

安徽省土壤有机碳空间差异及影响因素

许信旺^{1,2,3}, 潘根兴^{1,*}, 曹志红³, 汪艳林³

(1. 南京农业大学农业资源与生态环境研究所, 南京 210095; 2. 池州学院地理系, 安徽 池州 247000;
3. 安徽师范大学地理系, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 区域土壤碳储量和碳固定潜力及影响因素分析是全球变化中碳循环研究的重要前沿问题。本文采用第二次土壤普查资料, 研究了安徽省不同类型土壤的有机碳密度和碳库, 分析了影响土壤有机碳分布的自然和人为因素。结果表明, 安徽土壤有机碳库为 0.71Pg, 表层土壤有机碳库为 0.28Pg; 土壤平均有机碳密度达 117.54 t/hm², 碳密度的空间分布为: 皖南山区 > 皖西大别山区 > 沿长江平原 > 江淮丘陵 > 淮北平原区; 气候和植被控制着表层土壤有机碳的省域分布, 降水与土壤有机碳含量呈正相关。地形和母质影响土壤亚类间有机碳的差异; 土壤总氮与土壤有机碳呈极显著相关, 平原区土壤粘粒含量与表层土壤有机碳固定有较大关系。

关键词: 土壤有机碳; 地理分布; 影响因素; 安徽省

文章编号: 1000-0585(2007)06-1077-10

温室气体减排已成为国际社会共同关注的热点。自然生态系统在全球碳循环中的地位 and 作用愈来愈受到科学家的重视。土壤有机碳是陆地生态系统碳平衡的主要因子^[1], 土壤碳控制着地球表层系统之间的碳循环^[2]。已有研究表明, 全球陆地生态系统中, 土壤碳库是植被和大气碳库的 2.5~3 倍^[3]。土壤碳储量的估算及影响因素分析是陆地生态系统碳循环的基础。我国已开展了大量土壤碳库估计的研究, 对中国土壤有机碳库估算进行了探索^[4~6]。同时还开展了我国不同地理区域和部分省区土壤有机碳库估计^[7~12], 也有学者对县域尺度表层土壤有机碳库及其时空变化进行了研究^[13,14]。全国尺度碳库计算时, 以 1m 作为平均深度来计算各土种的碳量, 存在较大不确定性。对省域尺度土壤有机碳库的估算仅计算表层土壤有机碳存在不完整性, 土壤有机碳空间分布规律及影响因素的研究尚显不足。土壤有机碳影响因素多从土地利用方式、耕作措施、施肥方式和土壤本身的性状等角度开展研究^[10,15~18], 而土壤有机碳储量及时空变化是人为因素和自然因素共同作用的结果, 加强省域尺度自然因素对土壤有机碳影响研究, 以弥补这方面的欠缺。安徽省地跨长江两岸, 自然条件的地理分异明显, 土地利用类型存在较明显的区域差异。本文试图以第二次土壤普查、安徽省土壤环境背景值调查资料中土壤资料为基础^[19], 利用全剖面实测数据, 计算安徽省土壤有机碳密度及碳库, 讨论有机碳密度的地域差异, 分析自然因素、人为利用对土壤有机碳库的影响, 为探讨土壤有机碳密度的区域分布格局的成因和农业土

收稿日期: 2007-03-23; 修订日期: 2007-08-14

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40231016); 国家自然科学基金国际合作重大项目(40710019002); 安徽省教育厅自然科学基金(2006kj187B)

作者简介: 许信旺, (1962-), 男, 安徽枞阳人, 教授。主要从事资源环境与自然地理的教学和研究工作。已发表论文 30 多篇。E-mail: xuxinwang@163.com

* 通讯作者: 潘根兴, 南京农业大学教授, 博士生导师。

壤固碳的生态价值评估提供依据。

1 区域概况与研究方法

1.1 区域概况

安徽位于我国东南部,跨长江、淮河中下游,生态区位十分重要。安徽省东临以上海为中心的长江三角洲经济区,西接中原腹地,又是华北与华南的过渡带。全省南北长约 570 km,东西宽约 450 km,总面积 139427 km²,其中耕地面积 4117.61 km² (2006 年末实有耕地面积),水面 5866 km² (2003 年末)。安徽地貌类型呈多样性,长江和淮河自西向东横贯全境,将全省分为淮北、江淮、江南三大自然区。自北至南依次为淮北平原区、江淮丘陵区、皖西大别山区、沿江平原区和皖南山区。安徽分布有广泛的水面,除长江和淮河横贯全境外,巢湖和其他众多湖泊分布于中部。安徽的气候大致以淮河为界,北部为暖温带半湿润季风气候,南部为亚热带湿润季风气候。年平均气温 14~17℃,极端最低气温 -24.3℃,极端最高气温 43.3℃;年日照时数为 1800~2500 小时;年降水量在 750~1600mm 之间;年无霜期 200~250 天。主要植被类型有:针叶林、针阔混交林、阔叶林、常绿与落叶阔叶林、灌丛等,主要土壤类型有:红壤、黄壤、黄棕壤、棕壤、黄褐土、紫色土、石质土、粗骨土、砂姜黑土、潮土、水稻土、石灰土、山地草甸土等。独特的地理位置、多样的地貌类型、完整的土壤植被带,均具有明显的亚热带特性。选择安徽省作为研究区,从自然角度看,在亚热带地区具有代表性;从农业土地利用类型看,在华东地区也具有代表性。

1.2 资料

本研究中所采用的基本资料是全国第二次土壤普查资料的成果汇编《安徽土种》^①及安徽省土壤环境背景值调查中的数据,土壤有机碳库和碳密度估算中使用的有机质含量、厚度、容重数据,采用 218 个典型剖面的实测数据。各土种的面积根据第二次土壤普查统计得出。有机碳含量由有机质含量除以 1.724 求得。部分土壤剖面缺少土壤容重数据,则根据 Song 等(2004)研究^[4],按自然土壤和耕作土壤容重分别采用下式估计:

$$\text{自然土壤: } \gamma = 1.3565 \times e^{-0.0046 \times \text{SOC}} \quad (1)$$

$$\text{耕作土壤: } \gamma = 1.3770 \times e^{-0.0048 \times \text{SOC}} \quad (2)$$

1.3 土壤碳密度和碳储量计算方法

土壤的碳密度(Doc)和碳储量(Poc)由下列公式求得^[7]:

$$\text{Doc} = \text{SOC} \times \gamma \times H_i \times 10^{-1} \quad (3)$$

式中:Doc 为碳密度(tC·hm⁻²),SOC 为有机碳含量(g/kg),γ 为土种平均容重(g/cm³),H 为土层厚度(cm)。

在式(3)的基础上,土壤总有机碳库由下式计算^[7]:

$$\text{Poc}(\text{tC}) = \sum_{i=1}^n S_i \times \sum_{j=1}^n \text{SOC}_j \times H_j \times \gamma_j \times 10^{-1} \quad (4)$$

式中:Poc 为土种土壤碳储量(t),S_i 为某土种面积(hm²),i=1,2,3⋯,218,为土种,j=1,2,3⋯,为土壤剖面的不同层次。SOC_j 为第 j 个土层的有机碳含量(g/kg),H_j 为第 j 土层的厚度(cm);γ_j 为 j 土层的容重(g/cm³)。所有土种碳储量之和即为全省土壤碳储量。

①安徽省土壤普查办公室. 安徽土种. 1990.

统计分析工作借助 EXCEL2003 和 SPSS11.0 软件完成。

2 安徽省土壤碳储量与碳密度计算结果

2.1 按土壤类型的有机碳库估算与碳密度统计

分别按土种计算不同层次全剖面土壤有机碳密度与碳库, 汇总后列于表 1。由表 1 可见, 安徽省土壤总有机碳库为 0.71Pg, 许信旺等曾研究得出安徽表层土壤有机碳库的总储量为 0.28Pg^[11], 由此可见, 表层土壤有机碳库占土壤有机碳总库的 39.44%。最近几年, 对中国土壤有机碳库进行的统计研究^[5,7], 表明中国土壤有机碳库为 50Pg, 其中表层土壤有机碳库 20Pg, 表层土壤有机碳库占 40%。安徽省表层土壤有机碳库的比例接近全国平均水平。

表 1 安徽省土壤有机密度与碳库分布

Tab. 1 SOC density and C storage of Anhui Province

土类	面积(10 ⁴ hm ²)	面积比重(%)	有机碳密度(tC/hm ²)	总有机碳库(Tg)	碳库比重(%)
红壤	169.85	17.20	92.33±17.32	166.5±5.30	23.46
黄壤	11.16	1.13	106.99±16.88	13.2±1.16	1.86
黄棕壤	53.25	5.39	108.51±25.40	45.8±1.07	6.45
黄褐土	83.17	8.42	50.43±9.11	39.4±1.07	5.55
紫色土	18.58	1.88	72.96±12.00	15.2±0.84	2.15
石质土	6.15	0.62	20.63±9.87	1.2±0.26	0.17
粗骨土	121.60	12.31	139.19±51.96	37.0±4.70	5.22
砂姜黑土	115.42	11.69	57.19±8.31	62.0±1.38	8.73
潮土	120.05	12.16	68.63±14.80	71.6±0.98	10.08
水稻土	241.14	24.42	114.37±27.94	183.3±1.20	25.82
棕壤	10.76	1.09	417.18±96.71	23.3±2.57	3.28
石灰土	36.26	3.67	137.75±18.84	51.3±4.27	7.23
山地草甸土	0.08	0.01	141.91±0.00	0.1±0.00	0.02
合计/平均	987.47	100	117.54±23.78	710.0±24.8	100

安徽省土壤总有机碳库高于江苏省土壤总有机碳库值(0.44Pg)^[12], 但低于福建省土壤有机碳库总储量 1.58Pg^[8], 也低于广东省土壤有机碳储量 1.75Pg^[9]。从单位土地面积的碳储存来看, 安徽为 71.9tC/hm², 反而低于江苏省(73.06tC/hm²), 更低于广东省(99.94tC/hm²)和福建省(144.38tC/hm²)。

从土壤有机碳密度特征来看, 安徽表层土壤平均有机碳密度为 29tC/hm²^[11], 整个剖面土壤平均有机碳密度为 117.54tC/hm², 低于福建省(145.235tC/hm²)^[8], 但高于广东省(104.45tC/hm²)^[9]以及全国平均值(108.35tC/hm²)^[6]和世界平均值(107.75tC/hm²)^[20]。

从土壤类型来看, 棕壤、山地草甸土有机碳密度较高, 而石质土、黄褐土有机碳密度较低。水稻土有机碳密度(114.37tC/hm²)高于福建(111.63tC/hm²)^[8]和全国(103.1tC/hm²)^[6]平均水平。

2.2 按地理分区的表层土壤有机碳密度与碳库的分布

在大尺度上, 土壤有机碳的空间分布, 取决于气候因素、植被类型、土壤类型和母质以及地形、地貌等条件。土壤有机碳在水平方向上的分布格局对宏观尺度上的土地利用和管理具有指导意义。全省表层土壤有机碳库按地理区域的统计结果列于表 2。土壤有机碳

库皖南山区最高为 116.66Tg, 占 41.83%, 其次江淮丘陵区为 91.67Tg, 占 32.87%, 淮北平原、皖西大别山区和沿长江平原有机碳库分别为: 33.39Tg、20.64Tg、16.55Tg。按算术平均值, 表层土壤有机碳密度以下序递减: 皖南山区>皖西大别山区>沿长江平原>江淮丘陵区>淮北平原区。面积加权后平均有机碳密度(tC/hm^2)的变化顺序为: 皖南山区 ($35.18tC/hm^2$) > 沿长江平原 ($33.98tC/hm^2$) > 江淮丘陵区 ($28.71tC/hm^2$) > 皖西大别山区 ($25.16tC/hm^2$) > 淮北平原区 ($16.22tC/hm^2$)。因此, 安徽省土壤有机碳密度在五大地理区域间存在明显分异, 总体变化东南部高于西北部, 皖南山区最高, 淮北平原最低。皖南山区属北亚热带湿润气候, 平均年降水量达 1200~1400mm, 森林覆盖率较高, 农业自然生态条件较优越, 土壤有机碳含量平均为 24.63g/kg。而皖北多为黄淮沉积物覆盖的平原, 平均年降水量小于 900mm, 地带性植被为落叶阔叶林, 植被覆盖率低, 土壤肥力水平较低, 土壤有机碳含量平均为 17.79g/kg。

表 2 安徽省表层土壤有机碳密度和碳量的地区差异

Tab. 2 Distribution of SOC density and C storage in geographical regions of Anhui Province

地理区域	面积 (10^4hm^2)	面积比例 (%)	有机碳密度 (tC/hm^2)	面积加权碳密度 (tC/hm^2)	有机碳库 (Tg)	碳库比例 (%)
淮北平原	205.87	20.85	$16.00 \pm 2.92c$	16.22	33.39	11.97
江淮丘陵	319.27	32.33	$29.50 \pm 12.71bc$	28.71	91.67	32.87
皖西山区	82.04	8.31	$35.82 \pm 12.51a$	25.16	20.64	7.4
皖南山区	331.57	33.58	$39.80 \pm 17.63a$	35.18	116.66	41.83
沿长江平原	48.71	4.93	$34.53 \pm 18.24b$	33.98	16.55	5.97
合计/平均	987.46	100	31.13 ± 13.45	27.85	278.91	100

注: 带不同字母的数值之间具有显著差异 ($P < 0.05$)

3 影响土壤有机碳分布的因素分析

3.1 气候制约着土壤有机碳的省域分布

安徽省地处暖温带与亚热带的过渡地带, 淮河是我国重要的地理分界线。全省各地年平均气温由北向南逐渐增高, 除个别山区外, 南北温差 $2^{\circ}C$ 左右。本省日均温度稳定通过 $10^{\circ}C$ 的持续期约 215~240 天左右, 南北相差 25 天。稳定通过 $>10^{\circ}C$ 积温, 全省在 4500~5500 $^{\circ}C$ 之间。冬季 (1 月) 平均气温 $-2 \sim -4^{\circ}C$, 自北向南递增, 夏季 (7 月) 平均气温为 $27 \sim 29^{\circ}C$ 。本文选择平均年降水量 (X) 作为变量, 讨论气候条件对土壤有机碳密度 (DOC) 分布的影响。

图 1 表明安徽省五大自然地理区域的降水与土壤有机碳呈正相关, ($R^2 = 0.88$, $N = 5$), 相关系数可以通过显著性检验, 说明随着降水的增多, 土壤中有有机质含量也相对增加。气温与土壤有机碳的相关系数通不过显著性检验, 说明安徽省的气温不是

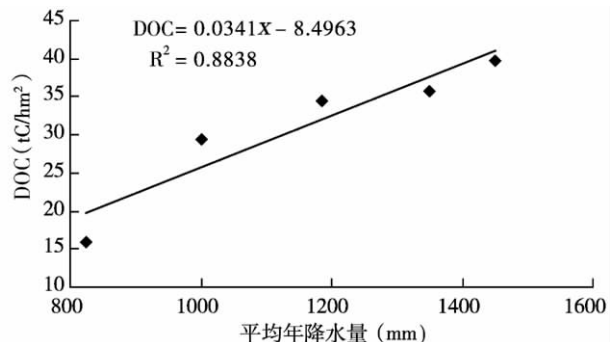


图 1 降水与土壤有机碳密度的关系

Fig. 1 The relationship between precipitation and density of soil organic carbon

土壤有机碳分布的控制性因素。安徽省的气候适宜较多的植物种类生长,从而加大了生物小循环的速度。由于温度和雨量适中,又促进了有机质的积累。全省各地区的土壤有机碳的分布与降水特点相吻合,降水的高值区与有机碳密度的高值区对应。其原因:一方面,气候条件制约植被类型、影响植被的生产力,从而决定输入土壤的有机碳量;另一方面,从土壤有机碳的输出过程来说,微生物是其分解和周转的主要驱动力,气候通过土壤水分(同时影响土壤通气状况)和温度等条件的变化,影响微生物对有机碳的分解和转化^[6,7]。降水和气温升高可能提高光合作用速率以及水分利用和养分利用效率而提高植物的生产力,增加土壤有机碳库的输入,也可能提高植物呼吸速率降低土壤有机碳库的输入,并加速土壤有机质的分解而降低土壤有机碳含量。在安徽省表现为有机碳积累量大于分解量,总体上,土壤有机碳随降水增多而增加。

3.2 不同植被类型下土壤有机碳的差异

植被与土壤有着密切的关系。植物不仅从土壤中吸取其生长发育所必需的营养物质,而它本身的有机残体又是土壤有机质的重要来源之一。

表3 不同植被类型下土壤有机碳

Tab. 3 Soil organic carbon under different vegetation types

类型	面积 (10 ⁴ hm ²)	平均厚度 (cm)	SOC (g/kg)	碳密度 T/hm ²	碳库 (Tg)	面积比重 (%)	碳库比重 (%)
灌丛	3.29	14.1	21.2	36.8119	1.2	8.5	6.6
常绿与落叶阔叶林	0.86	16.7	21.8	44.53025	0.4	2.2	2.1
马尾松林	12.07	13.4	18.5	30.9086	3.7	31.2	20.3
黄山松林	0.94	21.7	63.1	138.6878	1.3	2.4	7.1
杉木林	2.10	17.8	9.9	22.78533	0.5	5.4	2.6
针阔混交林	13.34	17.4	34.5	69.55167	9.3	34.5	50.4
竹林	0.09	32.3	34.3	128.2068	0.1	0.2	0.6
茶园	6.01	14.0	18.3	31.99484	1.9	15.5	10.4

安徽省不同植被土壤有机碳的含量分布见表3,不同植被土壤有机碳含量顺序依次为:黄山松林>针阔混交林>竹林>常绿与落叶阔叶林>灌丛>马尾松林>茶园>杉木林。土壤表层有机碳含量变化较大,含量范围在9.9~63.1g/kg之间。对于耕作土壤,由于作物秸秆在收获时移出和淋溶损失较高、作物残体分解能力弱等原因,其有机碳密度较森林土壤低^[21]。从安徽省的植被与土壤有机碳的含量可说明,不同的植被类型对土壤有机碳的贡献是不同的。常绿阔叶林、马尾松林、杉木林和毛竹林是我国亚热带最主要的4种森林类型。徐秋芳等^[21]研究了以上4种森林植被对土壤有机碳含量的影响。结果表明,土壤总有机碳含量为:常绿阔叶林和毛竹林高于杉木林和马尾松林。本研究结果也表明:毛竹林显著高于杉木林,常绿阔叶林和杉木林均显著高于马尾松林。

3.3 地形地貌对土壤有机碳的影响

不同地形上的植物种类及繁茂程度不同,它们在地表所积累的有机碳数量和质量也不同,这样引起了土壤表层有机质的差异。安徽省地形是平原和低山丘陵相间排列,地貌类型多样,平原、丘陵、山地各占总面积的30%左右。根据土壤有机碳的分布(图2),山区高于低丘和平原区,全省500m以下的低丘平原区,表层土壤有机碳平均含量为12.85±8.27g/kg,500m以下的低丘平原区,97.4%的样本表层土壤有机碳储量低于30g/kg。500m以上的山地,表层土壤有机碳的平均值为35.3±21.53g/kg。皖南山区海拔500m

以上的山地土壤样本占皖南山区样本总数的 36%，其表层有机碳平均含量达 47.15g/kg，是皖南山区表层土壤有机碳平均值的 6.69 倍^[19]。土壤的有机碳含量(SOC)与海拔高度(X)呈极显著正相关，其相关系数($R = 0.66$, $N = 217$)可以通过显著性检验，说明土壤中有有机碳含量随海拔高度的升高而增加。

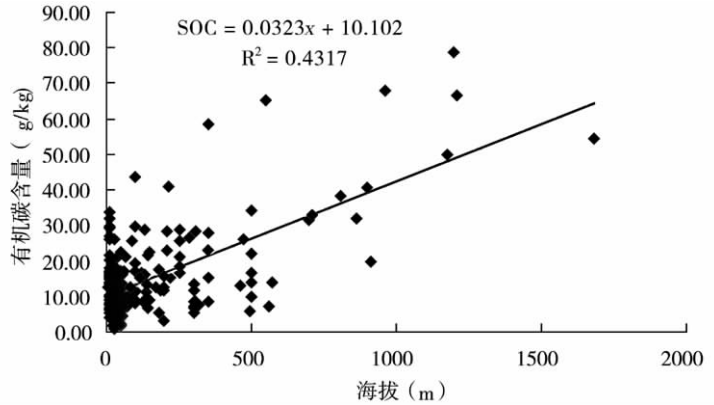


图 2 海拔高度与表层土壤有机碳关系

Fig. 2 The relationship between altitude and soil organic carbon

3.4 不同母质下土壤有机碳的差异

成土母质是形成土壤的物质基础。母质的类型直接影响着土壤的发生。由于成土母质的类型不同,同类土壤可发育生成不同的亚类土壤,其有机碳含量是有一定差异的(见表 4)。

表 4 各亚类表层土壤中有有机碳含量

Tab. 4 SOC content in different hypo-species soils

土类	亚类	母质	样本数	SOC(g/kg)
潮土	沙姜黑土	黄河古河流沉积物	23	6.79±1.8
潮土	碱潮土	滨河泛滥相沉积物	5	5.97±2.73
潮土	盐潮土	滨河泛滥相沉积物	5	4.12±0.75
潮土	棕潮土	淮河沉积物	5	6.55±2.32
潮土	普通潮土	黄泛沉积物	16	8.24±2.61
棕壤	山地棕壤	片麻岩花岗岩坡积物	4	33.76±13.11
棕壤	潮棕壤	山河冲积物	6	8.06±0.93
棕壤	棕壤	黄土性母质	2	11.48±0.17
黄棕壤	山地黄棕壤	花岗岩风化物	8	38.34±20.30
黄棕壤	普通黄棕壤	石英岩花岗岩风化物	26	14.44±5.74
黄棕壤	粘盘黄棕壤	下蜀黄土	15	10.79±3.48
水稻土	潜育性	河流冲积物	15	14.62±4.87
水稻土	潜育性	湖相沉积物	7	15.49±5.8

由表 4 可见,发育在不同母质上的棕壤,有机质的含量顺序为:片麻岩、花岗岩沉积物及闪长岩等>黄土性母质>山河相沉积物。发育在不同母质上的黄棕壤有机碳顺序为:花岗岩风化物>石英岩、花岗岩>下蜀黄土。在不同母质上发育出的潮土亚类,有机碳的含量次序为:普通潮土>沙姜黑土>棕潮土>碱潮土>盐潮土。

由上可看到成土母质对土壤肥力的产生和发展有着巨大作用。在各种类型的母质中,黄泛沉积物上发育的土壤有机碳含量最低,与这种母质主要分布在淮北平原也有一定关系。发育于千枚岩残坡积物的土壤有机碳最高,平均含量高达 39g/kg。按母质类型统计,平均有机碳水平为 17.68 g/kg,其有机碳高于平均水平的母质还有泥质页岩残坡积物、河湖相冲积物、石英岩坡积物、花岗岩坡积物、石灰岩坡积物。见表 5。程先富^[14](2004)研究得出江西省兴国县土壤有机碳含量依次增加的顺序为:红粘土、红砂岩、花

岗岩、千枚岩和石灰岩，与本研究一致。

表 5 母质与土壤有机碳关系

Tab. 5 The relationship between parent material and SOC

母质类型	样本数	SOC(g/kg)	粘粒含量(%)	全 N(%)
黄泛沉积物	5	5.6±0.29	31.76±23	0.07
下蜀黄土	24	9.89±13.86	25.18±2.61	0.13
玄武岩坡积物	3	10.61±4.51	26.37±9.36	0.58
第四纪粘土	13	10.7±1.72	30.8±9.74	0.11
紫色砂岩坡积物	11	11.94±1.8	21.31±0.98	0.12
山河冲积物	16	13.83±1.23	22.51±16.34	0.14
长江冲积物	9	17.02±2.42	28.4±9.72	0.15
泥质页岩残坡积物	12	18.47±12.22	23.33±4.69	0.16
河湖相冲积物	14	18.53±14.8	33.38±16.93	0.27
石英岩坡积物	6	21.16±14.1	20.07±4.31	0.34
花岗岩坡积物	22	25.08±0.12	18.53±3.34	0.19
石灰岩坡积物	8	27.9±23.74	33.5±4.07	0.25
千枚岩残积物	7	39.1±31.29	27.63±5.42	0.32

3.5 土壤性质与土壤有机碳的关系

已有研究表明：土壤 pH 值、温度、湿度、粘粒含量、黏土矿物种类、土壤 C/N、微生物量等因素均影响土壤有机碳含量及其在土壤中的稳定性。

本研究结果也表明：表层土壤 pH 值 (X) 与土壤有机碳 (SOC) 呈显著负相关。图 3 揭示了它们的相关性，按区域统计，表层土壤有机碳与 pH 值的线性方程为 $SOC = -5.333X + 49.627$, ($R^2 = 0.8489$, $N = 5$)，相关系数可以通过 95% 水平的显著性检验，表层土壤有机碳与 pH 值的极显著相关，揭示了淮北表层土壤偏碱，有机碳偏低，而皖南表层土壤偏酸，土壤有机碳偏高，见图 3A。剖面中土壤 B 层 pH 值明显高于表层，五个自然地理区域的 B 层土壤均呈碱性。B 层土壤有机碳与 pH 的相关系数 $R = -0.856$ ，达不到 95% 显著水平下相关系数检验的临界值 0.878，反映了心土层有机碳与 pH 值之间的相关性不显著。见图 3B。

土壤 C/N 对土壤微生物的活动能力有一定的影响^[10]。由安徽省典型剖面 ($N = 218$) 数据分析得出：土壤全 N (X) 与土壤有机碳 (SOC) 之间有极显著正相关，相关系数通过显著性检验 ($R^2 = 0.893$, $N = 218$)。见图 4。不同土类间 C/N 比平均为 18.27，变幅为 5.9 至 46.15。发育于下蜀黄土和第四纪红色粘土上的土壤 C/N 比明显低于其他母质上发育的土壤。

研究土壤质地与有机碳蓄积的关系表明，土壤中的有机碳量随粉粒和粘粒含量的增加

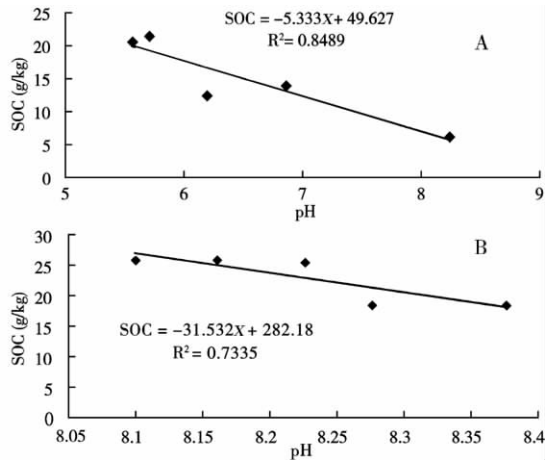


图 3 不同地理区土壤 pH 值与土壤有机碳关系 (A—表土层 B—心土层)

Fig. 3 The relationship between pH and SOC in different regions

而增加。分析淮北平原和沿长江平原地区不同土壤的粘粒含量(X)与土壤有机碳(SOC)的相关系数分别为 0.614, 0.608, 均通过 95% 显著水平下相关系数检验的临界值 0.325, 0.355, 由此可得出平原区土壤粘粒含量(X)与有机碳含量(SOC)呈显著正相关性, 见图 5。安徽山区和丘陵区发育的土壤粘粒与有机碳相关系数均通不过显著性检验, 表明其相关性不明显。

李忠佩等^[15]研究得出, 可以用土壤粘粒含量估算水稻土有机碳固定。土壤粘粒是土壤有机碳积累持续性的因素^[22,23]。本研究根据淮北平原 38 个土壤剖面的粘粒与有机碳之间的回归分析, 得出表层土壤有机碳与粘粒含量(X)的关系是: $SOC = 2.2418\ln X - 0.7029$ ($R^2 = 0.3773$, $n = 38$); 沿长江平原表层 31 个土壤剖面有机碳与粘粒含量(X)的关系是: $SOC = 8.0861\ln X - 11.193$ ($R^2 = 0.3696$, $n = 31$)。山地土壤多为林地土壤, 有机碳与粘粒相关性不明显, 平原土壤以水田和旱地耕作土壤为主, 土壤粘粒与有机碳之间相关性明显, 因此, 可以认为人为耕作土壤粘粒含量是总有机碳固定的物理基础指标, 人为利用活动下土壤粘粒的增加, 可以促使土壤碳固定容量的扩展。

4 结论

(1) 安徽省土壤总有机碳库为 0.71Pg, 表层土壤有机碳库的总储量为 0.28Pg, 占土壤有机碳库的 39.4%。土壤平均有机碳密度为 117.54tC/hm², 表层平均碳密度为 29tC/hm²。单位面积土壤有机碳储量低于华东地区的福建省、江苏省和华南地区的广东省, 反映出安徽省的固碳潜力存在较大空间。从土壤类型来看, 棕壤、山地草甸土有机碳密度较高, 而石质土、黄褐土有机碳密度较低。水稻土有机碳密度达 114.37tC/hm², 高于其他土地利用类型, 为农业利用对固碳减排措施的选择提供了依据^[24,25]。

(2) 安徽省表层土壤有机碳密度的空间分布: 总体东南部高于西北部, 皖南山区最高, 淮北平原最低。五大地理区域土壤碳密度的顺序为: 皖南山区>皖西大别山区>沿长江平原>江淮丘陵区>淮北平原区。为区域生态价值评估、生态补偿机制的建立, 提供参考。在计算过程中, 以全省各土类的平均值进行的五大自然区域土壤有机碳的估算, 虽然减少了省域差异性, 但也存在一定的不确定性, 研究单元有待进一步细化^[26]。

(3) 以土种的典型剖面数据为依据, 分析得出安徽省土壤有机碳分布受气候、植被、

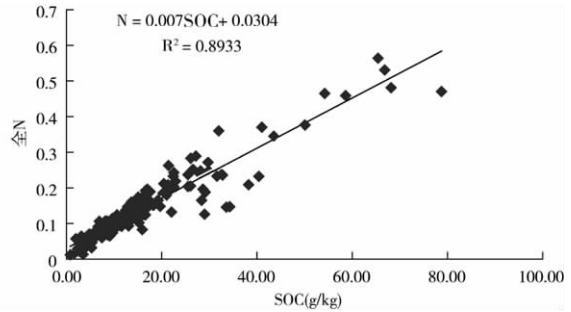


图 4 土壤有机碳与全氮的关系

Fig. 4 The relationship between total N and SOC

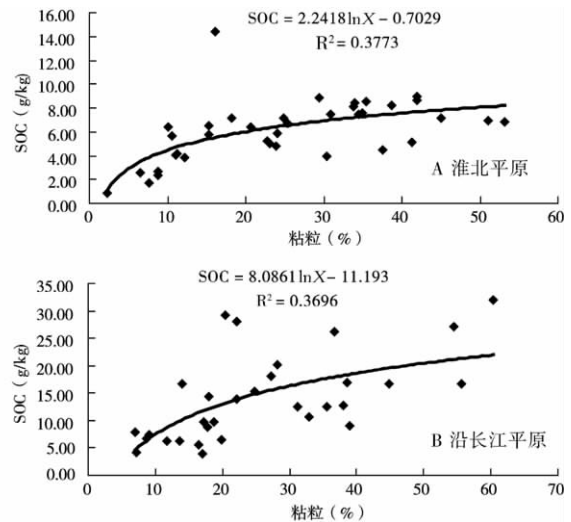


图 5 土壤粘粒与土壤有机碳关系

Fig. 5 Correlation between SOC and clay content of cultivated soil

地形、母质等自然地理因素影响,地域差异明显。降水和植被类型控制土壤有机碳的省域分布,降水与土壤有机碳含量呈正相关。地形和母质影响土壤亚类的有机碳分布格局。土壤 pH 值、粘粒含量、全 N 含量等因素均影响土壤有机碳含量。本文的研究基于第二次土壤普查数据,下一步应加强土壤有机碳等要素的动态监测,进一步分析土壤有机碳变化的环境效应^[27,28]。

参考文献:

- [1] Eswaran H, Reich F, Kimble J M. Global soil carbon stocks. In: Lal R, Kimble J, Eswaran H (eds.). Global Climate Change and Pedogenic Carbonates. USA: Lewis Publishes, 1999. 15~26.
- [2] Pan G, Cuo T. Pedogenic carbonates in aridic soils of China and significance for terrestrial carbon transfer. In: Lal R, Kimble J, Eswaran H (eds.). Global Climate Change and Pedogenic Carbonates. New York: Lewis Publishers, 1999. 135~148.
- [3] Post W M, Peng T H, Emanuel W R, *et al.* The global carbon cycle. *American Scientist*, 1990, 78: 310~326.
- [4] Guohan Song, Lianqin Li, Genxing Pan, *et al.* Topsoil organic storage of China and its loss by cultivation. *Biogeochemistry*, 2005, 74: 47~62.
- [5] 潘根兴. 中国土壤有机碳、无机碳库量研究. *科技通报*, 1999, 15(5): 330~332.
- [6] 王绍强, 周成虎, 李克让. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析. *地理学报*, 2000, 55(5): 533~544.
- [7] Genxing Pan, Lianqing Li, Laosheng Wu, *et al.* Storage and sequestration potential of topsoil organic carbon in China's paddy soils. *Global Change Biology*, 2003, 10: 79~92.
- [8] 王义祥, 翁伯琦. 福建省土壤有机碳密度和储量的估算. *福建农业科学*, 2005, 21(1): 42~45.
- [9] 甘海华, 吴顺辉, 范秀丹. 广东土壤有机碳储量及空间分布特征. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1499~1502.
- [10] 李忠, 孙波, 林心雄. 我国东部土壤有机碳的密度及转化控制因素. *地理科学*, 2001, 21(4): 301~307.
- [11] 许信旺, 潘根兴, 侯鹏程. 不同土地利用对表层土壤有机碳密度的影响. *水土保持学报*, 2005, 19(6): 193~197.
- [12] Pan Genxing, Li Liangqing, Zhang Qi, *et al.* Organic carbon stock in topsoil of Jiangsu Province, China, and the recent trend of carbon sequestration. *Journal of Environmental Science*, 2005, 17(1): 1~7.
- [13] 张琪, 李恋卿, 潘根兴, 等. 近 20 年宜兴市域水稻土有机碳动态及其驱动因素. *第四纪研究*, 2004, 24(2): 236~242.
- [14] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 兴国县森林土壤有机碳库及与环境因子的关系. *地理研究*, 2004, 23(2): 211~217.
- [15] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云, 等. 红壤稻田土壤有机质的积累过程特征分析. *土壤学报*, 2003, 40(3): 344~352.
- [16] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 593~599.
- [17] 李甜甜, 季宏兵, 等. 我国土壤有机碳储量及影响因素研究进展. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 28(2): 93~96.
- [18] 许文强. 天山北坡绿洲土壤有机碳和养分时空变异研究. *地理研究*, 2006, 25(6): 1013~1021.
- [19] 周世厥, 牛海燕. 安徽省土壤有机质含量分布及影响因素. *农业环境与发展*. 1997, 52(2): 31~34.
- [20] Post W M, Emanuel W R, Zinke P L, *et al.* Soil carbon pools and life zones. *Nature*, 1982, 298: 156~159.
- [21] 徐秋芳, 姜培坤. 不同森林植被下土壤水溶性有机碳研究. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 84~87.
- [22] Mosier A R. Soil processes and global change. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, 27: 221~229.
- [23] Smith P, Powlson D S. Considering manure and carbon sequestration. *Science*, 2000, 287: 427.
- [24] 胡云峰, 王绍强, 杨风亭. 风蚀作用下的土壤碳库变化及在中国的初步估算. *地理研究*, 2004, 23(6): 760~768.
- [25] Lindewt P H, Lu J, Wu W. Trends in the soil chemistry of South China since the 1930s. *Soil Science*, 1996, 161(6): 329~342.
- [26] 方华军, 杨学明, 张晓平. 农田土壤有机碳动态研究进展. *土壤通报*, 2003, 34(6): 562~568.
- [27] 苏永中, 赵哈林. 土壤有机碳储量影响因素及其环境效应的研究进展. *中国沙漠*, 2002, 22(3): 220~228.
- [28] 姜勇, 庄秋丽, 梁文举. 农田生态系统土壤有机碳库及其影响因子. *生态学杂志*, 2007, 26(2): 278~285.

A study on the influence of soil organic carbon density and its spatial distribution in Anhui Province of China

XU Xin-wang^{1,2,3}, PAN Gen-xing¹, CAO Zhi-hong³, WANG Yan-lin³

(1. Institute of Resource, Ecosystem and Environment of Agriculture,
Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Department of Resources and Environment Science, Chizhou College, Chizhou 247000, China;

3. Department of Geography, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract: Carbon storage and sequestration is considered to be an important issue in the study of terrestrial C cycling and global climatic change. This paper mainly makes use of basic information of the second national soil survey, studies organic carbon density and pool of different soil types in Anhui Province, and also analyses natural and artificial factors which influence the distribution of SOC. The results showed total organic carbon pool of Anhui Province is 0.71Pg, and total storage of topsoil organic carbon pool is 0.28Pg, accounting for 40% of soil organic carbon pool. Soil average carbon density is 117.54t/hm² and average carbon density of topsoil is 29t/hm². SOC density in Anhui Province is lower than Jiangsu, Fujian and Guangdong provinces, indicating that there is great potential soil carbon pool in Anhui SOC density of burozem and that meadow soils of hilly area is high, but SOC density of the lithosols and yellow cinnamon soil is rather low. SOC density of paddy soil up to 114.37 tC/hm² is higher than other soils. The spatial distribution pattern of topsoil organic carbon density in Anhui Province is: SOC density in the southeastern part is higher than the northwestern part, SOC density in southern Anhui mountainous region is the highest and the lowest in northern Anhui plain is the least. The order of SOC density in its five different geographical areas. The distribution of top SOC relates to the physical geographical factors such as climate, vegetation types, terrain, parent material, etc. The precipitation and vegetation types restrict provincial distribution of SOC, there is significant positive correlation between precipitation and soil. Terrain and parent material influence organic carbon distribution pattern of the subsoil species. Soil pH value, cohesive soil content and total nitrogen content affect SOC content. These conclusions can be used to analyze soil carbon pool change under agriculture land use in China. The difference between soil carbon density and carbon pool in Anhui Province revealed that human and natural factors can exert effects on soil carbon pool. So we must pay attention to land use and natural factor changes affecting soil and ecosystem carbon cycle.

Key words: soil organic carbon; spatial distribution; influencing factors; Anhui Province