

河北平原土壤有机碳含量的变化

栾文楼, 宋泽峰, 李随民, 崔邢涛

石家庄经济学院, 河北, 050031

内容提要:应用 1979 年第二次土壤普查数据和 2004 年多目标地球化学调查结果及其它资料, 利用网格单元分别计算了 1979 年和 2004 年河北平原 0~0.2m 和 0~1.8m 的不同土壤类型的有机碳储量。结果表明河北平原土壤有机碳含量在 25 年间持续增长, 2004 年浅层和深层土壤平均有机碳储量比 1979 年有了分别增加了 24.25% 和 31.39%。水分含量、土壤母质和质地等是影响土壤碳贮存能力的因素。含水量和粘粒含量较高的水稻土、沼泽土、砂姜黑土等土壤类型碳储能力强, 反之含水低、粘粒含量低的土壤类型如风沙土和新积土等则储碳能力较弱。植被的破坏、土壤水分的流失会导致高水分含量的土壤类型的有机碳储量降低。在本研究中表现为绝大多数土壤类型的平均有机碳储量升高, 但是表层的棕壤、沼泽土、滨海盐土和深层的棕壤、沼泽土等土壤类型发生了降低。

关键词: 有机碳储量; 土壤; 河北平原

随着气候变化问题日益引起世界各国的重视, 对碳循环和碳的源、汇的研究也逐渐成为学术界的热点(Prentice I C et al., 2001)。土壤是陆地生态系统中最大的碳库, 而且是最活跃的部分。土壤有机碳库约占陆地总有机碳库的 2/3, 是大气碳库的 2 倍(Lal R, 2004)。因此增加农田土壤有机碳的固定不但可以增加土壤有机质, 促进土壤肥力, 提高作物生产力(Lal R, 2004), 而且对温室气体减排也具有举足轻重的作用(孙文娟等, 2008)。近年来关于土壤碳储量的研究方法多有探索, Davidson E A 等对比分析了未开垦地转变为耕地前后的土壤有机碳储量变化, 证明了自然土壤转变为耕地会使土壤有机碳储量下降(Davidson E A et al., 1993)。李克让等应用 0.5°经纬网格分辨率的气候、土壤和植被数据驱动的生物地球化学模型估算了中国植被和土壤的碳贮量, 结果显示植被和土壤碳密度受气候、植被类型、土壤类型等因素影响、区域差异明显, 总趋势是暖湿的东南区大于西北干旱区(李克让等, 2003)。Raich J W 等研究了土壤碳储量与气候的关系, 认为土壤碳的动态变化依靠温度上升的速率(Raich J W et al., 1995)。由于土壤碳循环过程受气候和生物多种因素的控制, 如气温、水分、植被及土壤理化

性质等的综合影响, 所以土壤有机碳蓄积量的减少幅度也随着自然植被、气候、土壤类型、土地利用方法, 以及其后的管理方式而变化(王绍强等, 2002)。

实际上目前土壤碳储量等问题的研究由于资料和方法的不同, 估算结果差异较大。例如韩冰等基于 1990 年土壤数据计算了中国各省农田的土壤碳库饱和水平和固碳潜力, 计算结果认为华北地区土壤碳库饱和程度较低, 河北固碳潜力为负值(韩冰等, 2005)。赵荣钦等则根据 1981 年至 2001 年的作物产量、农业投入等对沿海 10 省市的农田生态系统的碳源、汇进行了估算, 结果显示河北省农作物在 20 年间对碳的吸收增幅达到 100%, 有较大的碳吸收功能(赵荣钦等, 2007)。

目前国内学者对与土壤碳储量的研究多集中于土地碳排放量的现状及其固碳潜力方面, 对历史数据的研究涉及较少。而 Schimel D S 等认为历史过程是未来碳循环研究的关注焦点(Schimel D S et al., 2000)。通过研究历史数据与现今数据的对比, 可以更好的研究碳固持率与时间的关系。通过叠加时间段内的土地利用方式变化、耕作技术变化等因素, 能够较为准确地研究各种因素对土壤碳贮存的影响。葛全胜等对历史数据进行研究分析, 通过历

注: 本文为国土资源部中国地质调查局与河北省人民政府合作项目“河北农业地质调查——河北省区域生态地球化学评价”(编号 1212010511212)资助的成果。

收稿日期: 2010-09-13; 改回日期: 2011-01-05; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 栾文楼, 1958 年生, 河北井陉人。教授, 从事环境地球化学研究。电话: 0311-87208299, Email: wenloul@sina.com。

DOI: CNKI: 11-1951/P. 20110907. 1209. 011 网络出版时间: 2011-9-7 12:09

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20110907.1209.011.html>

史文献资料, 分析了过去 300 年我国土地利用变化的主要特征, 计算了土壤碳密度和碳排放量的变化(葛全胜等, 2008), 是应用历史数据研究碳循环的有益尝试。但是由于资料的局限, 类似研究由于跨越了大尺度的时间和空间, 研究精度上通常较为粗糙。为了达到相当的研究精度, 本研究采用了 1979 年第二次土壤普查以来的 3 次详细土壤有机碳数据, 保证了数据质量。通过小尺度的空间与时间对比, 研究河北平原有机碳储量的变化, 从而为进一步研究河北“碳汇”区奠定工作基础。

1 研究范围与方法

1.1 研究范围及自然概况

本研究主要工作区范围为整个河北平原区及秦皇岛、唐山、廊坊、保定、石家庄、沧州、衡水、邢台、邯郸九市的部分丘陵地区。全区东临渤海, 东南、南部分别与山东、河南接壤, 中部环绕京、津两市, 西侧、北侧分别倚靠太行山脉和燕山山脉。研究区地理坐标为 $114^{\circ}05'E \sim 119^{\circ}50'E$, $36^{\circ}05'N \sim 40^{\circ}15'N$, 面积 $7.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

研究区位于中纬度欧亚大陆东岸, 我国东部沿海, 属于温带湿润半干旱大陆性季风气候。大部分地区四季分明, 寒暑悬殊, 雨量集中, 干湿期明显; 春季冷暖多变, 干旱多风, 夏季炎热潮湿, 雨量集中, 秋季风和日丽, 凉爽少雨, 冬季寒冷干旱, 雨雪稀少。平均气温由北向南逐渐升高, 中南部地区平均气温 12°C ; 年平均降雨量 $350 \sim 770 \text{ mm}$, 总趋势是东南部多于西北部; 年平均日照在 $2400 \sim 3077$ 小时之间, 研究区全域范围均属日照条件较好地区。

河北平原系华北大平原的一部分, 它的形成是渤海凹陷, 大陆下沉, 逐渐为黄河、海河及燕山各河系冲积物所填而成。冲积覆盖层厚, 一般在 $700 \sim 800 \text{ m}$ 以上, 第四纪沉积物最深部分可达 $1000 \sim 1300 \text{ m}$ 。成土母质主要由第四纪沉积物组成, 分布有 13 种土壤类型, 其中以潮土和褐土为主(河北土壤普查办公室, 1990)

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采集与分析

按照中国地质调查局多目标地球化学调查规范要求, 系统采集表层土壤和深层土壤两类样品。表层土壤样品采样密度为 1 个样/ km^2 , 取样深度 $0 \sim 20 \text{ cm}$; 深层样采样密度为 1 个样/ 4 km^2 , 取样深度 $180 \sim 200 \text{ cm}$ 。4 个土壤样组合成 1 个分析样(即表层土壤每 4 km^2 一个分析样, 深层土壤每 16 km^2 一个

分析样), 送国土资源部保定地矿实验室测试有机碳含量。

1.2.2 土壤有机碳储量计算过程

本次以中国地质调查局提出的土壤有机碳储量计算方法, 即以 4 km^2 为计算单位(土壤表层样品分析单元), 按 0.2 m 和 1.8 m 土壤深度分别估算河北平原区土壤有机碳储量(奚小环等, 2008)。

1.2.2.1 2004 年土壤有机碳储量计算方法

0.2 m 土壤平均有机碳含量采用表层土壤有机碳含量数据($\text{TOC}_{\text{表}}$)与相应土壤容重进行计算, 如下式所示。

$$0.2 \text{ m 深度单位土壤碳含量} = \text{TOC}_{\text{表}} \times 4 \times 10^6 \times \text{土壤容重}$$

1.8 m 深度土壤有机碳含量利用表层和深层土壤碳含量平均值进行计算单位土壤层平均碳含量。单位土壤层平均碳含量代表了该计算单位内土壤层平均碳含量。单位土壤层平均碳含量与采样深度乘积代表计算单位内一定深度土壤的平均碳含量, 称为单位土壤深度平均碳含量。即:

$$\text{单位土壤层平均碳含量} = (\text{TOC}_{\text{表}} + \text{TOC}_{\text{深}}) \div 2 \times 1.8$$

式中 $\text{TOC}_{\text{表}}$ 为表层土壤碳含量, $\text{TOC}_{\text{深}}$ 为深层土壤碳含量, 2 为土壤整体采样深度(m), 1.8 为土壤碳储量的研究深度(m)。

单位土壤深度平均碳含量(%)与单位土壤面积(4 km^2)、土壤容重(t/m^3)的乘积, 称为单位土壤碳含量(t)。即:

$$1.8 \text{ m 深度单位土壤碳含量} = [(\text{TOC}_{\text{表}} + \text{TOC}_{\text{深}}) \div 2 \times 1.8] \times 4 \times 10^6 \times \text{土壤容重}$$

一定区域内土壤碳储量为该地区所有单位土壤碳含量之和, 即:

$$\text{土壤碳储量} = \sum \text{单位土壤碳含量}$$

中国地质调查局提出的计算 1.8 m 厚度范围内土壤有机碳储量计算公式是基于单位土壤面积(4 km^2), 即不同土壤类型的有机碳储量计算是将其范围内所有单位土壤碳含量累加, 而不是简单的取其范围内浅、深层土壤的平均碳含量与面积乘积, 这就在最大程度上利用了已测土壤样品信息, 提高了估算的精度。

利用 ARCGIS 软件计算研究区的土壤有机碳含量。计算 0.2 m 深度土壤有机碳含量时将表层土壤样品按 2 km 网格进行插值, 制作表层有机碳含量分布图; 计算 1.8 m 深度土壤有机碳含量时则需将表层、深层组合样品按 2 km 和 4 km 网格单元大小

分别进行插值,形成表层、深层土壤有机碳含量分布图。利用 ARCGIS 软件空间分析模块中 Cell Statistics 功能,对上述有机碳含量分布图进行单位土壤碳含量计算,完成 4km²网格大小的单位土壤层平均碳含量计算。由于样品有机碳分析检出限为 0.1%,因此可按 0.1 间隔对上述平均碳含量图层进行重分类(Reclassify),使结果图层为离散数据类型。将 0.2m 和 1.8m 深度平均碳含量分布图分别叠加河北省土壤类型分布图和土地利用方式分布图,提取不同土壤类型和土地利用方式的有机碳含量。

1.2.2.2 土壤有机碳储量历史数据的计算

河北省于 1979 年开展了第二次土壤普查。利用上述项目得到的有机质含量通过系数换算得到当时土壤有机碳含量数据,换算系数采用 1.724。具体操作如下:

0.2m 土壤有机碳含量的提取。将河北省第二次土壤普查的表层土壤有机质含量分布图与本项目的工作区范围及 4km²网格单元进行叠加,提取与 2004 年数据位置相同的网格单元表层土壤有机质含量,通过换算系数得到 1979 年的有机碳含量数据。后续操作与 2004 年数据相同。

1.8m 土壤有机碳含量的提取。统计第二次土壤普查中各土壤类型中的土壤典型纵向剖面土柱,按照 20cm 采样深度间隔分别整理为每 20cm 间隔深度的有机质含量,计算不同深度的有机质含量平均值,共统计 180cm 深度含量。将不同层深的 20cm 土层有机质含量加和作为该土壤类型的有机

质含量,除以换算系数 1.724 得到该土壤类型的有机碳含量均值。不同土壤类型的有机碳含量合成 1979 年 1.8m 厚度土壤有机碳含量分布图,与本项目的工作区范围及 4km²网格单元进行叠加,提取各单元网格有机碳含量数据。后续操作与 2004 年数据相同。需要指出的是,由于农业部门的土壤剖面多根据土壤构型的变化为采样深度标准进行采样。因此各剖面深度不一,在整理和计算过程中难免会产生误差,但是在历史数据缺乏的情况下,这样的计算数据在研究深层土壤的碳储量历史变化趋势方面仍具有很大价值。

2 结果与讨论

2.1 表层土壤有机碳含量

从 1979 年与 2004 年表层土壤有机碳含量计算结果(表 1)可以看出:相对于 1979 年,2004 年表层土壤的总有机碳储量增加了 32.01%,每平方千米有机碳储量平均增加 572.02t。多数土类的平均有机碳均有不同程度的增加,其中新积土在 1979 年至 2004 年的平均有机碳储量增加最多,增加量达到了 94.66%。棕壤、沼泽土、滨海盐土表层土壤平均有机碳储量减少。

由于研究区内的棕壤主要分布于冀东滨海低山丘陵区,一般多为次生林、疏林或人工林夹杂草灌;而目前研究区内的棕壤则主要被开垦为耕地或园地,自然林所占面积很小,因此导致土壤有机碳的流失;沼泽土是贮碳能力最强的土壤类型之一,但是由于人类活动的不断侵扰,大面积开垦沼泽土,使得大

表 1 1979 年与 2004 年各土壤类型表层有机碳含量对比

Table 1 The comparision of organic carbon content in topsoils for defferent soil types between 1997 and 2004

土壤类型	1979 年有机碳			2004 年有机碳		
	面积(km ²)	总储量(t)	平均碳储量(t/km ²)	面积(km ²)	总储量(t)	平均碳储量(t/km ²)
棕壤	704	2048640	2910.00	704	1562880	2220.00
草甸	135.81	225795	1662.58	135.81	280172	2062.97
沼泽土	724.5	2681566	3701.27	724.5	1993773	2751.93
砂姜黑土	617.02	1407088	2280.46	617.02	1778535	2882.46
褐土	19643.65	33148432	1687.49	19643.65	47219013	2403.78
风沙土	875.01	1021828	1167.79	875.01	1504081	1718.93
黄姜土	136.57	308946	2262.18	136.57	373881	2737.65
新积土	713.79	610169	854.83	713.79	1187747	1664.00
潮土	48701.9	86903797	1784.40	48701.9	115267170	2366.79
水稻土	433.62	992101	2287.95	433.62	1103871	2545.71
滨海盐土	1185.42	2550730	2151.75	1185.42	1936158	1633.31
石质土	160	346593	2166.21	160	387637	2422.73
粗骨土	80	187935	2349.19	80	231626	2895.32
汇总	74111.29	132433620	1786.96	74111.29	174826544	2358.97

注:土壤深度 0.2m。

量有机碳流失,并且使得有机质输入量减少。人为活动的加剧还会时沼泽土透气性增强,有机碳分解速率增大,从而降低了碳储量;滨海盐土由于地表植被稀疏、耕层有机质含量较低,且透气性好,受海水涨潮冲刷、水分蒸发等因素使得表层土壤碳流失,有机碳含量发生降低。

2.2 深层土壤有机碳含量

河北深层土壤有机碳含量从计算结果看(表2),河北平原区土壤有机碳主要分布在潮土和褐土中,各土壤中有机碳储量与其土壤的面积比例基本一致。估算结果表明,河北平原区 $7.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、1.8m 土壤厚度范围内至 2004 年固定的有机碳储量达到 $9.77 \times 10^8 \text{ t}$,土壤平均有机碳储量为每平方千米 $1.32 \times 10^4 \text{ t}$ 。其中沼泽土的平均碳储量最高,近 $2 \times 10^4 \text{ t/km}^2$;风沙土的平均碳储量最低仅为 $1 \times 10^4 \text{ t/km}^2$,相差 2 倍多。

表 2 1979 年与 2004 年各土壤类型深层有机碳含量对比
Table 2 The comparison of organic carbon content in deep soils for different soil types between 1997 and 2004

土壤类型	1979 年有机碳		2004 年有机碳	
	总储量 (t)	平均碳储量 (t/km ²)	总储量 (t)	平均碳储量 (t/km ²)
棕壤	10643304	15118	8812800	12518
褐土	205301210	10451	266354982	13559
沼泽土	16039858	22139	14400036	19876
潮土	485606532	9971	631418544	12965
风沙土	3297021	3768	8701056	9944
石质土	945892	5912	2283840	14274
粗骨土	617680	7721	1224720	15309
草甸盐土	1206377	8883	1791504	13191
滨海盐土	9891656	8344	13982832	11796
砂姜黑土	5992681	9712	10814040	17526
水稻土	3838644	8853	7162848	16519
合计	743380856	10031	976758210	13180

注:土壤深度 1.8m。

1979 年与 2004 年深层土壤有机碳储量数据对比表明:2004 年的总有机碳储量比 1979 年增加了 31.39%;在土壤类型上,绝大多数土壤类型的有机碳储量从 1979 年至 2004 年都发生了增长,但是棕壤和沼泽土的有机碳储量却在 25 年间降低了 3470326t,这一趋势与表层土壤相同。沼泽土和棕壤的有机碳储量减少客观地反映了 25 年来由于人类活动的加剧,自然环境被破坏,土壤质量退化引起的碳流失。与表层土壤不同的是,滨海盐土在 0~180cm 的总有机碳储量升高,这是由于滨海盐土区的生草时间较

长,植物根系发达,深层土壤能够累积较多的有机质。因此虽然表层土壤由于海水冲刷、水分蒸发等造成有机碳的流失,但总碳储量仍能增加。

浅层和深层土壤的不同土壤类型的平均有机碳储量变化趋势大体一致。从计算结果可以看出,水稻土、沼泽土、砂姜黑土等土壤类型有机碳储量较高,这些种土壤均有含水量较大,地下水位埋深较浅的特点。平均有机碳含量较低的土壤类型如风沙土、新积土、石质土等含水量普遍很低。可见水分含量影响土壤碳贮存能力,含水量高的的土壤类型碳储能力强,反之含水低的土壤类型则储碳能力较弱。韩冰等学者认为水田的固碳能力强于旱田(韩冰等, 2005),与本研究的结果相同。

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。水稻土、沼泽土、砂姜黑土等碳储量较高的土类的一个共同特点是粘土矿物含量高,有利于有机质的储存。与此相对应的风沙土和新积土中土壤平均有机碳储量最低。风沙土养分含量低,保水保肥力差;而新积土为各种河流冲积物、洪积物。该类型土汛期易受洪水淹没,枯水期长稀疏草灌,多为荒滩。因此可以判断,由生态环境破坏所造成的土壤类型差异是土壤中平均有机碳储量变化的主要原因。

对比冀东和冀中南两大平原的相同土壤类型,其平均有机碳储量也存在一定的差别(表 3)。以沼泽土为例,冀中南平原沼泽土主要分布在白洋淀,水量充足,芦苇等植被发育,而冀东平原的沼泽土则主要分布在草泊和油葫芦泊。这些地区沼泽退化,部分土地改种水稻,导致碳流失,因此前者有机碳储量远高于后者。

又如褐土和潮土。冀中南平原褐土中平均碳储量比冀东平原高 17.14%。这可能是与两地褐土的成土母质及质地有关。太行山山前平原主要为冲洪积扇母质,而冀东平原除部分地区为冲洪积相外,大部分地区是残坡积相,粘土矿物含量相对低于冀中南平原;冀东平原和冀中南平原的潮土均为冲湖积相,因此平均碳储量的差别很小,冀东平原潮土的平均碳储量仅比冀中南平原高 5%。

将河北省平原区估算的土壤有机碳储量与采用相同方法估算的中国其它区域对比发现(表 4),华北地区土壤的平均有机碳含量是最低的,西南地区最高,为华北地区 2~3 倍。这与各区域的气候及作物植被等因素有关。与其他区域相比,华北地区气候干燥,土质含水量低、透气性好;地表植被主要为

表 3 河北平原 2004 年深层土壤有机碳储量
Table 3 Organic carbon reserves in deep soil of hebei plain in 2004

土壤类型	冀中南平原			冀东平原		
	面积(km ²)	有机碳储量(t)	平均碳储量(t/km ²)	面积(km ²)	有机碳储量(t)	平均碳储量(t/km ²)
滨海盐土	449.42	5184432	11535.83	736	8798400	11954.35
水稻土	81.62	1757376	21531.19	352	5405472	15356.45
褐土	15147.65	212506902	14029.03	4496	53848080	11976.89
新积土	553.79	6363648	11491.09	160	1290240	8064.00
风沙土	843.01	8459136	10034.44	32	241920	7560.00
砂姜黑土	105.02	1661400	15819.84	512	9152640	17876.25
潮土	44253.90	571111344	12905.33	4448	60307200	13558.27
沼泽土	436.50	9944676	22782.76	288	4455360	15470.00
黄姜土	40.57	622080	15333.50	96	1535040	15990.00
草甸盐土	135.81	1791504	13191.25			
棕壤				704	8812800	12518.18
石质土				160	2283840	14274.00
粗骨土				80	1224720	15309.00
汇总	62047.29	819402498	13206.10	12064	157355712	13043.41

注:土壤深度 1.8m。

农耕作物或草质植物,储碳能力弱,对土壤覆盖少,阳光易暴晒土壤。以上因素导致华北土壤的有机质输入量少,而有机碳分解速率相对较高,因此使得土壤平均有机碳储量较低。

表 4 全国代表性区域土壤有机碳储量分布
Table 4 The distribution of organic carbon
in China typical areas

省区(所在大区)	有机碳 储量(t)	面积 (km ²)	平均有机碳 储量(t/km ²)
四川省四川盆地 西部区(西南)	1779887583	61148	29107.86
吉林省平原区(东北)	2618973357	95488	27427.25
湖南省洞庭湖区(中南)	837159672	38092	21977.31
江苏省(华东)	1818603526	106241.7	17117.61
内蒙古河套地区(华北)	286247058	29840	9592.73
冀中南平原区(华北)	819402498	62047.29	13206.1
冀东平原(华北)	157355712	12064	13043.41

注:土壤深度 1.8m。

2.3 河北平原土壤的有机碳储量增加过程

2004 年河北土壤有机碳储量高于 1979 年,并不是两个年份的孤立比较,而是随着时间的推移,河北平原土壤有机碳含量在不断增加。1993 年河北省开展了表层土壤耕层养分调查,该项目与第二次土壤普查和多目标地球化学的研究区范围相似,具有可比性。根据 3 个项目在表层土壤有机碳含量的

比较(表 5),可以发现河北平原土壤在 1979 年至 2004 年间始终是一个“碳汇”区。

表 5 表层土壤中有有机碳含量变化(%)
Table 5 Content change of organic carbon in topsoil

土类	1979	1993	2004
棕壤	0.94	0.86	0.91
褐土	0.68	0.77	0.87
沼泽土	1.49	1.17	1.22
潮土	0.59	0.68	0.79
风沙土	0.78	0.63	0.57
石质土	0.60	0.86	0.78
粗骨土	0.61	0.60	0.95
草甸盐土	0.46	0.55	0.75
滨海盐土	0.82	0.89	0.62
砂姜黑土	0.62	0.83	0.94
水稻土	0.88	0.92	0.95
全省平原土壤	0.58	0.70	0.83

研究区内土壤表层有机碳含量在 1979 至 2004 年的 25 年间逐步增加,从 0.58%增至 0.83%,增加量是原始含量的 43.10%。研究区内各土类的有机碳含量变化趋势与全省均值是一致的,即主要表现为有机碳含量的增加。特别是 1993 年至 2004 年的 9 年间,除了风沙土外,其它土类的有机碳含量均表现出明显的增加。风沙土的有机碳含量在研究时间段内呈现了逐渐降低的趋势。相对于其它土类,风沙土的有机碳含量属于较低的,这主要是有由风沙土的理化性质如养分含量低,保水保肥力差,存在风蚀、沙压、沙打等障碍因素等特点决定的。通过各年

份的表层有机碳含量比较,还可以发现多数土壤类型中的碳含量呈增加趋势,但棕壤、沼泽土及滨海盐土的有机碳含量发生了减少。

研究区内最主要的土壤类型是潮土,面积达到 49433.32km²,占研究区土壤面积的 60.03%,其次是褐土,面积为 21496.50km²,占总面积的 26.54%,其它土类面积总和尚不足总面积的 15%。因此潮土和褐土的碳储量变化决定了全省土壤碳储量的变化趋势。从历史数据中可以看出,潮土与褐土的有机碳含量呈现不断升高的趋势,且增速在加大。自 1979 年至 1993 年的 14 年间,潮土与褐土表层碳含量均增加了 0.09%,而 1993 至 2004 年的 9 年间,二者分别增加了 0.11%和 0.1%。

根据河北省在 3 个县多年份定位监测农田耕层有机质数据,证明河北省农田有机质含量在不断升高(图 1)。3 个县农田耕层自 1980 年代初开始有机质逐年增加,由此可以推测表层土壤有机碳含量也在增加,与本研究结论相同。

根据图 1 定位监测耕层土壤有机质含量变化曲线,可以看出,三个县(鹿泉、无极、临漳)的有机质含量在 1982 年至 2004 年间均呈逐年上升趋势。鹿泉县(□)的有机质含量在 1982 年约为 0.65%,1998 年约为 0.95%,2000 年约为 1.00%,2002 年约为 1.05%,2004 年约为 1.10%。无极县(△)的有机质含量在 1982 年约为 0.55%,1998 年约为 0.85%,2000 年约为 0.90%,2002 年约为 0.95%,2004 年约为 1.00%。临漳县(●)的有机质含量在 1982 年约为 0.50%,1998 年约为 0.90%,2000 年约为 0.95%,2002 年约为 1.00%,2004 年约为 1.05%。

2.4 土壤有机碳储量增加的原因浅析

对于土壤有机碳储量的变化及原因,有学者已经做过一定的工作并取得不少的成果。黄耀等综述了近 20 年包括华北在内的中国大陆主要地区表土有机碳的变化。其中关于河北土壤有机碳增加的结论与本文相同,同时将土壤有机碳的增加主要归因为秸秆还田与有机肥施用、化肥投入增加与合理的养分配比以及少(免)耕技术的推广(黄耀等,2006)。具体到河北平原的实际情况并结合本研究的成果,我们认为河北平原土壤有机碳储量增加的原因,依贡献率排序依次是是肥料(包括有机肥和化肥)的施用、大气 CO₂ 浓度的增加以及秸秆还田的推广。

(1)肥料的施用。据张光辉等(张光辉等,2009)统计,自 20 世纪 70 年代以来河北平原农田化肥(折

纯,下同)使用量持续大增,1970 年化肥使用量仅为 18.5×10⁴t,平均每公顷耕地施肥量为 27.04kg。紧 80 年代,化肥使用量增加数倍,1985 年达到 110.4×10⁴t/a,平均每公顷耕地施肥量为 167.14kg,净增 4.18 倍,1995 年化肥使用量为 220.7×10⁴t,平均每公顷耕地施肥量为 338.62kg,在 1985 年的基础上分别又增加 99.9%和 102.6%;2005 年,化肥使用量达到 303.4×10⁴t,平均每公顷耕地施肥量为 506.58kg,在 1995 年的基础上又分别增加 37.5%和 49.6%。30 年来其累积施肥量是巨大的,对土壤有机碳储量的增加应是主要的因素。施肥对于土壤有机碳增加的影响,已有许多前人学者的论著,此处不复赘述。

(2)大气 CO₂ 浓度增加。本研究涉及的时间对象正是我国改革开放的 30 年,随着工业经济的迅速发展,大气中 CO₂ 浓度迅速增加。虽然暂时无法统计 30 年来河北平原 CO₂ 浓度增加值,但赵少华等分析了河北平原自 1966 年至 1999 年 34 年间的气候变化趋势,其结论为河北平原年平均气温呈线性增加趋势,这与全球由于 CO₂ 浓度升高而升温的趋势一致,且河北平原年均温增速高于全球平均气温增速(赵少华等,2007)。上述结论可以印证河北平原 CO₂ 浓度在不断增加,且增长速度极有可能高于全球平均水平。大气 CO₂ 浓度的升高有可能通过生态系统中的各种生理过程增加输入土壤的碳量(陈春梅等,2008),而且还会通过促进植物光合作用效率及干物质累积进而间接影响土壤碳蓄积量(王绍强等,2002),除此之外,大气 CO₂ 升高会使得土壤有机质的化学稳定性增加,有利于土壤稳定碳的累积(马红亮等,2007)。

(3)秸秆还田。秸秆还田是《京都议定书》认可的固碳方法之一。秸秆还田可以通过增加土壤有机碳的直接输入实现土壤固碳。秸秆还田的推广是我国农田表土有机碳含量增加的主要原因之一(黄耀等,2006)。自上世纪 90 年代开始加大力度推广秸秆还田以来,到 2000 年以后面积才开始逐渐扩大,目前在河北平原全域基本实现 100%的秸秆还田率,为土壤有机碳增加做出了贡献。由图 1 可见,土壤有机碳自 80 年代开始就逐渐增高,但是由于秸秆还田是近十余年大面积实施,所以对于河北平原土壤有机碳储量的增加的整体而言,秸秆还田对土壤有机碳增长的贡献率应低于化肥的使用量。

3 结论

本研究应用多目标地球化学数据及历史资料计

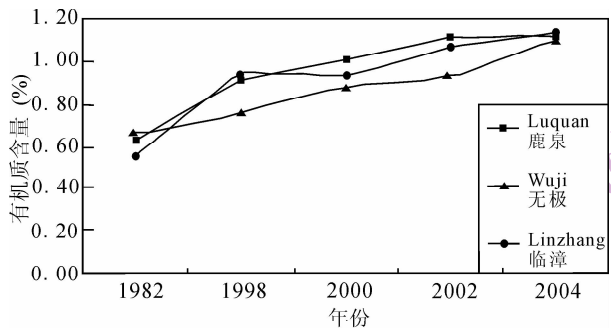


图 1 定位监测耕层土壤有机质含量变化曲线
Fig. 1 The change curve of organic carbon content in plough layer soil with local monitoring

算了 1979 年和 2004 年河北平原土壤有机碳含量,并证明了 1979 年至 2004 年河北平原土壤的有机碳储量的增长,不是两个孤立的数据比较,而是一个逐渐发展的过程。结果显示:①河北平原土壤有机碳含量在 25 年间持续增长,2004 年浅层和深层土壤平均有机碳储量比 1979 年有了分别增加了 24.25%和 31.39%。②水分含量、土壤母质和质地等是影响土壤碳贮存能力的因素。含水量和粘粒含量较高的水稻土、沼泽土、砂姜黑土等土壤类型碳储能力强,反之含水低、粘粒含量低的土壤类型如风沙土和新积土等则储碳能力较弱。③植被的破坏、土壤水分的流失会导致高水分含量的土壤类型的有机碳储量降低。在本研究中表现为绝大多数土壤类型的平均有机碳储量升高,但是表层的棕壤、沼泽土、滨海盐土和深层的棕壤、沼泽土等土壤类型发生了降低。(4)河北平原土壤有机碳储量的升高主要原因是施肥、大气 CO₂ 浓度的升高、秸秆还田。

参 考 文 献

陈春梅,谢祖彬,朱建国. 2008. 大气 CO₂ 浓度升高对土壤碳库的影响. 中国生态农业学报, 16(1):217~222.

葛全胜,戴军虎,何凡能,潘娜,王梦麦. 2008. 过去 300 年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究. 中国科学 D 辑:地球科学, 38(2):197~210.

韩冰,王效科,欧阳志云. 2005. 中国农田生态系统土壤碳库的饱和水平及其固碳能力. 农村生态环境, 21(4):6~11.

河北省土壤普查办公室,河北省土壤普查成果汇总编委会. 1990. 河北土壤. 石家庄:河北科学技术出版社:148~309.

黄耀,孙文娟. 2006. 近 20 年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势. 科学通报, 51(7):750~763.

李克让,王绍强,曹明奎. 2003. 中国植被和土壤碳贮量. 中国科学 D

辑:地球科学, 33(1):72~80.

马红亮,朱建国,谢祖彬,刘钢,曾青. 2007. 高 CO₂ 浓度条件下农田土壤有机质的化学稳定性研究. 农业环境科学学报, 26(6):2211~2215.

孙文娟,黄耀,张稳,于永强. 2008. 农田土壤固碳潜力研究的关键科学问题. 地球科学进展, 23(9):996~1004.

王绍强,刘纪远. 2002. 土壤碳蓄积量变化的影响因素研究现状. 地球科学进展, 17(4):528~534.

奚小环,张建新,廖启林,陈德友,白荣杰,黄增芳. 2008. 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. 第四纪研究, 28(1):58~67.

张光辉,刘中培,连英立,严明疆,王金哲. 2009. 河北平原地下水水质变及农药化肥施用变化影响. 南水北调与水利科技, 7(2):50~54.

赵荣钦,秦明周. 2007. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异. 生态与农村环境学报, 23(2):1~6, 11.

赵少华,杨永辉,邱国玉,樊彤,胡玉昆. 2007. 河北平原 34 年来气候变化趋势分析. 资源科学, 2007(4):109~113.

Davidson E A, Ackerman I L. 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soil. Biogeochemistry, 20:161~193.

Lal R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123:1~22.

Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impact on global climate change and food security. Science, 304(11):1623~1627.

Prentice I C, Farquhar G D, Fasham M J R, Goulden M L, Heimann M, Jaramillo V J, Khesghi H S, Quere C, Schles R J, Wallace D W R. 2001. The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. Cambridge:Cambridge University Press, 183~237.

Raich J W, Potter C S. 1995. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. Global Biogeochemical Cycles, 9(1):23~36.

Schimel D S, House J I, Hibbard K A, et al. 2000. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. Nature, 414:169~172.

Changes of Soil Organic Carbon Content in Hebei plain

LUAN Wenlou, SONG Zefeng, LI Suimin, CUI Xingtao

Shijiazhuang Univerisity of Economics, Shijiazhuang, 050031

Abstract

According to the second general soil survey data in 1979 and the multi-target geochemical survey in 2004 and other information. Grid cell are used to calculate the organic carbon storage of different types of soil in the Hebei Plain, including 0~0.2m and 0~1.8m in the year 1979 and 2004. The result shows that during 25 years the soil organic carbon content of the Hebei Plain keeps growing. The average organic carbon of the top and deep soil in 2004 has respectively increased by 24.25% and 31.39% than which in 1979. The factors, which affect the carbon storage capacity of soil, are water content, soil parent material, soil texture, etc. Such types of soil as rice soil, bog soil, lime concretion black soil etc. with higher content of water and clay has the stronger ability of soil carbon storage. Otherwise it's weaker when the types of soil are the wind sand soil, new product soil and likewise with lower water and clay content. The destruction of vegetation and the loss of soil water will decrease the soil organic carbon storage of the types of soils with high water content. In this study, it's showed that the average organic carbon storage of most soil types increased except the surface of the brown soil, bog soil, seashore saline soil and deep brown soil and bog soil, whose storage decreased.

Key words: organic carbon storage; soil; Hebei plain