h，震荡、离心测试热水溶性有机碳^[13]。采用沉降方法^[13-16]，将土壤有机矿质复合体的物理分级，然后得到砂粒(2 000 ~ 50 μm)，粉粒(50 ~ 2 μm)和黏粒(< 2 μm)各粒级。各粒级有机碳质量分数测定[各粒级中的土壤有机碳(g·kg⁻¹) × 各粒级占土壤的百分数]采用重铬酸钾法。

数据处理用 Microsoft Excel 2000 进行，所有测定数据以平均值±标准差的形式表示，不同施肥处理之间采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较(P < 0.05)。

2 结果与讨论

2.1 弃耕和沼液施加对滨海盐土总有机碳和 pH 值的影响

从表 1 可以看出，4 种不同施肥处理下的总有机碳(TOC)质量分数均随土壤深度的增加而降低。其中 S₀ 剖面所在地块虽然没有施加沼液，但是在 4 个处理中总有机碳质量分数平均值最大，土壤耕作活动层深度一般为 30 cm 左右，试验地种植的作物为西瓜，沼液施加影响范围大概也在 30 cm 的范围内，耕层和犁底层等耕作活动层为 TOC 显著积累层，TOC 质量分数变幅为 8.0 ~ 15.0 g·kg⁻¹，30 cm 以下 4 个处理的 TOC 质量分数变幅为 5.0 ~ 11.0 g·kg⁻¹。随着沼液施加年限的增加土壤总有机碳有逐渐增加的趋势。

S₀ 是没有施加过沼液的剖面，从表中可以看出 S₀ 和施加过沼液 1, 2, 3 a 的 S₁, S₂, S₃ 相比其 pH 值低于它们，但差异不显著。

表1 不同处理不同层次的土壤总有机碳和pH值

Table 1 Soil organic carbon content and pH in different horizons of different treatments

处理	深度/cm	pH值	总有机碳/(g·kg ⁻¹)	处理	深度/cm	pH值	总有机碳/(g·kg ⁻¹)
S ₀	0~15	7.34 ± 0.01 a	14.25 ± 0.23 c	S ₂	0~15	7.77 ± 0.13 b	13.55 ± 0.20 b
	15~30	7.36 ± 0.00 a	14.40 ± 0.40 c		15~30	7.95 ± 0.01 b	8.70 ± 0.30 a
	30~45	7.71 ± 0.01 b	9.25 ± 0.05 c		30~45	8.19 ± 0.05 c	6.60 ± 0.23 a
	45~60	7.76 ± 0.04 b	8.90 ± 0.40 c		45~60	8.24 ± 0.01 c	5.45 ± 0.15 a
S ₁	0~15	7.98 ± 0.04 b	12.25 ± 0.28 a	S ₃	0~15	7.79 ± 0.17 b	12.05 ± 0.45 a
	15~30	7.97 ± 0.45 b	10.15 ± 0.40 b		15~30	8.12 ± 0.02 b	10.25 ± 0.40 b
	30~45	7.59 ± 0.04 a	8.85 ± 0.05 b		30~45	8.16 ± 0.04 c	10.85 ± 0.35 d
	45~60	7.62 ± 0.07 a	8.85 ± 0.05 c		45~60	8.39 ± 0.08 d	7.10 ± 0.23 b

说明：所列数值间的差异比较为同列不同处理同一剖面深度之间的比较，不同字母表示数值间差异显著($P < 0.05$)。

表2 不同处理不同层次土壤各粒级有机碳含量

Table 2 Soil carbon content in different sized soil particles in different horizons of different treatments

处理	深度/cm	砂粒有机碳/(g·kg ⁻¹)	粉粒有机碳/(g·kg ⁻¹)	黏粒有机碳/(g·kg ⁻¹)	处理	深度/cm	砂粒有机碳/(g·kg ⁻¹)	粉粒有机碳/(g·kg ⁻¹)	黏粒有机碳/(g·kg ⁻¹)
S ₀	0~15	4.65 ± 0.84 ab	8.32 ± 0.69 c	1.97 ± 0.44 ab	S ₂	0~15	5.98 ± 0.62 b	6.82 ± 0.01 a	1.21 ± 0.23 a
	15~30	4.83 ± 0.71 b	8.21 ± 0.31 d	1.90 ± 0.73 ab		15~30	2.32 ± 0.35 a	5.52 ± 0.06 a	1.12 ± 0.26 a
	30~45	1.42 ± 0.57 ab	5.57 ± 0.37 a	1.93 ± 0.27 a		30~45	0.72 ± 0.08 a	5.03 ± 0.11 a	1.01 ± 0.29 a
	45~60	1.43 ± 0.55 a	5.38 ± 0.57 bc	1.96 ± 0.29 b		45~60	0.55 ± 0.09 a	4.51 ± 0.41 a	0.91 ± 0.20 a
S ₁	0~15	3.40 ± 0.95 a	7.15 ± 0.10 ab	2.46 ± 0.89 b	S ₃	0~15	7.94 ± 0.76 c	7.58 ± 0.22 c	1.52 ± 0.21 ab
	15~30	1.90 ± 0.84 a	6.38 ± 0.61 b	2.78 ± 0.81 b		15~30	7.84 ± 0.83 c	7.47 ± 0.28 c	1.41 ± 0.27 a
	30~45	2.11 ± 0.72 b	6.49 ± 0.49 b	1.70 ± 0.72 a		30~45	3.83 ± 0.87 c	5.65 ± 0.15 a	1.48 ± 0.54 a
	45~60	1.66 ± 0.67 a	5.97 ± 0.25 c	1.57 ± 0.59 ab		45~60	3.07 ± 0.91 b	5.19 ± 0.05 ab	1.20 ± 0.45 ab

说明：所列数值间差异比较为同列不同处理同一剖面深度之间的比较，不同字母表示数值间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 弃耕和沼液施加对滨海盐土有机碳在各粒级中分布的影响

从表2得知，各个土壤样品中有机碳主要分布在粉粒中。土壤粉粒为有机碳积累的主要粒级态，其有机碳质量分数变幅为4.0~9.0 g·kg⁻¹；黏粒中积累最少，但是很均匀，其变幅为0.9~2.0 g·kg⁻¹；砂粒中积累最不均匀，表现为上层土远高于下层土。各个剖面各粒级有机碳质量分数随着深度的增加而呈现逐渐减少的趋势。S₀剖面有机碳在各粒级中分布也普遍高于相对应层次施加沼液1, 2, 3 a的S₁, S₂, S₃剖面。

各剖面不同层次土壤有机碳在各粒级中的分布见图1。很明显，各个剖面各层土壤中粉粒有机碳百分含量最大，且耕作活动层为有机碳的主要积累层。随着沼液施加年限的增加，耕作活动层的砂粒有机碳比例逐渐提高，而粉粒有机碳、黏粒有机碳则相对逐渐降低，说明沼液处理主要影响滨海盐土的耕作活动层，并且通过提高砂粒有机碳含量而提高土壤总有机碳含量。实验表明：滨海盐土剖面各层次粒度分级结果比例为粉粒量占70%左右，黏粒量占16%左右，砂粒量占14%左右，所以粉粒有机碳的比例最高。由于滨海盐土的砂粒对有机碳的聚集能力较强，所以砂粒有机碳比例高于黏粒有机碳。

3 结论

总的来说，有机碳主要存在于耕作活动层(深度<30 cm)中。随着剖面深度的增加，总有机碳质量分数逐渐降低。沼液施加年限越长，总有机碳质量分数越高。对于弃耕地S₀剖面，其总有机碳高于S₁, S₂和S₃，说明弃耕地对土壤总有机碳影响很大。

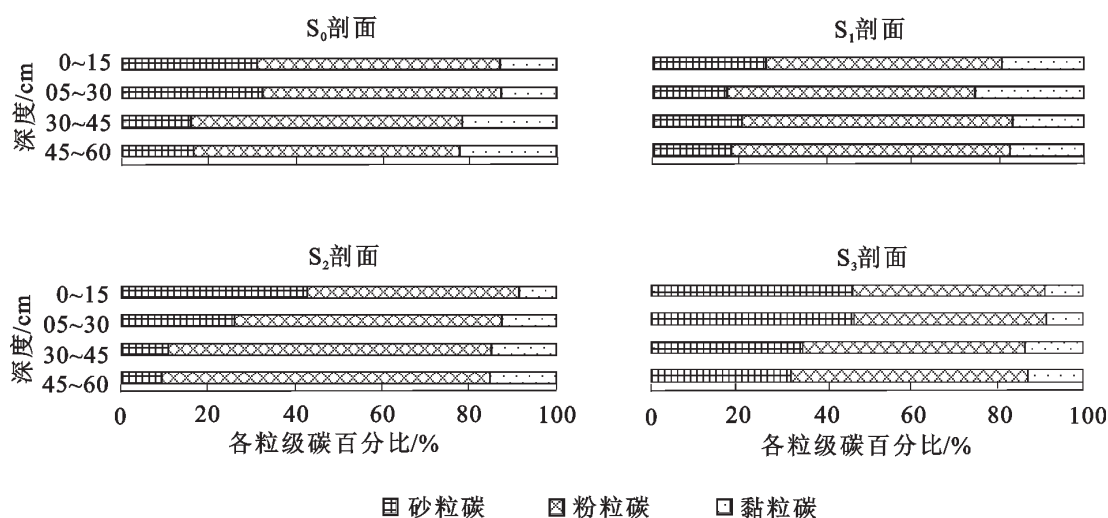


图 1 不同处理不同层次土壤各粒级有机碳百分比

Figure 1 Soil carbon content in different sized soil particles in different horizons of different treatments

各粒级有机碳主要存在于耕作活动层(深度 <30 cm)中。土壤中以粉粒有机碳为主。各粒级有机碳质量分数随着剖面深度的增加呈逐渐减少的趋势。沼液施加年限越长,各粒级有机碳质量分数越高。弃耕地 S_0 剖面各粒级有机碳要普遍高于 S_1 , S_2 和 S_3 剖面。

弃耕和沼液施加均可提高滨海盐土总有机碳和各粒级有机碳质量分数,改良滨海盐土。

参考文献:

- [1] 段然, 王刚, 杨世琦, 等. 沼肥对农田土壤的潜在污染分析[J]. 吉林农业大学学报, 2008, **30** (3): 310 - 315.
DUAN Ran, WANG Gang, YANG Shiqi, *et al.* Reliminary research of potential pollution on farmland soil after using biogas [J]. *J Jilin Agric Univ*, 2008, **30** (3): 310 - 315.
- [2] 倪亮, 孙广辉, 罗光恩, 等. 沼液灌溉对土壤质量的影响[J]. 土壤, 2008, **40** (4): 608 - 611.
NI Liang, SUN Guanghui, LUO Guang'en, *et al.* Effect of marsh gas sewage irrigation on soil quality [J]. *Soil*, 2008, **40** (4): 608 - 611.
- [3] 骆林平, 张妙仙, 单胜道. 沼液肥料及其利用研究现状[J]. 浙江农业科学, 2009 (5): 977 - 978, 983.
LUO Linping, ZHANG Miaoxian, SHAN Shengdao. Research advance of pig slurry fertilizers and their applications [J]. *Zhejiang Agric Sci*, 2009 (5): 977 - 978, 983.
- [4] GARG R N, PATHAK H. Use of flash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil [J]. *Environ Monit Assess*, 2005, **107**: 1 - 9.
- [5] 房用, 田文侠, 王永华, 等. 山东省盐碱地林业综合治理技术探讨[J]. 林业科技开发, 2002, **16** (4): 44 - 45.
FANG Yong, TIAN Wenxia, WANG Yonghua, *et al.* Approaching on management for integrated forest in saline-alkali soil in Shandong Province [J]. *China For Sci Technol*, 2002, **16** (4): 44 - 45.
- [6] SANTA-CRUZ A, ACOSTA M. Short-term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species [J]. *Plant Physiol Biochem*, 1999, **37** (1): 65 - 71.
- [7] RHANM S A, HAMID A, KARIM M A. Effect of sodium chloride on germination and seedling characters of different types of rice [J]. *Agron Crop Sci*, 1997, **179** (3): 163 - 169.
- [8] 郜翻身, 崔志祥, 樊润威, 等. 有机物料对盐碱化土壤的改良作用[J]. 土壤通报, 1997, **28** (1): 9 - 11.
GAO Fanshen, CUI Zhixiang, FAN Runwei, *et al.* Improvement of saline-sodic soils by application of organic materials [J]. *Chin J Soil Sci*, 1997, **28** (1): 9 - 11.
- [9] 尹建道, 姜志林, 李兴明, 等. 黄河三角洲盐碱地综合开发构想[J]. 南京林业大学学报, 2000, **24** (5): 61 - 63.
YIN Jiandao, JIANG Zhilin, LI Xingming, *et al.* Strategic concept on comprehensive development of Yellow River Delta Saline and Alkaline Land [J]. *J Nanjing For Univ*, 2000, **24** (5): 61 - 63.

- [10] 王利民, 陈金林, 梁珍海, 等. 黄麻对江苏东台滨海盐土的改良效应[J]. 水土保持学报, 2009, **23** (4): 105 - 108.
WANG Limin, CHEN Jinlin, LIANG Zhenhai, *et al.* Ameliorative effects of jute on coastal solonchak in Dongtai, Jiangsu [J]. *J Soil Water Conserv*, 2009, **23** (4): 105 - 108.
- [11] 王丽娜, 陈金林, 梁珍海, 等. 黄麻秸秆还田及有机肥对滨海盐土的改良试验[J]. 林业科技开发, 2009, **23** (3): 88 - 91.
WANG Li'na, CHEN Jinlin, LIANG Zhenhai, *et al.* Effects of application of jute straw and organic fertilizers on the coastal saline soil [J]. *China For Sci Technol*, 2009, **23** (3): 88 - 91.
- [12] 贺锦喜, 牛颖. 哲盟宜林地土壤电导率与可溶盐总量回归方程的推导[J]. 内蒙古林业科技, 1997 (2): 40 - 42.
HE Jinxi, NIU Ying. Deduction of regression equation of soil electrical conductivity and total soluble salt in forest land from Jirem League [J]. *J Inner Mongolia For Sci Technol*, 1997 (2): 40 - 42.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [14] 朱书法. 贵州典型陆地生态系统土壤中有机碳含量及碳同位素组成[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2006.
ZHU Shufa. *Organic Carbon Content and Carbon Isotope Composition of Soil from Typical Terrestrial Ecosystem of Guizhou Province* [D]. Guiyang: Chinese Academy of Sciences. Institute of Geochemistry, 2006.
- [15] BONDE T A, CHRISTENSEN B T, CERRI C. Dynamics of soil organic matter as reflected by natural ^{13}C abundance in particle size fractions of forested and cultivated oxisols [J]. *Soil Biol Biochem*, 1992, **24**: 275 - 277.
- [16] GREGORICH E G, ELLERT B H. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils [M]//CARTER M R. *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Boca Raton: Lewis Publishers, Division of CRC Press, 1993: 397 - 407.