

文章编号: 1004-8227(2010) 07-0790-07

长江三角洲地区土壤有机碳库研究

许乃政^{1,2}, 张桃林¹, 王兴祥¹, 刘红樱²

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008; 2. 国土资源部南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016)

摘要: 土壤碳库变化对于全球温室效应、全球碳循环有重大的影响。基于新近完成的 1:250 000 多目标地球化学调查及相关研究成果, 运用地理信息系统软件 ARCGIS 9.2、统计软件 SPSS13.0, 对长江三角洲地区 0~20、0~100、0~180 cm 深度土壤有机碳密度及储量作出实测统计。结果表明: 长江三角洲地区 0~20 cm 土壤有机碳库储量为 238.65 Tg, 有机碳密度为 $3.28 \pm 0.92 \text{ kg/m}^2$, 各类型土壤有机碳密度均值介于 $2.63 \sim 3.57 \text{ kg/m}^2$; 0~100 cm 土壤有机碳库储量为 822.76 Tg, 有机碳密度为 $11.30 \pm 3.48 \text{ kg/m}^2$, 各类型土壤有机碳密度均值介于 $9.35 \sim 11.94 \text{ kg/m}^2$; 0~180 cm 土壤有机碳库储量为 1 245.72 Tg, 有机碳密度为 $17.11 \pm 7.04 \text{ kg/m}^2$, 各类型土壤有机碳密度均值介于 $14.27 \sim 18.00 \text{ kg/m}^2$ 。与第二次土壤普查比较, 全区 0~20、0~100 cm 土壤有机碳密度均值都表现为上升趋势, 有机碳库储量增加, 土壤表现为碳汇功能。提供了新的土壤碳库实测统计信息, 为研究中国区域土壤碳固定潜力、深入全面理解区域碳循环提供基准数据。

关键词: 土壤有机碳库; 土壤有机碳密度; 长江三角洲地区

文献标识码: A

土壤是陆地生态系统最大的碳库, 土壤碳固定已成为降低大气温室气体浓度、减缓全球温室效应最为简便有效的方法^[1~4]。作为国际社会控制大气 CO₂ 浓度努力的一部分, 京都议定书的签字国要求建立其碳库清单及评估其碳库变化^[5]。土壤碳库储量反映土壤系统的固碳能力, 确定土壤碳库的储量、空间分布, 是建立土壤碳库清单、评估其历史亏缺或盈余、预测土壤碳固定潜力的一项基础工作, 对全面了解全球碳循环、气候变化及制定土地利用管理政策至关重要^[1, 2, 6~8]。土壤碳循环是土壤氮、硫、磷循环的驱动因子, 土壤中的各种含碳化合物影响黏粒矿物的组合、离子移动性、盐基交换性能、土壤水文特征等各种性质^[2, 7, 9]。作为土壤肥力的重要组成部分, 土壤有机碳直接影响了植物的生长, 从而影响陆地的生物碳库。

土壤碳库由有机碳库和无机碳库两大部分组成。土壤有机碳库是陆地碳库的主要组成部分, 全球 0~100 cm 深土壤有机碳库约为 1 500~2 000 Pg C^[2]; 土壤有机碳主要集中在土壤的表层, 土壤有机碳库对人类活动及气候变化更为敏感, 农业土壤有机碳的分解速度是自然土壤中的 1.8~4

倍^[10]。由于土壤有机碳在陆地生态系统中的重要作用和巨大库容, 开展土壤碳库及碳循环研究主要针对土壤有机碳库。

土壤碳库储量的统计一般按土壤类型、植被类型、生命带或模型法来做统计^[7, 11, 12]。国际上开展土壤有机碳库统计研究深度一般为表层 0~30、0~100 cm 深度, 少部分统计 0~200 cm 深度^[11~14]。中国土壤有机碳库统计研究从 20 世纪 90 年代开始, 土壤统计数据来源主要来自于中国第一、二次土壤普查资料, 统计深度一般为表层 0~20、0~100 cm 深度^[4, 15~23], 少部分统计研究深度超过 100 cm^[15]。这些数据反映的是中国 20 多 a 前的情况, 因此有必要切合实际情况继续进行更深入细致的研究。

中国地质调查局近 10a 来在全国实施多目标区域地球化学调查, 截止到 2008 年, 调查面积覆盖全国 $160 \times 10^4 \text{ km}^2$, 系统地测定土壤有机碳质量分数, 获得了土壤中高密度、大数据量的碳分布数据信息, 为精确计算土壤碳库及其研究提供了新的数据基础。本次研究以新近完成的多目标区域地球化学调查项目与全国土壤现状调查及污染防治项目实测

收稿日期: 2009-06-10; 修回日期: 2009-09-10

基金项目: 国家专项“全国土壤现状调查及污染防治”(项目编码: GZTR20070302); 江苏省自然科学基金(BK2007006)

作者简介: 许乃政(1971~), 男, 安徽省安庆人, 副研究员, 博士研究生, 研究方向为全球变化研究, E-mail: xzz100@sina.com

数据为基础,对长江三角洲地区土壤 0~20、0~100、0~180 cm 深度有机碳密度及储量实测统计,以期提供新的区域土壤有机碳库实测统计信息,为利用多目标地球化学调查数据进行土壤碳库研究提供借鉴,为研究中国区域土壤碳固定潜力提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 区域概况

长江三角洲陆域地理座标:东经 118°20′~121°55′,北纬 29°40′~32°40′,地处亚热带地区,气候温暖湿润。行政区包括江苏省南京、苏州、无锡、常州、南通、扬州、泰州和镇江 8 个市的全部或一部分,浙江省的湖州、嘉兴、杭州、绍兴、宁波和台州 6 个城市的全部或一部分,上海市全域。长江三角洲地区土壤覆被面积 $7.28 \times 10^4 \text{ km}^2$,土壤类型丰富多样,土壤类型按土类划分共有 15 类,分布最广的土类为水稻土、潮土、红壤、黄棕壤、滨海盐土;苏沪两地主要以水稻土、潮土为主,而红壤主要分布于浙江省丘陵山地。长江三角洲地区是中国经济实力最强、产业规模最大的地区,从 20 世纪 80 年代开始,其城市化、工业化迅速发展,土地利用方式、植被类型、土壤生态环境、土地耕作与管理方式已发生很大变化。

1.2 数据资料

实测数据基础来源于“多目标区域地球化学调查项目”与“全国土壤现状调查及污染防治项目”实测数据,土壤样品采集主要介于 2002~2005 年。表层土壤样品采集 18 211 件,采样点均匀覆盖全区,采样分析密度为 1 个样/4 km²,采样深度为 20 cm;深层土壤采集 4 602 件,采样点均匀覆盖全区,采样分析密度为 1 个样/16 km²,采样深度为 150~200 cm,一般为 160~180 cm,采样厚度为 20 cm;研究区布置 60 个土壤剖面,包括水稻土剖面 31 个,潮土剖面 17 个,红壤剖面 2 个,黄棕壤剖面 3 个,滨海盐土剖面 5 个,其它土类剖面 2 个,按发生层进行土层划分,分层采集土壤样品 243 件。有机碳采用重铬酸钾容量法分析,有机碳测试分析检出限为 0.1%,按照分析方法准确度和精密度的要求,采用实验室内部自我质量控制和实验室外部质量控制相结合的方法,采取严格的质量检查措施^[24,25]①。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤碳密度及碳库计算

土壤的碳密度和面积是计算土壤碳库的两个基本数据,精确的计算方法是进行土壤碳储量计算的基础。含 n 层土壤剖面区块单元土壤有机碳密度计算公式为:

$$T = \sum_{i=1}^n (1 - \theta_i\%) \times \rho_i \times C_i \times D_i / 100 \quad (1)$$

式中: T 为区块单元有机碳密度(kg/m²); $\theta_i\%$ 为第 i 层 > 2 mm 砾石体积分数(%); ρ_i 为第 i 层土壤容重(g/cm³); C_i 为第 i 层土壤有机碳的平均质量分数(g/kg); T_i 为第 i 层土层厚度(cm)。

本次研究土壤容重根据第二次全国土壤普查长江三角洲地区测定的土壤容重与土壤有机质质量分数资料以及土壤粘粒(< 0.002 mm)体积分数资料^[26],建立研究区土壤容重与有机质质量分数的数学模型,其回归方程式为:^[27]

$$\rho(x) = 1.564 \times e^{-0.085 \times x}$$

其中: $\rho(x)$ 为土壤容重(g/cm³); x 为有机质质量分数(%)。

将本次研究测定的土壤有机质质量分数,代入曲线回归方程,计算相应土壤容重。

研究区表层土壤经过长期人为的耕作熟化,表层土层中粒径 > 2 mm 的砾石体积分数极少,因此忽略不计。表层以下砾石体积分数根据本次研究采样土壤剖面土壤特性描述确定,统计 0~180 cm 土壤 > 2 mm 砾石体积分数为 0.16%。

土壤有机碳库储量计算公式为:

$$S = T \times A \quad (2)$$

式中, A 为区块单元面积。

根据本次研究采样布置方案,表层土壤 A 区块单元面积为 4 km²,深层土壤 A 区块单元面积为 16 km²,可直接计算土壤表层土壤有机碳密度($T_{0\sim 20\text{cm}}$)、深层土壤有机碳密度($T_{160\sim 180\text{cm}}$)及其储量。

1.3.2 0~100、0~180 cm 深度土壤碳密度计算

土壤的理化性质具有空间变异性,也具有空间相关性,因此许多学者利用拟合方程模拟土壤的理化性质在空间上的变化规律^[12,17,19,28],本次研究采用纵向拟合法研究土壤有机碳在土壤剖面上的变化规律。根据布置的 60 个土壤剖面实测数据,按土壤类型以线型函数、指数函数、幂函数、对数函数、二次函数、三次函数和复合函数等 7 种不同形式拟合有

①中国地质调查局. 中国地质调查局地质调查技术标准(DD2005-01): 多目标区域地球化学调查规范(1:250 000). 2005.

机碳平均质量分数与土层深度的曲线方程, 综合分析拟合曲线模型的拟合优度, 选择曲线模拟方程^[28, 29]。设曲线回归方法求得有机碳质量分数与土壤深度的曲线方程 $C = C(x)$, 土壤容重与土壤深度的曲线方程 $\rho = \rho(x)$, 0% 为 $> 2\text{ mm}$ 砾石体积分数($\%$), 根据积分中值定理, 可计算 D_1 到 D_2 深度, 土壤有机碳质量分数的平均值:

$$C = \int_{D_1}^{D_2} C(x) dx / D_2 - D_1 \tag{3}$$

0~ 100 cm 深度土壤有机碳密度计算公式:

$$T_{0-100\text{cm}} = T_{20\text{cm}} + \int_{20\text{cm}}^{100\text{cm}} (1 - 0\%) \rho(x) C(x) dx \tag{4}$$

0~ 180 cm 深度土壤有机碳密度计算公式:

$$T_{0-180\text{cm}} = T_{0-20\text{cm}} + \int_{20\text{cm}}^{160\text{cm}} (1 - 0\%) \rho(x) C(x) dx + T_{160-180\text{cm}} \tag{5}$$

土壤剖面各层次土壤碳密度计算见图 1。

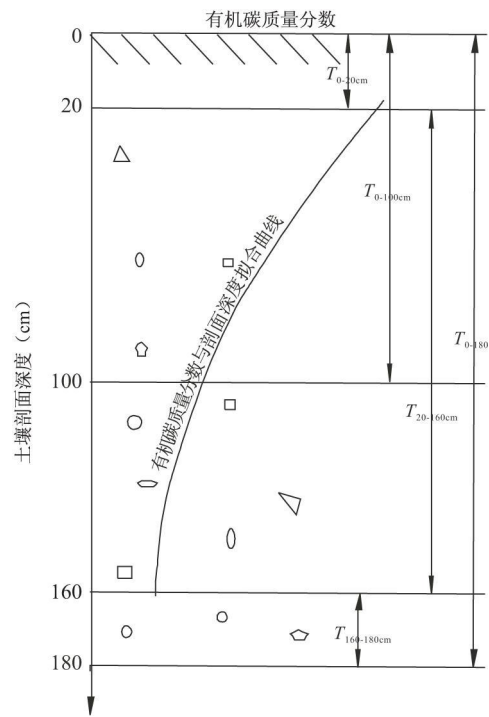


图 1 土壤剖面有机碳密度计算示意图

Fig. 1 Calculation of Organic Carbon Density for Different Soil Layer in Profiles

统计分析研究区水稻土 31 个土壤剖面土壤有机碳质量分数与深度显著负相关, 相关系数- 0.661 (置信度 0.05)。根据曲线 F 统计量大小、曲线估计标准误差、概率 P 和判定系数, 综合分析拟合曲线模型的拟合优度^[29, 30], 以幂函数为长江三角洲地区土壤有机碳质量分数与剖面深度之间的曲线估计模型, 其回归方程式为 $C(x) = 29.496 \times x^{-0.342}$, C 为有机碳质量分数(g/kg), x 为剖面深度(cm) (图 2)。

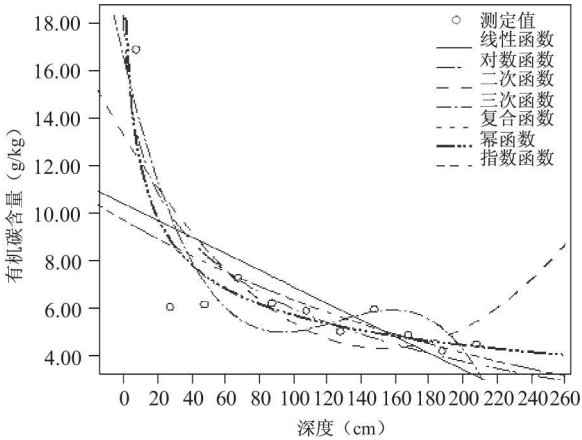


图 2 长江三角洲地区水稻土土壤剖面土壤有机碳质量分数与剖面深度拟合曲线

Fig. 2 Fitting Curves Between Soil Organic Carbon Content and Depth in Paddy Soil Profiles in the Yangtze Delta Region

统计分析研究区潮土土壤剖面土壤有机碳质量分数与深度显著负相关, 相关系数- 0.699 (置信度 0.05)。选择潮土土壤有机碳质量分数与深度回归方程式为幂函数 $C(x) = 15.784 \times x^{-0.253}$, 图 3。

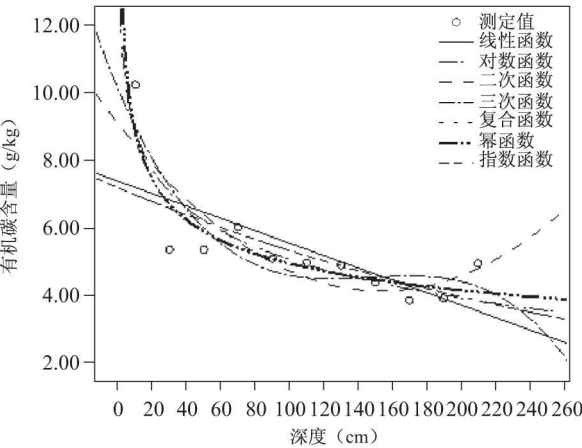


图 3 长江三角洲地区潮土土壤剖面土壤有机碳质量分数与剖面深度拟合曲线

Fig. 3 Fitting Curves Between Soil Organic Carbon Content and Depth in Fluvo-aquic Soil Profiles in the Yangtze Delta Region

滨海盐土土壤剖面有机碳质量分数与深度相关性较差, 相关系数为- 0.564; 黄棕壤、红壤及其它土壤土壤剖面数少, 不具代表性, 本次研究以全区 60 个垂直土壤剖面纵向拟合曲线代替。统计分析全区 60 个土壤剖面, 土壤有机碳质量分数与深度显著负相关, 相关系数- 0.678 (置信度 0.05)。红壤、黄棕

壤、滨海盐土及其它土类土壤有机碳质量分数与深度回归方程式为幂函数 $C(x)=21.766 \times x^{-0.297}$, 见图 4。

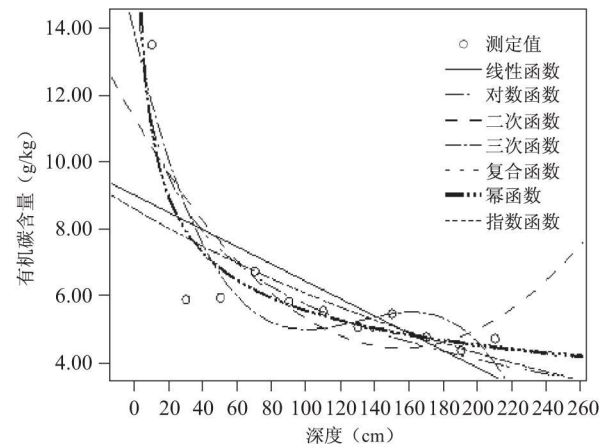


图 4 长江三角洲地区土壤剖面土壤有机碳质量分数与剖面深度拟合曲线

Fig.4 Fitting Curves Between Soil Organic Carbon Content and Depth in 60 soil Profiles in the Yangtze Delta Region

土壤类型面积采用 1: 50 万的长江三角洲地区土壤类型图作为基础图件来获取各类型土壤的分布面积。将表层土壤采样点在地理信息系统软件 ARCGIS9.2 平台生成泰森多边形, 与土壤类型图层进行空间叠置分析, 将采样点信息分别归属于各类型土壤中, 进而计算各类型土壤面积。统计计算长江三角洲地区水稻土面积为 $4.68 \times 10^4 \text{ km}^2$, 潮土面积为 $1.04 \times 10^4 \text{ km}^2$, 红壤面积 $0.51 \times 10^4 \text{ km}^2$, 黄棕壤面积为 $0.44 \times 10^4 \text{ km}^2$, 滨海盐土面积 $0.25 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其它土类面积 $0.36 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

2 结果与分析

2.1 表层 0~ 20 cm 深度土壤有机碳库统计与分布

土壤表层对气候变化最为敏感, 也是与人类活动关系最密切的区域, 对土壤质量及土地生产力的影响非常重要。长江三角洲地区表层土壤(0~ 20 cm)有机碳密度均值为 $3.28 \pm 0.92 \text{ kg/m}^2$, 变化范围 $0.40 \sim 7.75 \text{ kg/m}^2$, 其中有机碳密度在 $2.0 \sim 4.0 \text{ kg/m}^2$ 的面积超过 70%, 有机碳密度小于 2.0 kg/m^2 的面积不到 10%, 有机碳密度介于 $4.0 \sim 8.0 \text{ kg/m}^2$ 的面积约占 20%。全区表层土壤有机碳库容量为 238.65 Tg。表层土壤有机碳密度高的地区主要分布在太湖周边平原、苏北里下河平原及浙江杭州周边丘陵山地, 有机碳密度大部分介于 $3.0 \sim$

5.0 kg/m^2 , 土壤类型主要为水稻土、红壤、黄棕壤。红壤表层土壤有机碳密度均值为 3.57 kg/m^2 , 水稻土有机碳密度均值为 3.46 kg/m^2 , 有机碳密度红壤比水稻土高, 其可能原因是红壤分布区域主要在丘陵岗地, 主要为森林生态系统, 而森林生态系统较农田生态系统具有相对高的有机碳质量分数^[3]。表层土壤有机碳密度低的地区主要分布在沿江、沿海地带, 包括杭州湾沿岸滩涂、南通市沿海沿江地带、泰州高亢平原与崇明岛地区, 有机碳密度大部分介于 $1.0 \sim 3.0 \text{ kg/m}^2$, 土壤类型主要为潮土、滨海盐土等土类。相对于农林生态系统, 城市生态系统表层土壤有机碳密度较高。长江三角洲地区城市生态系统表层土壤有机碳密度均值为 $3.70 \pm 1.16 \text{ kg/m}^2$, 变化范围介于 $0.96 \sim 11.06 \text{ kg/m}^2$, 其均值是郊区的 1.02 倍, 是乡村的 1.14 倍, 随城市-郊区-乡村空间梯度演替, 表层土壤有机碳密度渐趋降低, 这种变化趋势与章明奎等对杭州市土壤碳库演变研究的结果一致^[31]。长江三角洲地区表层土壤有机碳密度分布见图 5。与第二次土壤普查比较, 全区有机碳密度均值及主要分布土壤类型表层土壤有机碳密度都表现为上升趋势。有机碳密度变化与有机碳初始

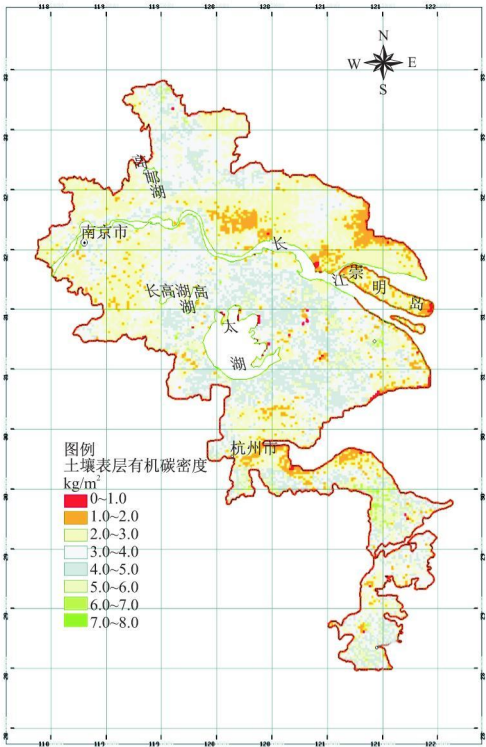


图 5 长江三角洲地区表层土壤(0~ 20 cm)有机碳密度分布图

Fig.5 Spatial Distribution of Soil Organic Carbon Density for 0~ 20 cm Depth in the Yangtze Delta Region

含量密切相关, 初始含量低的土壤有机碳增加明显, 潮土、滨海盐土初始含量低, 有机碳密度上升幅度超过 20%, 水稻土上升幅度不到 10%。

2.2 0~ 100 cm 深度土壤有机碳库统计

国际上以土壤剖面深度 0~ 100 cm 深度作为土壤碳库计算的基准, 为了进行全球对比, 本次研究进行 0~ 100 cm 深度土壤碳库统计。长江三角洲地区 0~ 100 cm 深度土壤有机碳库储量为 822. 76 Tg, 全区 0~ 100 cm 深度土壤有机碳密度为 11. 30±3. 48 kg/m²。0~ 20 cm 深度土壤有机碳库分别占 0~ 100 cm 土壤有机碳库储量的 29. 01%, 明显低于第二次土壤普查以典型剖面测试数据为基础的全国平均比例 40%^[21]。各类型土壤 0~ 100 cm 深度土壤有机碳密度均值介于 9. 35~ 11. 94 kg/m², 水稻土有机碳密度最高, 潮土有机碳密度最低, 分别为 11. 94、9. 35 kg/m²。本区主要分布土类水稻土、潮土 0~ 100 cm 深度土壤有机碳库储量分别为 558. 79、97. 24 Tg, 占全区 0~ 100 cm 深度土壤有机碳库储量的 67. 92%、11. 82%。与第二次土壤普查比较, 全区 0~ 100 cm 深度有机碳密度均值表现为上升趋势, 主要分布土壤类型土壤有机碳密度都基本上表现为上升趋势。

2.3 0~ 180 cm 深度土壤碳库统计

国际上土壤碳库统计大都统计表层土壤与 0~ 100 cm 深度土壤, 实际上许多土壤都比较厚, 100

cm 以下的深部土壤中的碳, 在总碳库中占重要部分, 因此深部土壤碳库估算对深入全面理解碳循环影响是必须的, 美国的统计土壤深度达 200 cm^[11]。长江三角洲地区土壤发育良好, 绝大部分土壤剖面厚度超过 100 cm, 有些甚至超过 300 cm。本次计算研究深度为 180 cm。

长江三角洲地区 0~ 180 cm 深土壤有机碳库储量 1 245. 72 Tg, 全区土壤有机碳密度为 17. 11±1. 16 kg/m²。0~ 20、0~ 100 cm 深度土壤有机碳库分别占 0~ 180 cm 深度土壤有机碳库储量的 19. 16%、66. 05%, 接近美国相应的比例^[13]。水稻土 0~ 180 cm 深度土壤有机碳密度均值为 18. 00 kg/m², 为有机碳密度最高的土壤类型; 潮土有机碳密度最低, 均值为 14. 27 kg/m²。水稻土面积占全区面积的 64. 29%, 土壤有机碳库储量占全区区域有机碳库储量的 67. 62%。根据江苏省地质调查研究院对相同深度有机碳库的统计, 江苏省平均有机碳密度值与本次研究结果接近, 但是各类型土壤有机碳密度均值有些差异^[24], 其原因是计算方法不同, 前者计算依据是土壤有机碳在土壤剖面上的变化是线性关系、统计计算也没有考虑除去砾石体积分数, 土壤容重也是直接引用第二次土壤普查测定数据。长江三角洲地区主要土壤类型 0~ 20、0~ 100 及 0~ 180 cm 深度土壤有机碳密度与储量实测结果见表 1。

表 1 长江三角洲地区主要土壤类型 0~ 20、0~ 100、0~ 180 cm 深度土壤有机碳密度与储量统计分析

Tab. 1 Soil Organic Carbon Density and Storages for 0~ 20, 0~ 100 and 0~ 180 cm Depth in the Yangtze Delta Region

土壤类型	0~ 20 cm			0~ 100 cm			0~ 180 cm		
	有机碳密度 (kg/m ²)		有机碳碳库 (Tg)	有机碳密度 (kg/m ²)		有机碳碳库 (Tg)	有机碳密度 (kg/m ²)		有机碳碳库 (Tg)
	均值	SD*		均值	SD		均值	SD	
水稻土	3. 46	0. 86	161. 93	11. 94	3. 06	558. 79	18. 00	7. 71	842. 31
潮土	2. 72	0. 80	28. 33	9. 35	2. 82	97. 24	14. 27	5. 73	148. 41
红壤	3. 57	0. 97	18. 21	11. 16	4. 88	56. 91	17. 10	5. 07	87. 20
黄棕壤	3. 12	0. 85	13. 73	10. 70	3. 23	47. 08	16. 13	5. 33	70. 96
滨海盐土	2. 79	0. 93	6. 98	10. 38	3. 38	25. 95	16. 01	4. 43	40. 03
其他土类	2. 63	0. 89	9. 47	10. 22	3. 48	36. 79	15. 78	7. 04	56. 81
全区	3. 28	0. 92	238. 65	11. 30	3. 48	822. 76	17. 11	7. 04	1245. 72

* SD: 标准差

3 结论

长江三角洲地区表层土壤有机碳密度高的土壤类型主要为水稻土、红壤、黄棕壤, 有机碳密度大部分介于 3. 0~ 5. 0 kg/m²; 表层土壤有机碳密度低的土壤类型主要为潮土、滨海盐土等土类, 其有机碳密

度介于 1. 0~ 3. 0 kg/m²。0~ 100、0~ 180 cm 深度土壤有机碳库统计, 水稻土有机碳密度分别为 11. 94、18. 00 kg/m², 为有机碳密度最高的土壤类型。水稻土、潮土面积占全区面积的 64. 29%、14. 29%, 0~ 180 cm 深度土壤有机碳库储量占土壤有机碳库储量的 67. 62%、11. 91%。

土壤有机碳质量分数随着土壤深度增加而降

低,本次研究统计土壤碳库深度超越通常 0~ 20、0~ 100 cm 深度,土壤深度统计达到 180 cm。100 cm 深度以下土壤有机碳库储量为 422. 96 Tg, 100 ~ 180 cm 深度土壤有机碳库占 0~ 180 cm 土壤有机碳库储量的 33. 96%, 深部土壤库中的碳,在总碳库中占重要地位,因此统计深部土壤碳库估算对全面深入理解碳循环影响是必须的。

致谢 江苏省地质调查院、浙江省地质调查院、上海市地质调查院提供 1: 250 000 多目标地球化学调查数据,安徽省地质实验研究所测试部分研究数据,在此一并致谢。

参考文献:

[1] FELLER C, BERNOUX M. Historical advances in the study of global terrestrial soil organic carbon sequestration[J]. Waste Management, 2008, 28(4): 734~ 740.

[2] JANEZEN H H. Carbon cycling in earth systems—A soil science perspective[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004, 104(3): 399~ 417.

[3] HUTCHISON J J, CAMPBELL C A, DESJARDINS R L. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 142(2~ 4): 288~ 302.

[4] FANG J, CHEN A, PENG P, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science, 2001, 292: 2 320~ 2 322.

[5] EVE M D, SPEROW M, PAUSTIAN K, et al. National-scale estimation of changes in soil carbon stocks on agricultural lands[J]. Environmental Pollution, 2002, 116(3): 431~ 438.

[6] HOUGHTON R A, HACKLER J L, LAWRENCE K T. The U. S. carbon budget: Contributions from land-use change[J]. Science, 1999, 285: 574~ 578.

[7] MILNE E, ADAMAT R A, BATJES N H, et al. National and sub-national assessments of soil organic carbon stocks and changes: The GEFSOC modelling system[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 122(1): 3~ 12.

[8] FREIBAUER A, ROUNSEVELL M D A, SMITH P, et al. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe[J]. Geoderma, 2004, 122(1): 1~ 23.

[9] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 547.

[10] YAN H M, CAO M K, LIU J Y, et al. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2007, 121(4): 325~ 335.

[11] 邵月红, 潘剑君, 许信旺, 等. 浅谈土壤有机碳密度及储量的估

算方法[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 1 007~ 1 011.

[12] 徐 艳, 张凤荣, 段增强, 等. 区域土壤有机碳密度及碳储量计算方法探讨[J]. 土壤通报, 2005, 36(6): 836~ 839.

[13] GUO Y, AMUNDSON R, GONG P, et al. Quantity and spatial variability of soil carbon in the conterminous United States[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70: 590~ 600.

[14] SINGH S K, SINGH A K, SHARMA B K, et al. Carbon stock and organic carbon dynamics in soils of Rajasthan, India[J]. Journal of Arid Environments, 2007, 68(3): 408~ 421.

[15] LI Z P, HAN F X, SU Y, et al. Assessment of soil organic and carbonate carbon storage in China[J]. Geoderma, 2007, 138(1~ 2): 119~ 126.

[16] YU D S, SHI X Z, WANG H J, et al. Regional patterns of soil organic carbon stocks in China[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85(3): 680~ 689.

[17] 李 忠, 孙 波, 赵其国. 我国东部土壤有机碳的密度和储量[J]. 农业环境保护, 2001, 20(6): 385~ 389.

[18] 解宪丽, 孙 波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 35~ 43.

[19] 金 峰, 杨 浩, 蔡祖聪, 等. 土壤有机碳密度及储量的统计研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 522~ 527.

[20] ZHANG H B, LUO Y M, WONG M H, et al. Soil organic carbon storage and changes with reduction in agricultural activities in Hong Kong[J]. Geoderma, 2007, 139(3~ 4): 412~ 419.

[21] 潘根兴. 中国土壤有机碳和无机碳库量研究[J]. 科技通报, 1999, 15(5): 330~ 332.

[22] WU H B, GUO Z T, PENG C H. Distribution and storage of soil organic carbon in China[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2003, 17: 1 048~ 1 058.

[23] 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. 地理研究, 1999, 18(4): 349~ 356.

[24] 奚小环, 张建新, 廖启林, 等. 多目标区域地球化学调查与土壤碳储量问题[J]. 第四纪研究, 2008, 28(1): 58~ 67.

[25] 叶家瑜, 姚 岚. 区域地球化学调查样品分析质量控制方法探讨[J]. 岩矿测试, 2004, 23(2): 137~ 142.

[26] 全国土壤普查办公室. 中国土种志(第一卷)[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 924.

[27] 许乃政, 张桃林, 王兴祥, 等. 长江三角洲地区土壤无机碳库研究[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(11): 1038~ 1044.

[28] 孙维侠, 史学正, 于东升. 土壤有机碳的剖面分布特征及其密度的估算方法研究[J]. 土壤, 2003, 35(3): 236~ 241.

[29] 周仁郁. SPSS13. 0 统计软件[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2005: 180.

[30] 张红兵, 贾来喜, 李 潞. SPSS 宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 603.

[31] 章明奎, 周 翠. 杭州市城市土壤有机碳的积累和特性[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 19~ 21.

STATISTICAL CALCULATION OF SOIL CARBON
STORAGES IN THE YANGTZE DELTA REGION

XU Nai-zheng^{1,2}, ZHANG Tao-lin¹, WANG Xing-xiang¹, LIU Hong-ying²

(1. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Ministry of Land Resources, Nanjing 210016, China)

Abstract: Soil carbon stock plays an essential role in global greenhouse effect and global carbon circulation. This paper statistically calculated the soil organic carbon storages and densities for 0~ 20, 0~ 100, 0~ 180 cm depth in the Yangtze Delta region based on 1: 250 000 multi-purpose regional geochemical survey and interrelated research by ARCGIS9. 2 and statistical software SPSS13. 0. The soil organic carbon storage and density for 0~ 20 cm depth are calculated as 238. 65 Tg, $3.28 \pm 0.92 \text{ kg/m}^2$, and mean densities of various soil types range 2. 63~ 3. 57 kg/m^2 . The soil organic carbon storage and density for 0~ 100 cm depth are 822. 76 Tg, $11.30 \pm 3.48 \text{ kg/m}^2$, and mean densities of various soil types range 9. 35~ 11. 94 kg/m^2 . The soil organic carbon storage and density for 0~ 180 cm depth are 1245. 72 Tg, $17.11 \pm 7.04 \text{ kg/m}^2$, and average densities of various soil types range 14. 27~ 18. 00 kg/m^2 . Compared with the data of second national soil survey in early 1980s, the mean densities for 0~ 20 cm and 0~ 100 cm depth soil in this region rise, soil organic carbon storages increase, and the soil demonstrated the carbon sink effect. The lately evaluation of soil organic carbon storages extends to greater soil depth, which could contribute to baseline data to evaluate regional carbon sequestration potential and to understand carbon circulation thoroughly.

Key words: soil organic carbon stock; soil organic carbon density; the Yangtze Delta region