

海河流域平原区土壤碳密度分布特征和碳储量估算

张素荣,张 燕,杨俊泉,贺福清,高学生

(中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170)

摘 要:基于2003年以来多目标区域地球化学调查积累的大量表、深层土壤有机碳、全碳分析数据,以土壤类型和土地利用类型为基本计算单元,本文重点对海河流域平原区土壤碳密度与碳储量分布规律进行了研究。结果表明:海河流域表、深层土壤全碳和有机碳密度空间分布规律基本一致,总体均表现为“北东呈带、区域连片”,“南部高于北部,山前高于平原,城市高于农田”的特征。从土壤类型上看,湿潮土的有机碳密度最高,为 17.92 kg/m^2 ,其次为石灰性褐土,达到 15.49 kg/m^2 ,草甸风沙土的有机碳密度最低,为 7.9 kg/m^2 ;有机碳密度最大者与最小者相差将近2倍。从土地利用类型来看,耕地的有机碳密度最高,这与近年来推广的秸秆还田和人工施肥有关。

关键字:土壤碳库;有机碳;碳密度;碳储量;海河流域;平原区

中图分类号: P595

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2015)04-0305-06

以土壤为载体的碳库是陆地生态系统碳库中最大的贮库,其储量的微小幅度涨落,会引起温室效应的变化,从而间接影响地球气候系统^[1]。研究土壤中的碳储量有助于揭示土壤碳贮藏对全球变化响应的时间、方式及规模^[2],同时,土壤有机碳的含量及其动态平衡机制也是反映土壤质量的一个重要指标,并对土壤肥力的可持续性有重要影响^[3]。因此,土壤中的碳库研究已成为全球变化研究的重点和热点^[4]。

我国对土壤碳储量的研究自上世纪90年代起步,目前已取得大量研究成果。早期研究基础建立在两次全国性土壤普查积累的土壤属性数据,主要对我国土壤碳的含量及其空间分布特征进行了一些探索性的研究,并着重对土壤有机碳库进行估算,代表性的研究有:方精云等粗略估算中国陆地土壤碳总储量为 185.7 Gt ,约占全球总量的 12.5% ^[5];王绍强和周成虎^[6]根据中国第一次土壤普查数据估算了中国陆地土壤的有机碳总量为 $1\,001.8\times 10^8\text{ t}$,平均碳密度为 10.83 kgC/m^2 ;王绍强等根据中国第二次土壤普查资料计算出中国陆地土壤总有机碳库储量约为 92.4 PgC ,其空间分布总体上是东部地区大致随纬度的增加而递增,西部地区则随纬度减小而增加^[7]。自2001年以来,我国先后在东、中部平原盆地、湖泊湿

地、近海滩涂、丘陵草原及黄土高原等主要农业产区开展了多目标区域地球化学调查工作,获得了海量表、深层土壤有机碳及全碳分析数据,随之也掀起一股土壤碳储量研究的热潮,如:刘文辉等^[4]研究了甘肃省兰州-白银地区的土壤有机碳库空间分布特征,并估算了有机碳储量;奚小环等^[8]研究了东北平原土壤有机碳分布与变化趋势;边维勇等^[9]探讨了辽河流域表层土壤碳密度与碳储量分布规律;于成广等^[10]对辽河流域土壤碳密度分布特征和碳储量进行了研究;张秀芝等^[11]对河北平原土壤有机碳储量及固碳机制进行了研讨;栾文楼等^[12]关注了河北平原土壤有机碳含量的变化情况,认为河北平原土壤有机碳含量在1979-2004年这25年间是持续增长的。从国内目前已发表的资料来看,前人已从不同尺度对不同地域的土壤碳库进行了研究,但尚没有学者对海河流域平原区的土壤碳密度的空间分布特征和碳储量进行过系统的研究和精确的估算。

海河流域平原区作为我国政治经济文化的中心区域,也是我国城市和人口最密集的区域之一,自2003年开展多目标区域地球化学调查工作以来积累了海量表、深层土壤有机碳、全碳分析数据,为准确的计算研究区的土壤碳库和研究碳密度的分布特征及时空演变化提供了基础数据。研究此区域内土壤

收稿日期:2015-04-19

资助项目:国家土壤现状调查及污染防治专项“海河流域土地质量地球化学评估(GZTR20070303)”

作者简介:张素荣(1981-),女,高级工程师,硕士,从事地球化学研究,Email:zhangsurong@126.com。

有机碳储量分布,可为流域内土地合理规划利用、大气循环研究及生态环境保护等方面提供重要的理论基础,同时对未来开展流域内及流域间不同时间、空间尺度上的碳循环动态对比研究提供科学依据。

1 研究区概况

海河流域平原区以华北平原区为主,北倚燕山,西靠太行,东临渤海,南界黄河,总面积约 140 000 km²,是我国最主要的粮食产区之一。平原区总的地势由西北向东倾斜,西部为山西高原和太行山区,北部为燕山山区,中部和东南部为广阔的平原,东部为海洋。地貌具有类型多样、高差较大、排列有序的特征。根据成因类型,海河流域平原区可划分为冲积洪积平原、洪积冲积平原、冲积平原、海积冲积低平原、海积低平原、冲积湖积平原和洪积平原等七种类型,其中主体为冲积平原。研究区气候属温带大陆性季风气候。自然条件复杂,植被受地貌所控制。平原区发育的地带性植被是落叶阔叶林,多数已被开辟为农田,现只残存在部分山地。本区气候、植被、土壤适合多种经济作物生长。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2003 至 2005 年国土资源部中国地质调查局先后与山东省、河南省、河北省和北京市、天津市人民政府签订合作协议,开展了 1/25 万多目标区域地球化学调查工作,该调查系统地测定了有机碳与全碳含量,为海河流域平原区土壤碳密度及有机碳储量研究提供了高密度和高精度数据资料,为精确计算土壤碳储量和估算土壤碳库提供了新的途径,具有重要的科学价值和现实意义。目前海河流域平原区多目标区域地球化学调查面积达 14 万 km²,基本覆盖广阔的平原地区。多目标区域地球化学调查采用双层网格化土壤测量方法^[13],表层(0~20 cm)土壤样品(包括沿海滩涂样品),采样密度为 1 个点/km²,深层土壤样品采样密度为 1 个点/4 km²,采样深度为 1.8 m。土壤的分析样品由 4 个表层单点样组合而成,即表层土壤分析单元为 1 个点/4 km²,深层土壤分析单元为 1 个点/16 km²。

2.2 样品测试方法

样品由河南省岩石矿物测试中心、安徽省地质试验研究所、湖北省地质实验测度中心、福建省地质

测试中心负责分析测试。土壤有机碳和全碳分析采用 X-射线荧光光谱法和重铬酸钾容量法,分析准确度($\Delta\lg C$)控制在 $\pm 0.10 \sim 0.12$,精密度(RSD)控制在 $\pm 10\% \sim 20\%$,报出率达到 98% 以上。

2.3 土壤碳密度和碳储量的计算方法

土壤碳密度指单位面积(km²)中一定厚度的土层中碳储量(质量),是土壤含量值在垂直方向上一定厚度内的积分(或累加)结果。土壤碳储量指一定面积内一定深度土壤的碳储量(质量),是土壤碳密度在水平二维空间内积分(或累加)的结果^[14]。多目标区域地球化学调查表层样是 4 km² 网格一个分析数据点,本文引用单元土壤碳量的概念,即以多目标区域地球化学调查确定的土壤表层样品分析单元为计算单元,土壤表层样碳含量及其对应的深层样碳含量(分析单元为 16 km²),分别代表计算单元表层土壤与深层土壤碳含量,依据土壤碳含量分布模式计算得到单元土壤碳量,对单元土壤碳量进行加和计算取得土壤碳储量。土壤碳含量由表层至深层主要存在两类分布模式,即指数分布模式和线性分布模式。其中有机碳含量分布为指数模式,无机碳含量分布为直线模式^[15]。海河流域平原区土壤容重数据采用了中国科学院南京土壤研究所^[16-18]的 2×2 公里网格的 10~20 cm 和大于 70 cm 的土壤容重分布图。

2.3.1 有机碳(TOC)单元土壤碳量($USCA$)计算方法

(1) 深层有机碳单元土壤碳量计算。计算公式:

$$USCA_{TOC, 0 \sim 1.8m} = TOC \times D \times 4 \times 10^4 \times \rho \quad (1)$$

$USCA_{TOC, 0 \sim 1.8m}$ 表示 0~1.8 m 深度单元土壤有机碳量(t)。式中为有机碳含量(%), D 表示采样深度(1.8 m), 4 为单元土壤面积(km²), 10^4 为单元土壤面积换算系数, ρ 为土壤容重(t/m³)。

TOC 是根据大量的土壤柱状剖面样品碳实验数据的拟合函数模型按深度求取积分的结果,计算公式为:

$$TOC = \frac{(TOC_{表} - TOC_{深}) \times (d_1 - d_2)}{d_2(\ln d_1 - \ln d_2)} + TOC_{深} \quad (2)$$

式中 $TOC_{表}$ 为表层土壤有机碳含量, $TOC_{深}$ 为深层土壤有机碳含量,单位均为%。取表层土壤中间深度 0.1 m, d_2 取 1.8 m(或实际采样深度)。中间层的公式同理。

(2) 中层(计算深度为 1 m)有机碳单元土壤碳量($USCA_{TOC, 0 \sim 1.0m}$)计算。计算公式:

$$USCA_{TOC, 0 \sim 1.0 m} = TOC \times D \times 4 \times 10^4 \times \rho \quad (3)$$

$USCA_{TOC, 0 \sim 1.0 m}$ 表示采样深度 1.8 m 时计算 1.0 m 深度有机碳量^[15]。式中计算公式为:

$$TOC = \frac{(TOC_{表} - TOC_{深}) \times [(d_1 - d_3) + (\ln d_3 - \ln d_2)]}{d_3 (\ln d_1 - \ln d_2)} + TOC_{深} \quad (4)$$

式中 $d_3 = 1.0$ m, 其他参数同前。

(3) 表层有机碳单元土壤碳量计算。计算公式:

$$USCA_{TOC, 0 \sim 0.2 m} = TOC \times D \times 4 \times 10^4 \times \rho \quad (5)$$

式中 TOC 取表层土壤实测含量值。

2.3.2 无机碳 (TIC) 单元土壤碳量 ($USCA$) 计算方法

(1) 深层无机碳单元土壤碳量计算。计算公式:

$$USCA_{TIC, 0 \sim 1.8 m} = [(TIC_{表} + TIC_{深}) / 2] \times D \times 4 \times 10^4 \times \rho \quad (6)$$

$TIC_{表}$ 与 $TIC_{深}$ 分别由全碳实测数据减有机碳取得, 单位为%, 其他参数同前。

(2) 中层无机碳单元土壤碳量 ($USCA_{TOC, 0 \sim 1.0 m}$) 计算。计算公式:

$$USCA_{TIC, 0 \sim 1.0 m (深1.8 m)} = [(TIC_{表} + TIC_{1.0 m}) / 2] \times D \times 4 \times 10^4 \times \rho \quad (7)$$

$USCA_{TIC, 0 \sim 1.0 m (深1.8 m)}$ 表示采样深度 1.8 m 时计算 1.0 m 深度无机碳量^[15], D 为 1.0 m, $TIC_{1.0 m}$ 采用内插法确定。

(3) 表层无机碳单元土壤碳量计算。计算公式:

$$USCA_{TIC, 0 \sim 0.2 m} = TIC_{表} \times D \times 4 \times 10^4 \times \rho \quad (8)$$

$TIC_{表}$ 由全碳实测数据减有机碳取得。

2.3.3 全碳 (TC) 单元土壤碳量 ($USCA$) 计算方法

(1) 深层全碳单元土壤碳量计算。计算公式:

$$USCA_{TC, 0 \sim 1.8 m} = USCA_{TOC, 0 \sim 1.8 m} + USCA_{TIC, 0 \sim 1.8 m} \quad (9)$$

当实际采样深度达不到 1.8 m 时, 取实际采样深度值。

(2) 中层全碳单元土壤碳量 ($USCA_{TC, 0 \sim 1.0 m}$) 计算。计算公式:

$$USCA_{TC, 0 \sim 1.0 m} = USCA_{TOC, 0 \sim 1.0 m} + USCA_{TIC, 0 \sim 1.0 m} \quad (10)$$

当实际采样深度达不到 1.8 m 时, 取实际采样深度值。

(3) 表层全碳单元土壤碳量计算计算公式:

$$USCA_{TC, 0 \sim 0.2 m} = USCA_{TOC, 0 \sim 0.2 m} + USCA_{TIC, 0 \sim 0.2 m} \quad (11)$$

3 结果与分析

3.1 海河流域平原区土壤碳总量分布特征

海河流域平原区表层 (0 ~ 0.2 m) 土壤碳总量为 623 Mt, 土壤有机碳储量为 317 Mt; 中层 (0 ~ 1.0 m)

土壤碳总量为 2 893.8 Mt, 土壤有机碳储量为 1 150.4 Mt; 深层 (0 ~ 1.8 m) 土壤碳总量为 4 891.3 Mt, 土壤有机碳储量为 1 544.7 Mt。结果表明, 海河流域平原区的碳总量是较大的, 且与第二次土壤普查计算的结果对比^[19], 在 2000 ~ 2010 年期间平原区整体是一个小的土壤碳汇, 农业施肥、水分管理及秸秆还田等对土壤碳储量尤其是有机碳发挥土壤碳汇效应的效果显著^[20,21]。海河流域平原区全碳和有机碳量的计算为认识研究区的农田土壤碳汇现状及变化趋势, 评价该区的农田土壤碳汇能力提供了依据。

3.2 海河流域平原区土壤碳密度分布特征

海河流域平原区土壤表层 (0 ~ 0.2 m) 土壤碳密度含量变化范围为 0.16 ~ 38.08 kg/m², 平均为 4.46 kg/m², 有机碳密度含量变化范围为 0.08 ~ 25.13 kg/m², 平均为 2.27 kg/m²; 海河流域平原区中层 (0 ~ 1.0 m) 土壤碳密度含量变化范围为 0.87 ~ 130.4 kg/m², 平均为 20.2 kg/m², 有机碳密度含量变化范围为 0.42 ~ 74.27 kg/m², 平均为 8.02 kg/m²; 海河流域平原区深层 (0 ~ 1.8 m) 土壤碳密度含量变化范围为 1.47 ~ 173.08 kg/m², 平均为 34.08 kg/m², 有机碳密度含量变化范围为 0.77 ~ 91.31 kg/m², 平均为 11.55 kg/m²。

海河流域表、深层土壤碳密度空间分布规律基本一致, 全碳和有机碳密度空间分布不均匀, 变异性较强, 但总体呈现“北东呈带、区域连片”, “东部高于西部、山前高于平原、城市高于农田”的分布特征 (图 1、2)。在漕河—大清河流域、马颊河流域呈北东向带状分布, 在太行山山前冲洪积扇区呈北北东向带状分布; 在北京、天津、唐山、秦皇岛等人类活动频繁的城市区域连片分布。该分布特征与华北平原冲洪积平原的第四纪沉积相、沉积环境有关, 也反映了成土母质、土壤质地的差异与土壤碳库之间有密切的联系。

3.3 不同土壤类型土壤有机碳密度变化和碳储量

海河流域平原区土壤类型包括 11 个土纲, 18 种土类, 44 种土壤亚类, 其中以潮土为主, 面积 9.86 万 km², 占 70.85%; 其次为褐土, 面积 0.84 万 km², 占 5.99%。土壤有机碳也主要分布于潮土与褐土中, 各土壤中有有机碳储量与其土壤的面积比例基本一致。估算结果表明, 海河流域平原区 1.8 m 土壤厚度范围固定的有机碳储量近 1 544.7 Mt, 土壤平均有机碳密度为 11.55 kg/m² (表 1)。土壤有机碳主要储存于 11 种土壤类型中, 分别为潮土、褐土、冲积土、盐化潮土、脱潮土、潮褐土、滨海盐土、石灰性褐土、湿潮土、草甸

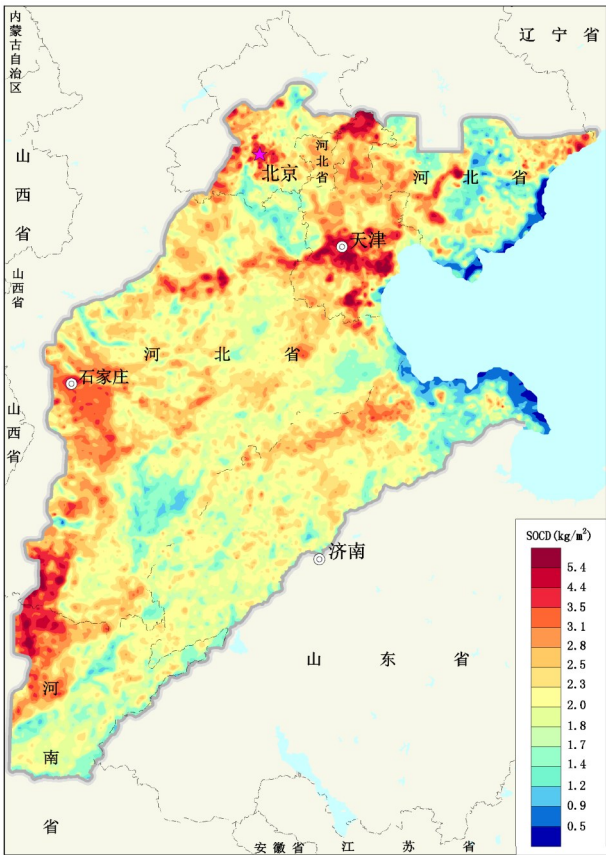


图1 海河流域平原区表层土壤有机碳密度分布图
Fig.1 Distribution of density of organic carbon in topsoil (0.0 ~ 0.2 m)in the Haiheriver basin

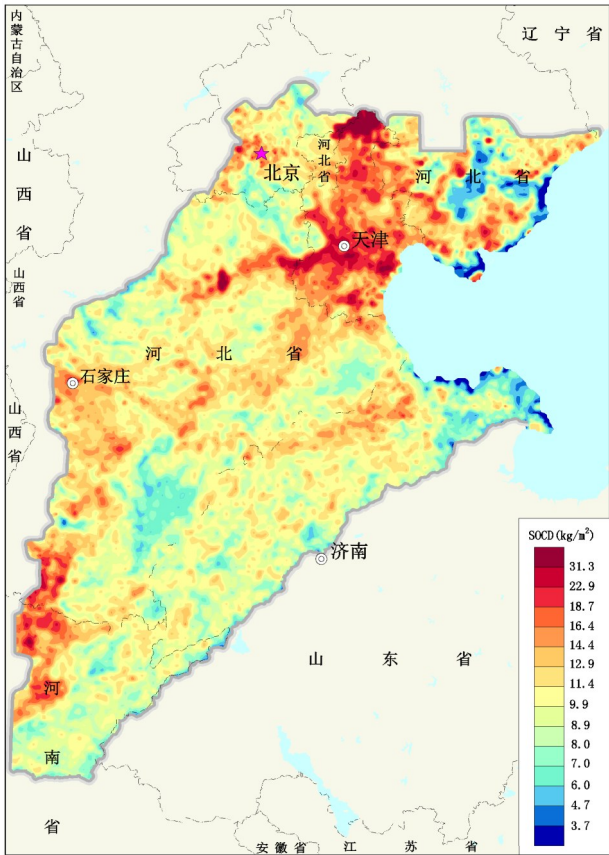


图2 海河流域平原区深层土壤有机碳密度分布图
Fig.2 Distribution of density of organic carbon in deep soil (0.0 ~ 1.8 m)in the Haiheriver basin

表1 海河流域平原区土壤有机碳储量(土壤类型)
Table 1 Soil organic carbon reserve in the plain areas of Haihe river basin (soil type)

土壤类型	面积 (km²)	比例1	平均有机碳密度 (kg/m²)	有机碳储量 (Mt)	比例2
潮土	98 857	70.85	11.51	1138.09	73.68
褐土	8 352	5.99	10.85	90.60	5.87
冲积土	4 054	2.91	8.51	34.50	2.23
盐化潮土	3 533	2.53	10.76	38.02	2.46
脱潮土	3 495	2.50	10.60	37.06	2.40
潮褐土	3 186	2.28	9.90	31.53	2.04
滨海盐土	2 820	2.02	8.57	24.17	1.56
石灰性褐土	2 478	1.78	15.49	38.37	2.48
湿潮土	1 781	1.28	17.92	31.93	2.07
草甸风沙土	1 483	1.06	7.90	11.71	0.76
盐土	1 022	0.73	10.09	10.31	0.67
总计		93.94			96.22

注:比例1为各土壤类型面积/总面积,单位为%;比例2为各土壤类型中的有机碳储量/总储量,单位为%。

风沙土和盐土,土壤面积占总积的93.94%,有机碳储量占总储量的96.22%。其中湿潮土的有机碳密度最高,为17.92 kg/m²,其次为石灰性褐土,达到15.49 kg/m²,草甸风沙土的有机碳密度最低,为7.9 kg/m²,

有机碳密度最大者与最小者相差将近2倍。

从不同土壤类型的平均有机碳密度变化可以看出,湿潮土、水稻土、沼泽土、砂姜黑土、石灰性褐土的有机碳密度较高。海河流域平原区的湿潮土主要分布于天津市周边的洼地、河流周围,土壤母质为河流洪积物;水稻土分布于滨海平原区、中部的冲洪积平原、交接洼地、湖泊周围及河流阶地,土壤母质为海相沉积物和河流洪积物;沼泽土零星分布于研究区内各地的内陆封闭洼地、湖泊周围和滨海低平原洼地,土壤母质为湖相沉积物和海相沉积物;砂姜黑土主要分布于唐山、廊坊、保定、邢台等地山麓冲积平原的扇形洼地;石灰性褐土主要分布于房山区、涞水、邢台等地山麓冲积平原的扇形洼地。以上几种土壤均有含水量较大,地下水埋深较浅的特点。平均有机碳密度较低的土壤类型如冲积土、草甸风沙土、石质土、滨海风沙土等含水量普遍较低。可见,水分含量直接影响土壤碳贮存能力,含水量高的土壤类型碳储能力强,反之含水量低的土壤类型碳储能力较弱。

土壤母质和质地也是影响土壤有机碳储量的重要因素,粘粒含量高,有利于碳储量的增加。湿潮土、水稻土、沼泽土、砂姜黑土、石灰性褐土等平均碳密度较高土类的一个共同特点是粘土矿物含量高,为有机质的储存创造了条件。与之相对应的冲积土、草甸风沙土、石质土、滨海风沙土中土壤有机碳密度较低。这是由于风沙土母质为砂质风积物,在风力大于沙粒临界起动的情况下,沙粒以推移、跃移和悬移等方式移动。风沙土养分含量低,保水保肥力差;而冲积土为各种河流冲积物、洪积物,该类型土质汛期易受洪水淹没,枯水期生长稀疏草灌。据此推断,由生态环境恶化造成的土壤类型差异是土壤中有机碳储量变化的主要原因。

3.4 不同土地利用类型土壤有机碳密度变化和碳储量

研究区土地利用以耕地为主,占75.61%,居民及工矿用地占12.04%,未利用土地占3.35%,水域占3.82%,林地占2.05%,园地占1.69%,交通用地和牧草地极少。平原区土壤有机碳储量主要分布在耕地和居民及工矿用地范围内,两种土地利用类型占据了土壤有机碳总储量的90.31%(表2)。

从不同的土地利用类型的有机碳密度来看,耕地>工矿用地>水域>园地>未利用地>林地>交通用地>牧草地,耕地的有机碳密度为11.42 kg/m²。3种主要农用地类型的平均有机碳密度顺序为耕地>园地>林地,与未利用地相比,林地的土壤有机碳密度和有机碳储量均低。一般而言,自然土壤的碳贮存能力最强,林地的固碳效果最好,但在本研究中林地的平均有机碳密度较低,这是因为海河流域平原区的林地基本上不存在自然林,多是在废弃土地上的人工再造林,其土壤碳库本身较低。但需要肯定的是,尽

管在弃耕的土地内重新种植作物会引起碳库下降,但林地会加强土壤对碳的固定能力,因此植树造林仍是缓解大气CO₂浓度升高的重要措施。

由人类活动引起的土地利用方式和土地覆被的变化,也直接影响土壤中有机碳量的储存。近年来,由于城镇化建设速度推进,土地利用率加快,不同程度的存在森林被砍伐转化为耕地,同时,部分耕地转变为城市建设和工业用地,以及由人类对土地的过度开垦,人类活动干扰造成土壤盐咸化、沙漠化等,都将导致土壤有机碳的释放量减少。土地利用方式的转变直接影响土壤碳储量储存机制。另外在近年来推广秸秆还田,以及耕地和园地内人工施肥却会引起土壤碳库升高^[1]。因此,我们应尽早采取措施保护土壤质量,继续推广秸秆还田及科学施肥等措施,因地制宜的实现农林牧协调发展。

4 结论

(1)海河流域平原区表、深层土壤全碳和有机碳密度空间分布规律基本一致,总体均表现为“北东呈带、区域连片”,“南部高于北部,山前高于平原,城市高于农田”的特征。表层(0~0.2 m)土壤全碳储量为623 Mt,碳密度平均为4.46 kg/m²,有机碳储量为317 Mt,有机碳密度平均为2.27 kg/m²;中层(0~1.0 m)土壤全碳储量为2 893.8 Mt,土壤碳密度平均为20.2 kg/m²,有机碳储量为1 150.4 Mt,有机碳密度平均为8.02 kg/m²;深层(0~1.8 m)土壤全碳储量为4891.3 Mt,深层土壤碳密度平均为34.08 kg/m²,有机碳储量为1 544.7 Mt,有机碳密度平均为11.55 kg/m²。

(2)海河流域平原区土壤有机碳以潮土、褐土所占比重最大,分别占总积的70.85%、5.99%。其中湿潮土的有机碳密度最高,为17.92 kg/m²,其次为石灰性褐土,达到15.49 kg/m²,草甸风沙土的有机碳密度最低,为7.9 kg/m²,有机碳密度最大者与最小者相差将近2倍。不同土壤类型有机碳密度的差异,主要与水分含量和粘粒含量有关。

(3)从土地利用类型来看,研究区土壤有机碳储量主要分布在耕地和居民及工矿用地范围内,两种土地利用类型占据了土壤有机碳总储量的90.31%。耕地的有机碳密度最高,为11.42 kg/m²,这与近年来推广的秸秆还田和人工施肥有关。平原区土地合理规划利用应加以重视这些因素。

(4)区域内土壤有机碳储量分布规律的研究结

表2 海河流域平原区土壤有机碳储量(土地利用类型)

Table 2 Soil organic carbon reserve in the plain areas of Haihe river basin (land use type)

土地利用类型	面积(km ²)	比例1	平均有机碳密度(kg/m ²)	有机碳储量(Mt)	比例2
耕地	105 496	75.61	11.42	1 205.04	78.01
园地	2 361	1.69	9.26	21.87	1.42
林地	2 861	2.05	8.14	23.28	1.51
牧草地	466	0.33	5.18	2.42	0.16
居民及工矿用地	16 792	12.04	11.31	189.99	12.30
交通用地	1 532	1.10	6.66	10.20	0.66
水域	5 333	3.82	10.07	53.69	3.48
未利用土地	4 679	3.35	8.16	38.19	2.47
总计		100.00			100.00

注:比例1为各土地利用类型面积/总面积,单位为%;比例2为各土地利用类型中的有机碳储量/总储量,单位为%

果和数据,也可在大气循环研究及生态环境保护和不同尺度的碳循环动态对比研究利用。

参考文献:

- [1] 刘留辉,邢世和,高承芳,等.国内外土壤碳储量研究进展和存在问题及展望[J].土壤通报,2009,40(3): 697-701.
- [2] 于贵瑞.全球变化与陆地生态系统碳循环与碳蓄积[M].北京:气象出版社,2003: 275-297.
- [3] Tiessen H, Cuevas E, Chacon P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility [J]. Nature, 1993, 371: 783-785.
- [4] 刘文辉,李春亮,吴永强.甘肃省兰州—白银地区土壤有机碳库储量估算与空间分布特征[J].物探与化探,2012,36(3):367-371.
- [5] 方精云,刘国华,徐嵩龄.中国陆地生态系统碳循环及其全球意义[A].见:王庚辰,温玉璞编.温室气体浓度和排放监测及相关过程[M].北京:中国环境科学出版社,1996: 129-139.
- [6] 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.
- [7] 王绍强,周成虎,李克让,等.中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J].地理学报,2000,55(5): 533-544.
- [8] 奚小环,杨忠芳,崔玉军,等.东北平原土壤有机碳分布与变化趋势研究[J].地学前缘,2010,17(3):213-221.
- [9] 边维勇,马力,洪秀伟,等.辽河流域表层土壤碳密度与碳储量浅析[J].岩矿测试,2011,30(1):49-52.
- [10] 于成广,杨晓波,刘明华,等.辽河流域土壤碳密度分布特征和碳储量研究[J].地质与资源,2011,20(4): 272-277.
- [11] 张秀芝,赵相雷,李宏亮,等.河北平原土壤有机碳储量及固碳机制研究[J].地学前缘,2011,18(6):41-55.
- [12] 栾文楼,宋泽峰,李随民,等.河北平原土壤有机碳含量的变化[J].地质学报,2011,85(9):1528-1535.
- [13] 中国地质调查局.DD2005-01,多目标区域地球化学调查规范(1:250000)[S].
- [14] 奚小环,杨忠芳,夏学齐,等.基于多目标区域地球化学调查的中国土壤碳储量计算方法研究[J].地学前缘(中国地质大学(北京):北京大学,2009,16(1):194-205.
- [15] 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——以江苏、湖南、四川、吉林、内蒙古为例[J].第四纪研究,2008,28(1):58-67.
- [16] 史学正,于东升,高鹏,等.中国土壤信息系统(SISChina)及其应用基础研究[J].土壤,2007,39(3):329-333.
- [17] Shi X.Z., D.S.Yu, E.D.Warner, et al. Cross-Reference System for Translating Between Genetic Soil Classification of China and Soil Taxonomy[J].Soil Sci.Soc.Am.J.2006,70(1): 78-83.
- [18] Shi X.Z., D.S.Yu, E.D.Warner, et al. Soil Database of 1:1,000,000 Digital Soil Survey and Reference System of the Chinese Genetic Soil Classification System[J].Soil Survey Horizons,2004,45(4):129-136.
- [19] 梁二,蔡典雄,代快,等.中国农田土壤有机碳变化:土壤固碳潜力估算[J].中国土壤与肥料,2010(6):87-91.
- [20] 孙秀丽,许信旺,薛芳.增加农田土壤碳汇效应研究进展[J].池州学院学报,2009,23(3):80-83.
- [21] Nyborg M, Solberg E D, Malhi S S, et al. Fertilization N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade [A]. Lal R, Kimble J, Levine E and Steward B A. Soil Management and Greenhouse Effect. Advance in Soil Science [C]. Boca Raton, FL: Lewis Publisher, CRC Press, 1995: 93-100.

Distribution Characteristics of Soil Carbon Density and Carbon Reserve Estimation in the Plain Areas of Haihe River Basin

ZHANG Su-rong, ZHANG Yan, YANG Jun-quan, HE Fu-qing, GAO Xue-sheng

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China)

Abstract: The soil carbon pool has become the focus and heated points of research on global change, and achieved remarkable results in our country. However, the research on soil carbon pool in the plain areas of Haihe river basin still remains blank. This research is based on the abundant analytic data of organic carbon and total carbon for both top soil (0~0.2 m) and deep soil (0~1.8 m) obtained during Multi-Purpose Regional Geochemical Survey since 2003. Using soil types and land use types as the basic computing unit, the research deals with soil carbon density and carbon reserve in the plain areas of Haihe river basin. The results show that the spatial density distribution of both total carbon and organic carbon are basically the same in top soil and deep soil in the Haihe river basin. Generally the values are higher in the south than that in the north, the values in piedmont areas are higher than that in plain areas, and the values in urban areas are higher than that in farmland areas. The results based on the soil types show that wet soil contains the highest organic carbon density, up to 17.92 kg/m², followed by the calcareous cinnamon soil, up to 15.49 kg/m², and the meadow aeolian sandy soil contains the lowest, 7.9 kg/m². The maximum is nearly 2 times of the minimum, affected by the water and clay content in the soil. The results based on the land use types show that the cultivated land contains the highest organic carbon density, due to popularization of straw returning and artificial fertilization in recent years.

Key words: soil carbon pool; organic carbon; carbon density; carbon reserve; Haihe river basin