

滩涂土壤有机碳空间分布与围垦年限相关性分析

金雯晖, 杨劲松*, 王相平

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要: 中国具有治理和修复潜力的滨海滩涂盐土面积约为 2 000 hm²。滨海滩涂盐土作为新成土壤, 土体发育不明显、理化性状差、肥力水平低下。该文通过对东台境内表层土壤有机碳的采样分析, 在 ArcGIS 地理信息系统及 SPSS16.0 系统平台上, 利用地统计分析模块中的克里格法分析东台市表层土壤有机碳的空间变异规律, 并分析不同滩涂围垦年限下表层土壤有机碳、总氮、pH 值、EC_{1:5} 的变化特征及其相关关系, 结果显示滨海表层土壤有机碳含量与总氮、围垦年限呈极显著正相关, 相关系数 r 分别为 0.959 和 0.749, 与 pH 值、电导率 EC_{1:5} 呈极显著负相关, 相关系数 r 分别为 -0.478 和 -0.649。围垦 3 a 以上表层土壤有机碳可增加 0.24% 左右, 总氮质量分数增加 0.02% 左右; 围垦时间大于 52 a, 有机碳质量分数自 0.1% 增加到 1.6%, 全氮质量分数自 0.03% 增加到 0.12%, 养分等级也相应从 6 级增加到 3 级。该文研究表明, 滨海盐土随着围垦年限的增长, 土壤碳储量与总氮含量随之增加、pH 值与 EC_{1:5} 随之降低, 耕地质量也相应提高。

关键词: 土壤, 有机碳, 空间变异测量, 滨海盐土, 围垦年代

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.05.012

中图分类号: S158.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-05-0089-06

金雯晖, 杨劲松, 王相平. 滩涂土壤有机碳空间分布与围垦年限相关性分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 89-94.

Jin Wenhui, Yang Jinsong, Wang Xiangping. Spatial distribution of organic carbon in coastal saline soil and its correlation with reclamation age[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(5): 89-94. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着全球气候变化的影响, 生态系统碳源和碳汇问题的研究备受关注。全球约有 1.5×10^{18} g 碳储存在于土壤碳库中^[1], 是陆地生态系统中最大且周转时间最慢的碳库, 储量约是大气碳库的 3 倍^[2-3]。土壤碳库和大气碳库之间的转化和平衡, 是大气 CO₂ 浓度大小的重要控制因素。土壤碳库源汇转化及其影响因素的研究, 对了解土壤固碳潜力, 增加土壤碳储量, 控制全球气候变化有着重要意义^[4]。

全球土壤类型繁多, 目前, 森林土壤^[5-7]、草地土壤^[8]、黑土^[9]、农田土壤^[10-12]等土壤的固碳研究最受关注。盐碱土作为一种特殊的土壤类型, 广泛分布于世界上 100 多个国家和地区, 其固碳潜力是

巨大的。中国盐碱地主要分布在包括滨海、西北、东北和华北地区, 具有治理和修复潜力的盐碱荒地和盐碱障碍耕地面积近 1 330 万 hm², 其中具有修复潜力的沿海滩涂盐渍土面积约为 2 000 hm²。沿海滩涂土壤是由潮间带沉积物沉积形成的, 土壤母质为河流冲积海相沉积物, 原始土壤属于滨海盐土, 土壤盐分含量偏高、土体发育不明显、理化性状差、肥力水平低下, 土壤有机质含量较低^[13], 因而其潜在固碳能力更高^[14]。因此, 沿海滩涂盐渍土壤的改良、土地生产力的提高, 对增加全球土壤碳储量、调节气候变化, 有着极为重要的现实意义。

中国对滨海盐土的利用由来已久, 唐宋以来围垦已十分广泛。公元 1027 年苏北范公堤建成后, 堤外的宽广海涂主要用来“煮海为盐”, 清末 (1900 年) 始兴退盐放垦, 到 1937 年, 已垦种大片土地^[15]。今日南通、盐城地区大片粮棉基地已基本形成。东台市 (县级市) 位于盐城市南端, 拥有 85 km 海岸线, 滩涂面积 156 hm², 并以每年 150 m 左右的成陆速度向大海延伸, 年新增土地面积超万亩, 是巨大的后备土地资源。根据盐城市滩涂开发相关文件指示, 新垦滩涂 60% 的面积用于农业利用, 主要种植棉花、菊芋等耐盐作物。本文通过对东台境内表层土壤有机碳的采样分析, 揭示东台表层土壤有机

收稿日期: 2012-11-06 修订日期: 2013-01-25

基金项目: 国家自然科学基金 (41171181)、中国科学院战略性先导科技专项课题“中国农田土壤固碳潜力与速率研究” (XDA05050500)、江苏省自然科学基金 (BK2011425、BK2011883) 和江苏省东台市科技项目 (DK2011061)。

作者简介: 金雯晖 (1988-), 女, 研究方向土壤与水资源管理。南京 中国科学院南京土壤研究所, 210008。Email: whjin@issas.ac.cn

*通信作者: 杨劲松 (1959-), 男, 研究员, 博士生导师, 研究领域为土壤与水资源管理、土壤盐渍化防控和盐渍土资源利用。南京 中国科学院南京土壤研究所, 210008。Email: jsyang@issas.ac.cn

碳的空间变异规律, 分析不同围垦年限滨海滩涂表层土壤有机碳、总氮、pH 值、 $EC_{1.5}$ 的变化特征及其相关关系, 进而揭示滩涂滨海盐土表层土壤有机碳的时空变异规律及其影响因素。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区域为江苏省东台市。东台市(县级市)位于长江中下游平原, 江苏省沿海中部, 盐城市南端, 地理坐标 $32^{\circ}33' \sim 32^{\circ}57'N$, $120^{\circ}07' \sim 120^{\circ}53'E$, 属于亚热带和暖温带过渡区, 季风显著, 四季分明, 雨量集中, 雨热同季。常年平均气温 $14.6^{\circ}C$, 无霜期 220 d, 降水量 1 051.0 mm, 日照 2 169.9 h。全市总面积 3 221 km^2 , 境内地势平坦, 地面高程 1.4~5.1 m, 大部分地区在 2.6~4.6 m。以范公堤为脊线, 形成堤西与堤东 2 种不同地貌: 堤西属苏北里下河碟形洼地东部碟缘平原, 东北高平, 西南低洼, 为著名的时溇洼地; 堤东地区为黄河夺淮后泥沙淤积形成的滨海平原, 为江淮 2 大水系冲击回流之沉积物。全市海堤外现有滩涂面积 156 hm^2 , 其中潮间带 7.7 万 hm^2 , 潮土带约 39 hm^2 , 约占江苏省滩涂面积的 22%, 盐城市滩涂面积的 37%。

东台滨海围垦滩涂根据海堤划分, 最早的有 204 国道旁的范公堤(建于宋 1027 年), 近代以来由西向东分别有 1955 年、1975 年、1995 年、2004 年、2007 年海堤。1975 年海堤以西已具城乡规模, 居民安定, 农业稳定, 但部分地区仍受盐渍化影响较大; 1995 年海堤及 2004 年海堤内围垦土地除黄海原种场采取大规模集中机械化水旱轮作农业利用模式, 其他土地主要由个人承包种植或抛荒; 2007 年海堤内滩涂绝大部分处于生态演替内, 少部分用作风电、光电能源基地。

1.2 材料和方法

本研究在东台县域内每隔 3~5 km 采集表层 0~20 cm 土壤样品, 共计 81 个样点(图 1)。采样时兼顾成陆时间(按海堤划分)及土地类型, 记录采样点经纬度、地理位置、土地利用方式等。样品采回后自然风干、研磨、过筛。土壤有机质含量的测定采用重铬酸钾外加热法, 然后乘以 Bemmelen 换算系数(0.58)得到土壤有机碳含量^[16], 全氮采用凯氏定氮法, 并测定各土层电导率($EC_{1.5}$)及 pH 值^[17]。

1.3 数据处理

对所测定的数据采用 Excel 处理后, 利用 SPSS16.0 软件进行经典统计分析, 再应用地统计学方法中的半方差图和 kriging 插值法进行土壤空间特性预测。本文选择利用 GS+7.0 (Gamma Design

Software Co.) 进行半方差函数计算, 土壤属性的空间插值采用 ArcGIS9.3 (ESRI) 软件完成。

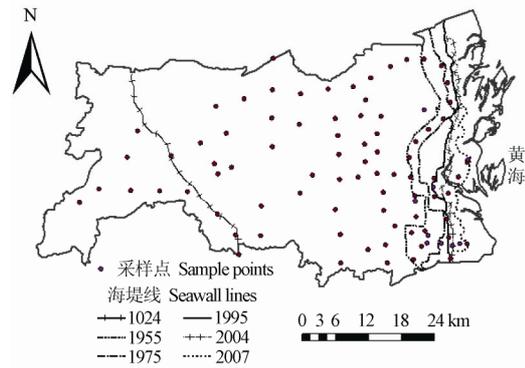


图 1 东台境内样点示意图
Fig.1 Location of sampling points in Dongtai

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳的统计特征

数据异常值的存在会造成变量连续表面的中断, 使得半方差函数发生畸变, 甚至会掩盖变量固有的空间变异结构^[18], 所以在进行统计分析前需进行离群值的识别。本文采用平均值标准差法对异常值进行修正^[19], 域法区间为 $[u-3s, u+3s]$, 其中 u 为平均值, s 为样本标准差, 在区间以外的数据为离群值, 离群值分别用正常的最大值和最小值代替^[20]。经检验有机碳数据存在 1 个离群值, 处理后的数据经统计分析, 结果见表 1。

表 1 0~20 cm 表层土壤有机碳描述性统计结果
Table 1 Descriptive statistical results of soil organic carbon in 0~20 cm surface layer

最小值 Minimum/ /%	最大值 Maximum /%	均值 Mean/%	标准差 Stand. De viation	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 Variable coefficient CV/%
0.09	1.93	0.06	3.70	0.59	0.86	13.7

统计显示东台土壤表层有机碳质量分数为 0.09%~1.93%, 合有机质质量分数为 0.16%~3.33%。根据全国第二次土壤普查养分等级划分标准, 土壤肥力水平处于 2~6 级。偏度和峰度表示数据曲线的偏斜程度和尖锐程度, 两者越接近于 0, 数据的正态性分布越好。根据此原则, 东台 0~20 cm 表层土壤有机碳服从正态分布; 变异系数 13.7%, 具有中等程度变异水平 ($10% < CV < 100%$)。

2.2 土壤有机碳的空间结构分析

表 2 是土壤有机碳变异函数理论模型的相应参数。块金值 C_0 又称块金方差, 代表随机因素引起的变异。 C 为结构方差, 是由土壤母质、地形、气候等非人为的结构性因素引起的变异。基台值 C_0+C 表示系统内总的变异。块金值与基台值之比表示空

间变异性程度, 又称作块金效应, 该比值越高, 说明由随机部分引起的空间变异性程度较大; 相反则由结构性因素引起的空间变异性程度较大; 如果该比值接近 1, 则该变量在整个尺度上具有很强的变

异。按照区域化变量空间相关性程度的分级标准, 当块金效应 $C_0/(C_0+C) < 25\%$ 时, 变量具有强烈的空间自相关性; 当块金效应 $25\% < C_0/(C_0+C) < 75\%$ 时, 变量具有中等强度的空间自相关性^[21]。

表 2 土壤有机碳变异函数理论模型及其空间变异函数

Table 2 Best-fitted semivariogram models of soil organic carbon and corresponding parameters

理论模型 Model	块金值 Nugget C_0	基台值 Sill (C_0+C)	块金效应 $C_0/(C_0+C)\%$	步长 Lag size/km	变程 Range/km	决定系数 Coefficient determination R^2
高斯 Gaussian	3.37	10.02	33.6	2.37	19.55	0.846

由表 2 可见, 东台表层土壤有机碳含量服从高斯模型, 决定系数 $R^2=0.846$; 块金效应为 33.6%, 说明表层土壤有机碳含量具有中等程度的空间自相关性, 可采用空间插值的方法进行空间预测^[22-23]。

2.3 土壤有机碳的空间分布特征

利用 GS+ (Gamma Design Software GSPlus) 中拟合的半方差理论模型参数如块金值 C_0 、结构方差 C 、步长和变程等, 在 ArcGIS9.3 中的 Geostatistical Wizard 模块中选择 Kriging 插值方法对东台 0~20 cm 表层土壤有机碳进行空间插值, 获得东台表层土壤有机碳的空间分布图, 如图 2。

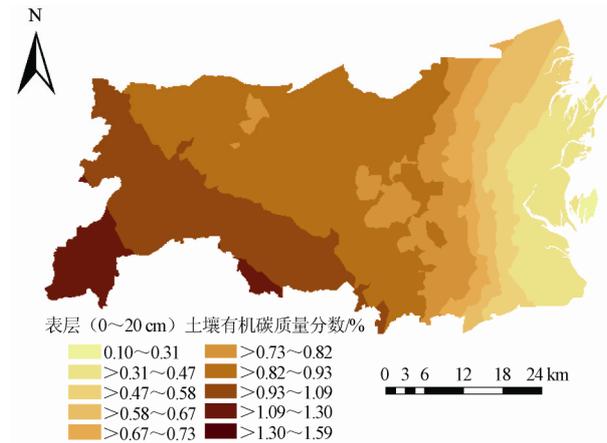


图 2 东台 0~20 cm 土壤有机碳含量空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of soil organic carbon at 0-20 cm soil layer in Dongtai county

由图 2 反映的结果来看, 东台县域表层土壤有机碳基本上遵循由滩涂向内陆逐渐增多的趋势, 并且近海岸带土壤有机碳呈现明显的与海岸线平行的带状分布。远海土壤由于城镇集中发展以及农业用肥差异等人为因素, 土壤有机碳有局部特征。新成滩涂土壤由海相沉积物淤积而成, 土体发育不明显, 且土壤盐分含量高, 一般 0~1 m 土层平均含盐量 $>0.6\%$, 盐分在剖面中分布比较均匀, 属于滨海盐土潮滩盐土亚类^[15]。潮滩盐土含有一定的有机无机养分, 适宜低等植物如藻类的生长; 当滩面淤高、潮浸频率减低, 一些耐盐湿生植物如大米草、咸水草开始生长; 至高潮滩, 耐盐性强的碱蓬、海

蓬子便繁殖起来。2007 年海堤内滩涂土地是经人工筑堤挡潮后发育而成滨海盐土, 大部分土地裸露, 有明显的积盐和盐结壳, 少数土壤生长耐盐植物如碱蓬、海蓬子, 是潮滩盐土发育的后期阶段, 表层土壤有机碳质量分数一般在 0.3%~0.46%。滨海盐土经过植被演替以及农业利用改良, 尤其经过灌溉等农业生产措施, 使土壤盐分大大降低, 表土有机碳质量分数有所升高, 一般可达 0.46%~0.66%。内陆土壤发育成熟, 且农业耕作稳定, 有机质质量分数在 1.3%~3%, 有机碳质量分数为 0.7%~1.3%。

2.4 土壤有机碳空间分布与围垦年限的关系分析

基于东台表层土壤有机碳的空间分布图, 将采集的土壤样点根据地理坐标及海堤划分为 5 个年代类型: 分别为 1024 年范公堤、1024 年与 1955 年海堤之间、1955 年与 1995 年海堤之间、1995 年与 2004 年海堤之间、2004 年海堤与 2007 年海堤之间。表 3 是 5 种年代下表层土壤有机碳、总氮、 $EC_{1.5}$ 和 pH 值的统计含量。由滨海沉积物逐步形成的潮滩盐土和滨海盐土, 从某种意义上来说是一种不稳定的、过渡性的土壤类型, 在人为干预下会向着草甸滨海盐土、沼泽土、潮土和水稻土等土壤类型转变, 而滨海盐土的养分也随着土壤类型的演变而变化。根据本研究结果, 随着开垦年限的增加, 表层土壤有机碳和全氮含量明显增加, 有机碳质量分数自 0.19% 增加到 0.98%, 全氮自 0.03% 增加到 0.1%, 养分等级也相应从 6 级增加到 3 级; 同时, 土壤 $EC_{1.5}$ 从 4.49 dS/m 降低到 0.09 dS/m。围垦 3 a 以上 (2007 年围垦与 2004 年围垦), 表土有机碳质量分数增加 0.24% 左右, 总氮质量分数增加 0.02% 左右。

LSD 检验显示, 2007 年新围垦滩涂表土有机碳质量分数与早期各围垦年代土壤有机碳质量分数均存在显著性差异 ($P < 0.05$), 2004 年围垦土地与 1995 年围垦土壤无显著差异, 1955 年围垦土壤与范公堤以西土壤有机碳也无显著差异, 但与 1995 年、2004 年及 2007 年围垦土壤存在显著差异。总氮统计检验结果具有相同规律, 且 1995 年及以后

围垦土壤的表层土壤总氮质量分数均 $\leq 0.1\%$ 。数据还显示, 围垦 3 a 以上土壤 $EC_{1:5}$ 之间无显著差异, 但与 2007 年围垦土壤差异显著。

表 3 不同年代下 0~20 cm 土壤有机碳、总氮、pH 值及电导率 $EC_{1:5}$ 的统计值

海堤带 间土壤	土层 (0~ 20 cm) 土壤 有机碳质量 分数/%	总氮质量分 数/%	pH 值	电导率 $EC_{1:5}/(dS\cdot m^{-1})$
2004-2007	0.19±0.09a	0.03±0.01a	9.33±0.16a	4.49±3.29a
1995-2004	0.43±0.23b	0.05±0.02b	9.38±0.48a	0.42±58b
1955-1995	0.56±0.13b	0.06±0.01b	9.06±0.40ab	0.13±0.09b
1024-1955	0.83±0.26c	0.09±0.02c	8.81±0.30b	0.14±0.10b
1024 以前	0.98±0.26c	0.1±0.02c	8.04±0.93c	0.09±0.08b

注: $EC_{1:5}$ 指水土比为 1:5 时土壤浸提液电导率。同列小写字母不同, 代表不同年代下统计指标值具有显著性差异 ($P<0.05$)。

相关分析结果表明 (表 4), 表层土壤有机碳含量 (SOC) 与总氮含量 (TN)、开垦年代存在极显著正相关 ($P<0.01$), SOC 与 $EC_{1:5}$ 、pH 值极显著负相关 ($P<0.01$)。新成滩涂土壤盐分含量高, 土壤偏碱。一般先经雨水自然淋洗脱盐后, 耐盐植物开始生长, 在生物及降雨作用下, 盐分逐渐降低, 有机质输入也增多, 土壤环境逐渐改善, 达到植被演替条件, 植被覆盖度增加, 土壤根系发达, 孔隙增加, 土壤动物及微生物活动也频繁起来^[24-25], 有机碳逐渐积累。土壤氮素主要以有机氮的形式存在于土壤有机质中, 绝大多数情况下, 土壤有机碳与全氮有很好的相关性^[26], 随着表层土壤有机质的增加, 全氮含量也会增加^[27]。滨海滩涂围垦后农业利用脱盐改土也是一大措施。新成滩涂除旱作棉花种植外, 少部分采用水旱轮作种植模式。因土壤有机质低, 农民大量投入氮肥等外源有机质, 从而影响土壤有机碳的积累。

表 4 表层土壤 (0~20 cm) 有机碳、总氮、 EC 、pH 值以及围垦年限的相关关系

	SOC	TN	pH 值	$EC_{1:5}$	围垦年限
SOC	1				
TN	0.959**	1			
pH 值	-0.649**	-0.635**	1		
$EC_{1:5}$	-0.478**	-0.358**	0.235*	1	
围垦年限	0.749**	0.684**	-0.573**	-0.614**	1

注: **表示在 99% 的置信水平上显著相关; *表示在 95% 的置信水平上显著相关。

土壤 pH 值对土壤有机碳的影响主要体现在影响土壤微生物及酶的活性来影响有机物的矿化分解。Bottner 研究指出, 在自然土壤中, 盐基饱和度

随 pH 值升高而升高, 提高了细菌和真菌的异质性, 也提高了酶活性^[28]。但 pH 值过高 (>8.5) 或过低 (<5.5) 会抑制大部分微生物活性, 从而降低有机碳分解速率^[29]。本研究中范公堤以东到新成滩涂土壤的 pH 值均在 8.5 以上, SOC 与 pH 值的负相关关系与上述结论相悖, 原因可能在于滨海土壤形成初期由于沉积母质及海水浸渍影响, 土壤 pH 值背景值本身很大, 母质土壤有机碳含量低, 微生物的繁殖及活动均受限制。随着土壤的脱盐过程, 土壤 pH 值降低, 土壤有机碳含量增加, 因而表现出 SOC 与 pH 呈负相关, 该结果与 Curtin 等研究结论有相同的规律^[30]。

4 结论

本文应用地统计学和 GIS 结合的方法, 研究了典型滨海滩涂表层 (0~20 cm) 土壤有机碳空间分布。滨海土壤在同一时空下不同围垦滩涂的有机碳空间分布也反映了滩涂土壤在时间上演变发育。本文主要研究结论如下:

- 1) 东台县域表层土壤有机碳基本上遵循由滩涂向内陆逐渐增多的趋势, 并且近海岸带土壤有机碳呈现明显的与海岸线平行的带状分布。近海滩涂表层土壤有机碳质量分数一般在 0.3%~0.46%。内陆土壤有机碳质量分数达到 0.7%~1.3%。
- 2) 滨海滩涂表层土壤有机碳含量与总氮含量、开垦年代呈极显著正相关, 与 $EC_{1:5}$ 、pH 值呈极显著负相关。
- 3) 滨海盐土围垦 3 a 以上表土土壤有机碳水平平均增加 0.24%; 围垦时间大于 52 a, 有机碳质量分数自 0.1% 增加到 1.6%, 全氮质量分数自 0.03% 增加到 0.12%, 养分等级也相应从 6 级增加到 3 级。在此进程中, 滨海盐土发挥了巨大的土壤固碳功能。

[参 考 文 献]

- [1] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. Science, 2004, 304(5677): 1623-1627.
- [2] Lal R. Soil Carbon Sequestration to mitigate climate change[J]. Geoderma, 2004, 123(1): 1-22.
- [3] Watson R T, Noble I R. Carbon and the science-policy nexus: the Kyoto challenge. In: Steffen W, Jager J, Carson D, Bredshaw C, eds. Challenges of a Changing Earth. Proceedings of the Global Change Open Science Conference[J]. Berlin: Springer, 2003, 57-64.
- [4] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉. 土壤有机碳库与全球变化研究的若干前沿问题—兼开展中国水稻土有机碳固定研究的建议. 南京农业大学学报, 2002, 25(3): 100-109.
Pan Genxing, Li Lianqing, Zhang Xuhui. Perspectives on issues of soil carbon pools and global change-With

- suggestions for studying organic carbon sequestration in paddy soils of China[J]. Nanjing Agric Univ, 2002, 25(3): 100—109. (in Chinese with English abstract)
- [5] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. Science, 1994, 263(5144): 185—190.
- [6] 王效科, 冯宗炜. 中国森林生态系统中植物固定大气碳的潜力[J]. 生态学杂志, 2000, 19(4): 72—74.
Wang Xiaoke, Feng Zongwei. The potential to sequester atmospheric carbon through forest ecosystems in China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19(4): 72—74. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13—16.
Wang Xiaoke, Feng Zongwei, Ouyang Zhiyun. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystems in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 13—16. (in Chinese with English abstract)
- [8] 郭然, 王效科, 逯非, 等. 中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 862—867.
Guo Ran, Wang Xiaoke, Lu Fei, et al. Soil carbon sequestration and its potential by grassland ecosystems in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 862—867. (in Chinese with English abstract)
- [9] 方华军, 杨学明, 张晓平. 东北黑土有机碳储量及其对大气CO₂的贡献[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 9—12, 20.
Fang Huajun, Yang Xueming, Zhang Xiaoping. Organic carbon stock of black soils in Northeast China and its contribution to atmospheric CO₂[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(3): 9—12, 20. (in Chinese with English abstract)
- [10] 黄耀, 孙文娟. 近20年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势[J]. 科学通报, 2006, 51(7): 750—763.
Huang Yao, Sun Wenjuan. The variability of topsoil organic carbon sequestration in Chinese cropland in last 20 years[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(7): 750—763. (in Chinese with English abstract)
- [11] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉, 等. 中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 609—618.
Pan Genxing, Li Lianqing, Zhang Xuhui, et al. Soil organic carbon storage of China and the sequestration dynamics in agricultural lands[J]. Advance in Earth Science, 2003, 18(4): 609—618. (in Chinese with English abstract)
- [12] 覃章才, 黄耀. 基于模型的农田土壤固碳潜力估算[J]. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 658—676.
Qin Zhangcai, Huang Yao. Quantification of soil organic carbon sequestration potential in cropland: a model approach[J]. Science China Life Sciences, 2010, 40(7): 658—676. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京, 科学出版社, 1993.
- [14] Olsen M W, Frye R J, Glenn E P. Effect of salinity and plant species on CO₂ flux and leaching of dissolved organic carbon during decomposition of plant residue[J]. Plant and Soil, 1996, 179(2): 183—188.
- [15] 宋达泉. 中国海岸带土壤[M]. 北京, 海洋出版社, 1996.
- [16] 邓勃. 分析测试数据的统计处理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995: 105—150.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京, 中国农业出版社, 2007.
- [18] 张朝生, 章申, 何建邦. 长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究: 地统计学方法[J]. 地理学报, 1997, 52(2): 185—192.
Zhang Chaosheng, Zhang Shen, He Jianbang. Spatial distribution characteristics of heavy metals in the sediments of Changjiang river system: Geostatistics method[J]. Journal of Geographical Science, 1997, 52(2): 185—192. (in Chinese with English abstract)
- [19] 姚荣江, 杨劲松, 姜龙. 电磁感应仪用于土壤盐分空间变异及其剖面分布特征研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 33(2): 207—216.
Yao Rongjiang, Yang Jinsong, Jiang Long. Study on spatial variability and profile distribution characteristics of soil salinity by Kriging with an electromagnetic induction[J]. Journal of Zhejiang University: Agric. and Life Sci., 2007, 33(2): 207—216. (in Chinese with English abstract)
- [20] 杨奇勇. 基于GIS和地统计学的耕地土壤质量障碍因子评估研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011.
Yang Qiyong. GIS and Geostatistics-Based Study of soil Quality and Assessment of its Limiting Factors[D]. Beijing: Graduate school of Chinese Academy of Sciences, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [21] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central low of soils[J]. Soil Science Society of American Journal, 1994, 58(5): 1501—1511.
- [22] 徐英, 陈亚新, 周明耀. 不同时期农田土壤水分和盐分的空间变异性分析[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(3): 30—34.
Xu Ying, Chen Yaxin, Zhou Mingyao. Spatial variability of soil water and salt in field at different time[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2005, 24(3): 30—34. (in Chinese with English abstract)
- [23] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明. 黄河三角洲地区土壤容重空间变异性分析[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(4): 11—15.
Yao Rongjiang, Yang Jinsong, Liu Guangmin. Spatial variability of soil buld density in the Yellow River Delta[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(4): 11—15. (in Chinese with English abstract)
- [24] Raj Setia, Petra Marschner, Jeff Baldock, et al. Relationships between carbon dioxide emission and soil

- properties in salt-affected landscapes[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(3): 667—674.
- [25] Aciego Pietri J C, Brookes P C. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(7): 1856—1861.
- [26] Lutze J L, Gifford R M. Nitrogen accumulation and distribution in *Danthonia richardsonii* swards in response to CO₂ and nitrogen supply over four years of growth[J]. *Global Change Biology*, 2000, 6(1): 1—12.
- [27] 张春华, 王宗明, 居为民, 等. 松嫩平原玉米带土壤碳氮比的时空变异特征[J]. *环境科学*, 2011, 32(5): 1407—1414.
Zhang Chunhua, Wang Zongming, Ju Weimin, et al. Spatial and Temporal Variability of Soil C/N Ratio in Songnen Plain Maize Belt[J]. *Environmental Science*, 2011, 32(5): 1047—1414. (in Chinese with English abstract)
- [28] Botter P, Austrui F, Cortez J. Decomposition of ¹⁴C and ¹⁵N-labelled plant material, under controlled condition, in coniferous forest soils from a north-south climatic sequence in western Europe[J]. *Soil Bio Biochem*, 1998, 30(5): 597—610.
- [29] 周莉, 李保国, 周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(1): 99—105.
Zhou Li, Li Baoguo, Zhou Guangsheng. Advances in controlling factors of soil organic carbon[J]. *Advances in Erath Science*, 2005, 20(1): 99—105. (in Chinese with English abstract)
- [30] Curtin D, Campbell C, Jalil A. Effects of acidity on mineralization: pH-dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 33(1): 57—64.

Spatial distribution of organic carbon in coastal saline soil and its correlation with reclamation age

Jin Wenhui, Yang Jinsong^{*}, Wang Xiangping

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract: With the impact of global climate change, the concern with ecosystem carbon sources and sinks has been growing. Soil carbon pool is the largest terrestrial ecosystem and the turnaround time is the slowest, which is the important factors controlling the size of the CO₂ concentration in the atmosphere. Coastal saline soils is a kind of neoformative soils which has poor soil physical and chemical properties and low level fertility. There are approximately 2,000 hectares in China, which means a large potential soil carbon pool. In this study, the surface soil organic carbon content (SOC) was analyzed through soil samplings within the Dongtai county, which is located in the middle and lower reaches of the Yangtze River Plain, with beach area of 156 hm². There are different seawalls of ages from ancient times. With the geographic information system (GIS) method and SPSS 16.0 system, the spatial variations of surface SOC were investigated, which turned out a strong relationship with the seawall inning line, the lowest near the sea, and increasing from the beach to the inland. The correlations of the surface SOC, total nitrogen content (TN), pH value, EC_{1:5} values under different beach reclamation ages were analyzed. The results showed that there was a significant positive correlation ($P < 0.01$) between SOC and TN, reclamation ages, and the correlation coefficients (r) are 0.959 and 0.749, respectively. Meanwhile, a significant negative correlation ($P < 0.01$) was presented between SOC and EC_{1:5}, pH value, the correlation coefficients were -0.478 and -0.649, respectively. High EC_{1:5} and pH value were significant features of coastal saline soils, which limited the growth and reproduction of soil microorganism, fauna and flora, as well as the accumulation of organic matters. With more than 3 years of reclamation, under natural vegetation succession or human agricultural use, especially after irrigation and other agricultural production activity, the soil salinity reduced greatly, and the surface SOC and TN can increased about 0.24% and 0.02% respectively, comparing with the values before reclamation. After 52 years reclamation, the surface SOC increased from 0.1% to 1.6%, the TN increased from 0.03% to 0.12%. While the nutrient level increased from six class to three class accordingly. This study indicated that the EC_{1:5} and pH value decreased with the increasing reclamation period, and soil carbon storage and total nitrogen content increased with the increasing reclamation period. Therefore, the quality of coastal saline soils was improved through reclamation process.

Key words: soils, organic carbon, spatial variables measurement, coastal saline soil, reclamation ages