

中国农田表土有机碳含量变化探讨 ——基于中文期刊网论文资料的统计分析

邵继承^{1,2}, 闫明¹, 程琨¹, 潘根兴^{1*}

(1.南京农业大学农业资源与生态环境研究所,南京 210095;2.内蒙古民族大学农学院,内蒙古 通辽 028042)

摘要 检索获取了中国期刊网收录的1980—2009年间土壤研究文献,提取了其中研究样品的有机质含量信息并形成数据库,统计评价了我国农田表土有机碳含量变化情况。结果表明:1985年以前文献土壤样品有机碳含量平均为 $(12.88\pm 7.86)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,1985—1992年则为 $(11.26\pm 6.30)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,1993—2002年为 $(11.67\pm 5.11)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而2003—2009年为 $(11.72\pm 7.15)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;显示,1985年以来农田表土有机碳含量呈现总体上升趋势,支持了我们对土壤监测资料的分析结果。土地利用方式显著影响土壤样品的有机碳含量水平,水田总是高于旱地($P<0.05$),不随时间变化而改变;旱地土壤样品的有机碳含量以1985年前为最高,而水田样品2003—2009年期间含量高于1985年前水平。同时分析表明,旱地农田表土有机碳含量区域差异明显,近30年来,旱地农田表土有机碳含量在华北、华东、西北增加显著($P<0.05$),而在东北显著降低($P<0.05$);华南、西南有机碳含量变化不明显($P>0.05$)。这些结果支持了已有的土壤监测资料和调查资料研究中中国土壤固碳趋势及其地理区域分异的认识。

关键词 农田土壤;土壤有机碳;土地利用;文献研究

中图分类号 S153.6 文献标志码 A 文章编号:1672-2043(2011)09-1816-06

Change in Topsoil Organic Carbon Changes of China's Cropland: A Statistical Analysis of Sample Data in Chinese Literature from Available on CNCK Network

TAI Ji-cheng^{1,2}, YAN Ming¹, CHENG Kun¹, PAN Gen-xing^{1*}

(1. Institute of Resources, Ecosystem and Environment of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028042, China)

Abstract In this study, data of SOC of the research samples were retrieved to form a database of cropland soil sample SOC dynamics from Chinese literature from CNCK journal network available during 1980 to 2009. Change in topsoil soil organic carbon (SOC) was analyzed under different land use types and in different sampling decades. While the SOC content on average was $(12.88\pm 7.86)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ for croplands sampled before 1985, it decreased to $(11.26\pm 6.30)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ during 1985—1992 and increased slightly thereafter to $(11.67\pm 5.11)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ sampled during 1993—2002 and increased significantly to $(11.72\pm 7.15)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ during 2003—2009. Thus, an overall increasing trend of cropland topsoil SOC content was evidenced, supporting our previous study on soil monitoring data. Land use type had very remarkable impact on cropland SOC content as rice paddies had significantly higher SOC content than dry croplands, being regardless of sampling duration. The SOC contents of dry croplands were highest before 1985 while that of rice paddies peaked during 2003—2009. There existed much difference in mean SOC contents of drylands between the geographical regions of China, as SOC contents of croplands were found significantly increased from North, East and Northwest China for last 30 years ($P<0.05$) but decreased from Northeast China ($P<0.05$) and almost unchanged from Southwest China. These findings could further support the general increase in SOC in China's croplands, which varied with geographical conditions.

Keywords China cropland; soil organic carbon; land use; literature research

收稿日期 2011-03-19

基金项目 财政部 CDM 基金“中国农业农村温室气体减排潜力评估研究”(0810010)

作者简介 邵继承(1977—),内蒙古通辽人,讲师,博士研究生,从事农田土壤有机质及固碳研究。

* 通讯作者 潘根兴 E-mail: gspan@njau.edu.cn

促进陆地生态系统碳的固定及其稳定、减少温室气体排放已经被国际社会广泛接受为减缓气候变化的主要途径之一^[1]。全球表层系统土壤有机碳库贮量约为 1 550 Pg,是大气碳库的 2 倍,陆地生物质碳库的 2~4 倍^[2-4]。虽然全球土壤碳库容量可观,但在陆地生态系统中只有农业土壤碳库是受到强烈干扰且在短时间尺度内可调节的,因而农业土壤碳库储量及其固碳能力成为评估各国近期温室气体减排潜力的重要依据^[5]。

作为传统的农业大国,我国耕地面积约 140 Mhm²^[6],耕地支撑着我国农产品供应和食物安全。但是由于高强度利用,我国耕作活动使土壤有机质消减,使得耕地土壤有机碳密度总体上较低^[7]。这当然说明我国农田生态系统总体质量较差,但也预示我国农田土壤固碳减排的巨大潜力。在自然因素和农业管理措施的作用下,农田土壤碳库的动态变化对于大气 CO₂ 的源汇具有直接的意义^[8-9]。以往我国研究者通过调查和土壤检测资料以及文献研究资料的数据处理,统计和定量研究了村、县、省等不同尺度的区域农田土壤有机碳的动态变化特征。我们假设所有土壤研究的样本为随机采集,这样利用样本的土壤研究文献报道的有机碳资料代表研究当时的土壤有机碳背景。收集和处理不同时间段发表的土壤研究文献,提取其中有机质含量及其他相应信息,对这些样本的统计便可以认识不同时间段的农田土壤有机碳动态。因此,试图通过对期刊网已发表的土壤研究学术论文中样本有机质(碳)含量数据的统计,分析 1980 年以来中国农田土壤有机碳的变化情况,以丰富我国农田土壤有机碳研究资料并为认识农田有机碳动态进一步提供科学依据。

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

搜索中国期刊网和维普科技期刊网收录的有关

采用野外土壤样品的土壤学专业研究论文,出版时间期限为 1980 年 1 月至 2009 年 12 月。查阅上述文献中材料与方法中样品的资料,提取其采样年份、地点、土地利用、土壤样品有机质(碳)含量等信息。筛选有效有机碳信息的原则是:(1)土壤样品取自大田,未经过人为处理;(2)为避免重复,采用同样品的多个发表文献仅保留其一。最终,整理为中国研究文献农田表土样品有机碳数据集(1980—2009),见表 1 和表 2。

表 1 农田表土有机碳样本数分布表

Table 1 Distribution table of SOC in surface farmland sample number

时间段	有效文献数	样本总数	水田样本数	旱地样本数
1985 以前	342	538	234	304
1985—1992	151	293	102	191
1993—2002	140	215	65	150
2003—2009	335	395	99	296
总体	968	1 441	500	941

1.2 数据处理与统计方法

1.2.1 有机碳数据归一化

本文主要研究农田表土(0~20 cm)有机碳变化,首先按(1)式将原始数据集中土壤有机质(SOM)数据全部转化为土壤有机碳(SOC)数据:

$$\text{SOC}(g \cdot \text{kg}^{-1}) = 0.58 \times \text{SOM}(g \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (1)$$

少数文献记载的样品的采样深度并非 0~20 cm,根据参考文献[10]和[11]介绍的深度关系及下述(2)式归一化为 0~20 cm 土层的相应含量:

$$\text{SOC}_{(0-20\text{cm})} = \text{SOC}_{(\text{样品})} * \delta \quad (2)$$

式中, SOC_(样品) 为报道的实际采样深度的有机碳含量(g·kg⁻¹), δ 为深度转化函数,当实际采样深度为 >20 cm 时, δ > 1,而实际采样深度 < 20 cm 时, δ < 1。

1.2.2 统计时段的划分

土壤有机碳是关键土壤质量指标,土地经营和农业管理对农田土壤有机碳变化起着关键作用。所以,

表 2 不同地区农田表土有机碳样本数分布

Table 2 Distribution of SOC in surface farmland sample number in different regions

时间段	华北		东北		华东		华南		西南		西北	
	水田	旱地	水田	旱地	水田	旱地	水田	旱地	水田	旱地	水田	旱地
1985 以前	1	39	5	116	140	72	68	42	19	9	1	26
1985—1992	2	60	4	43	43	36	43	11	10	2	-	39
1993—2002	1	38	5	15	31	32	21	31	6	10	1	24
2003—2009	-	41	11	36	41	66	35	51	12	29	-	73
总体	4	178	25	210	255	206	167	135	47	50	2	162

主要参考中国农村体制改革和农业发展进程划分样本统计时段。1985年全国第二次土壤普查基本完成,在全国范围内完成家庭联产承包责任制改革^[12]。1992年邓小平南巡讲话标志着全国范围农业产业化和乡村工业化的兴起^[13]。2003年农业部开始在全国范围内推行测土配方施肥和耕地有机质提升计划。因此,将所有文献有机碳样本按样品采样时间划分为1985以前,1985—1992,1993—2002,2003—2009等4个时间段。

1.2.3 数据统计和显著性差异检验

数据处理在Microsoft Excel 2003软件平台上进行,土地利用间及其时间段间有机碳差异的统计分析,与检验采用JMP7.0软件进行。

考虑到文献源样品的特点,时间段间差异的显著性检验概率定在 $P < 0.1$,而土地利用间的差异概率定在 $P < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 文献样本数和有机碳样本数分布

收集的有效文献数为968篇,通过整理共收集有效农田表土有机碳样本为1441个,其中,水田占34.70%,旱地占65.30%(表1)。可见,以土壤为样本且有机碳作为基本性质测定的样本数及其水田和旱地分配随时间段而异。其中,1985年前(出版期限实际为1980—1984,样品采集最早是1974年),文献数和样本数均为最高,佐证第二次全国土壤普查期间,土肥工作者应用研究空前繁荣。随着土壤普查结束,对土壤的关注程度下降,研究文献数及采样样本数于1985—1992和1993—2002期间为低谷,特别是1993—2002年间,我国对农业的投入和对农业基础科学的投入偏少,技术生产力贡献较低,以致于至2003年我国农业生产跌入谷底。2003—2009年文献数和样本数有较大幅度提升,反映了资源环境问题得到重视和支持,并且在科学发展观指导下中国可持续发展能力备受重视,土壤研究重新繁荣。同时,提高粮食生产能力和减缓气候变化都对土壤有机碳研究提出了新的需求。因此,这种样本分布的时间变化某种程度上反映了土壤学研究的足迹。样本数的地区分布呈现明显的差异(图1),样本总数华东最高,华南、东北和华北次之,西南和西北最少,一方面反映了区域社会经济发展对土壤研究的关注程度,同时也可能反映了所在地区的科研院所的研究投入,华东有效文献和有效样本数最高,这一地区有中国科学院南京土壤

研究所,有南京农业大学和浙江大学的土壤学国家重点学科,从文献看这一地区成为我国土壤研究的中心。就不同的土地利用来说,旱地样本数显著高于水田,水田与旱地的样本数平均比率为0.53,但1985年前为0.77,1985—1992年间为0.53,1993—2002年间为0.44,而2003—2009年间进一步下降到0.33。相对于土地利用面积来说,土壤普查期间稻田土壤研究最为充分,而随着时间迁移,旱地研究不断加强,这一方面反映了稻田在不断减少,在农业中的比重逐渐下降,另一方面旱地的生态环境问题日益突出,例如黄土高原土壤侵蚀和东北土壤退化问题。不过,相对于面积来说,水田研究仍高于旱地,这可能与土壤学研究单位的分布有关。华东地区集中了土壤学研究的活跃单位,而这一地区以水田为主。

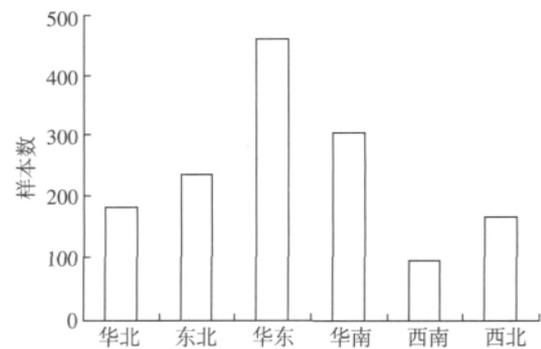


图1 土壤有机碳样本频数的区域分布
Figure 1 Frequency distribution of SOC sample in different regions farmland

2.2 农田表土样品有机碳含量随时间的总体变化

图2表明不同时间段土壤研究样品的有机碳含量的频度分布。可见,表土样品有机碳的频度分布格式在不同时间段没有明显变化。各时间段内样品有机碳含量均表现为偏正态分布,频度分布最高的区间为 $6.00 \sim 9.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其次为 $9.00 \sim 12.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $3.00 \sim 6.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,上述3个区间占50.93%~63.80%,这与我国农田土壤有机碳含量普遍偏低是一致的,而 $12.00 \sim 15.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $15.00 \sim 18.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 两个区间的频度变化可能是影响农田土壤有机碳水平整体下降的主要原因,1985年前此段区间占26.20%,而后依次降到16.73%、20.00%和20.50%。2003年后,中心趋势都是在 $9 \sim 12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,频度分布更趋于正态分布,样本分布逐渐向中值高侧偏移,说明农田土壤有机碳存在一定的全国范围的均一化趋势,因为农业利用和管理下,低有机质土壤增加有机碳,而高有机质土壤耕作降低了有机碳。

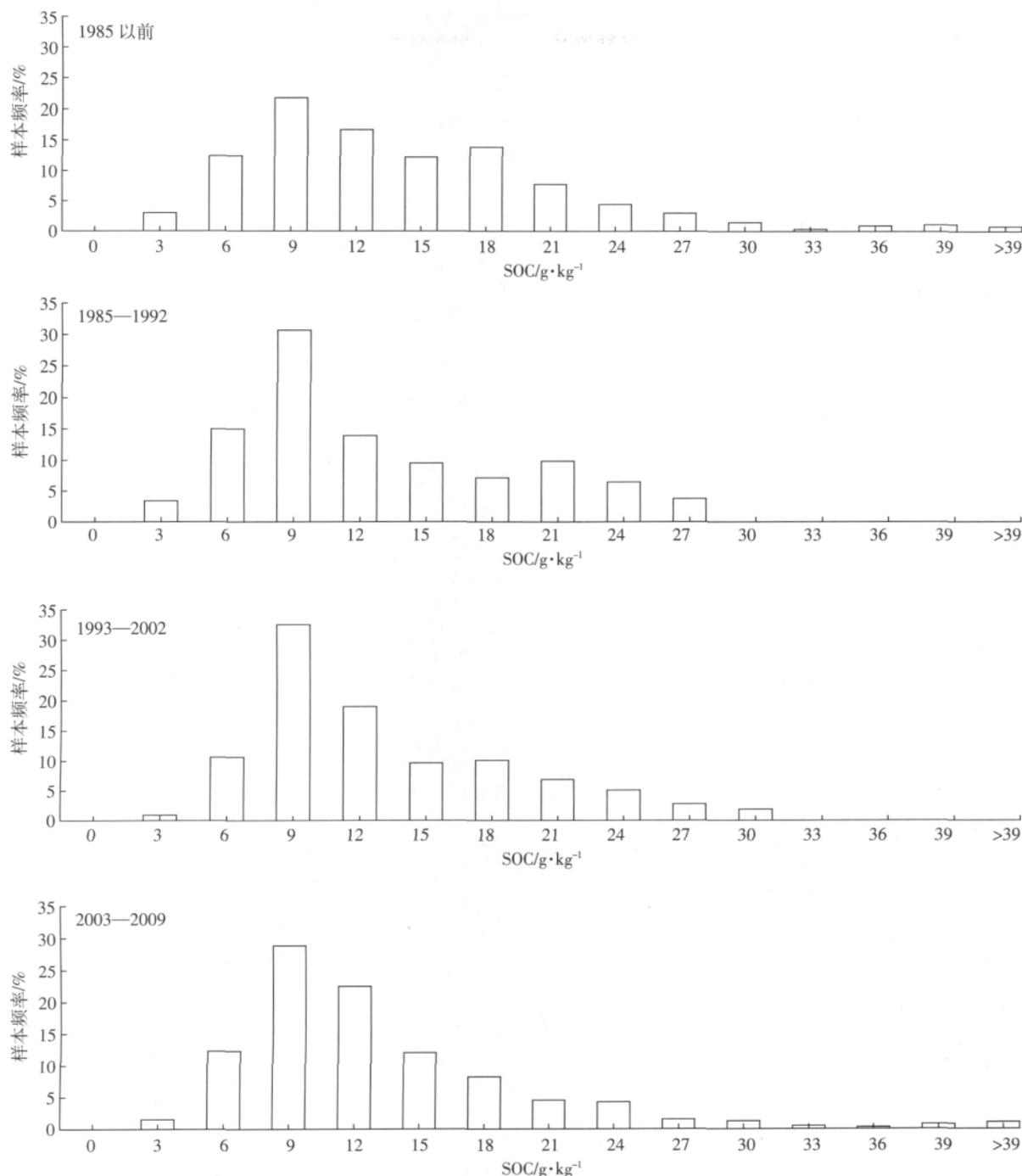


图2 土壤研究表土样品的有机碳含量频度分布

Figure 2 Frequency distribution of SOC content of topsoil samples used in soil studies

不同时间段的样品有机碳含量的统计结果列于表3。1985—1992年间的表土样品有机碳含量($11.26 \pm 6.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)显著低于1985年前($12.88 \pm 7.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，可能反映了家庭联产承包激发了农业生产热情，加上当时化肥供应还不是很充足，农业中消耗土地自然肥力较大。自1985年以来，土壤有机碳含量表现为逐步提高，尽管1985—1992和1993—2002年间两

个时间段没有显著差异，但2003年以后显著($P < 0.1$)高于1993—2002年间。说明，我国农业土壤有机碳1985年以来处于上升中，这已经在很多研究中充分反映^[14-16]，看来土壤研究样品的有机碳含量统计同样支持了这样的结论。这里估计出平均的表土样品有机碳的年报和速率为 $0.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，与Pan et al.(2010)的土壤检测结果的统计值相当^[17]。说明，土壤研究样品的

表3 土壤研究表土样品有机碳含量的时间变化($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 3 Changes of SOC content of topsoil samples used in soil studies

时间段	样本数	最小值	最大值	中值	平均值	变异系数/%
1985 以前	538	0.10	68.56	11.10	12.88A	61.02
1985—1992	293	0.97	26.51	9.05	11.26C	55.96
1993—2002	215	0.73	29.40	9.54	11.67C	51.22
2003—2009	395	0.53	57.01	10.10	11.72B	61.03

注:不同大写字母表示不同时间段间的显著性差异($P<0.1$)。

有机碳变化在某种程度上也代表了农田土壤有机碳的整体变化。

2.3 农田表土样品有机碳含量变化的土地利用差异

土地利用方式由于生产方式和投入的差异会影响土壤有机碳的输入与输出平衡。表4按水田和旱地列出了农田表土样品不同时间段变化。总体上,水田表土样品有机碳含量高于旱地约 $5.5\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,但两者间差异随时间加大。在1985—2009年间,水田样品的平均有机碳年增长量为 $0.061\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而旱地为 $0.036\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,前者大约是后者的两倍。Pan et al(2010)指出,中国农田土壤表土有机碳在1985—2006年间平均年增加速率为 $0.076\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而水田为 $(0.110\pm 0.244)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,旱地则为 $(0.056\pm 0.200)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,监测起始和终止时的有机碳含量水田分别高于旱地 $5.7\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $6.3\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这也印证了上述研究结果。因此,支持了水田固碳快于旱地的认识。同时,本统计研究还表明,水田样品的有机碳含量的变异系数不同时间段都在40%~45%间,而旱地则介于48%~73%,提示旱地有机碳的稳定性较差,田块的空间变异性和时间变异性均大于水田,这是稻田系统较旱地系统稳定的缘故。程琨最近的研究(本专辑)表明水田的生产力也较旱地稳定。

由于1992年以后产业结构调整,旱地较多地转变为蔬菜地和园地。1993—2002和2003—2009两时间段园地样本(分别有18个和81个)表土有机碳含

表4 水田和旱地表土样品有机碳含量变化($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 4 Changes soil organic carbon content of rice paddies and dry croplands

时间段	水田	旱地
1985 以前	15.63±6.92A(234)	10.77±7.89B(304)
1985—1992	14.93±6.15A(102)	9.30±5.46B(191)
1993—2002	15.96±6.45A(65)	9.80±4.68B(150)
2003—2009	16.39±7.36A(99)	10.16±6.37B(296)
总体	15.68±6.80A(500)	10.12±6.53B(941)

注:不同大写字母表示同时间段水田和旱地间的差异显著性($P<0.05$),括号内为样本数。

量平均值分别为 $(11.57\pm 4.01)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(13.14\pm 8.28)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,看来旱地土壤改园地后有机碳含量显著升高。同时,水田有机碳含量以2003—2009年时间段最高,旱地则是1985年前时间段最高,这是否意味着旱地利用的总体趋势是有机碳失去稳定性,尽管产量明显高于1985年前,但增加的有机碳投入并没有反映在土壤有机碳的积累。因此,旱地土壤有机碳含量的提高仍然是提高我国农田土壤有机碳整体水平的挑战。

2.4 旱地农田表土样品有机碳含量变化的区域差异

本研究收集文献水田样品数受文献数量限制,不能满足区域间差异分析。同时将土壤普查以后的样品全部整合,得到不同区域旱地农田表土样品的有机碳变化情况列于表5。可见,东北旱地农田表土有机碳含量最高,其次,为西南地区;其他地区间差异不显著。自1985年以来,除了东北显著下降外,华北、华东、西北旱地农田表土有机碳含量显著增加,而华南和西南增加不显著($P>0.05$)。这种变化很好地反映在许信旺等的研究中^[15]。于东升等、俞海等的研究也得出了类似的结论^[18-19]。看来,尽管样品量存在一定局限性,但研究文献中土壤样品有机碳含量的变化仍反映出区域间的变化。

3 结论

通过收集的文献研究土壤样品有机碳变化资料,看出土壤研究的样品分布体现了土壤研究者的兴趣和区域的优先性,水田多于旱地,东部多于西部,但是,无论是平均的总体变化,还是水旱间和区域间的差异,都与土壤监测和调查资料的统计分析结果十分吻合。因此,土壤研究文献中土壤样品看来总体上代表了中国土壤分布和农业发展态势。本文的研究支持了1985年以来中国农田表土有机碳总体上呈现积累,且水田高于旱地,东部高于北部,而东北仍处于损失中的认识。旱地样品的有机碳含量仍以1985年前为最高和水田则是最近时期最高,提示了旱地有机碳提升将是我国农田有机碳提升的艰巨任务,也是未来

表5 不同区域旱地农田表土样品有机碳含量变化($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 5 Changes in organic carbon content of dry cropland topsoil samples in different regions

时间	华北	东北	华东	华南	西南	西北
1985 前	8.17±2.98bB	15.34±10.02aA	7.35±4.74bB	9.08±3.81aB	11.44±7.74aAB	6.18±2.07bB
1985 后	9.22±4.46aC	14.18±6.71bA	8.72±4.79aCD	8.98±3.32aCD	11.42±4.78aB	7.96±4.34aD

注:不同小写字母表示同列处理间(两时间段)显著性差异比较;不同大写字母表示同行区域间显著性差异($P<0.05$)

固碳减排需要关注的重大问题。应通过配套技术的研究、农户培训和政府补贴、进一步推广秸秆还田、平衡施肥、少(免)耕保护性耕作等措施,稳定和提高了土壤有机碳含量,以达到逐步提升农田生产力和固碳减排的目的。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change Mitigation of climate change. Working group III Contribution to the fourth assessment report of the IPCC[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, 304: 1623-1627.
- [3] Lal R. World soils and the greenhouse effect[J]. *Global Change News Letter*, 1999, 37: 4-5.
- [4] Watson R T, Noble I R. Carbon and the science-policy nexus: The Kyoto challenge[C]//Steffen W, Jager J, Carson D, Bredshaw C, eds. Challenges of a Changing Earth. Proceedings of the Global Change Open Science Conference. Berlin: Springer, 2001: 57-64.
- [5] 潘根兴. 中国土壤有机碳库及其演变与应对气候变化[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(5): 282-289.
PAN Gen-xing. Soil organic carbon stock, dynamics and climate change mitigation of China[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2008, 4(5): 282-289.
- [6] 国家统计局国民经济综合统计司. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
National Comprehensive Statistics Division of National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2006.
- [7] Song G H, Li L Q, Pan G X, et al. Topsoil organic carbon storage of China and its loss by cultivation[J]. *Biogeochemistry*, 2005, 74: 47-62.
- [8] 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 Wen-juan. Changes in topsoil organic carbon of croplands in mainland China over the last two decades[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(7): 750-763.
- [9] Janzen H H. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it?[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38: 419-424.
- [10] 迟传德, 许信旺, 吴新民, 等. 安徽省升金湖湿地土壤有机碳储存及分布[J]. 地球与环境, 2006, 34(3): 59-64.
CHI Chuan-de, XU Xin-wang, WU Xin-min, et al. Storage and distribution of soil organic carbon in Shengjin Lake wetland, Anhui, China [J]. *Earth and Environment*, 2006, 34(3): 59-64.
- [11] 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.
XU Yan, ZHANG Feng-rong, DUAN Zeng-qiang, et al. Calculation method for density and storage of soil organic carbon[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(6): 837-839.
- [12] 白俊超. 我国农村土地制度改革研究[D]. 西北农林科技大学, 2007.
BAI Jun-chao. Study on reformation of China rural land system[D]. Northwest Agriculture and Forestry University, 2007.
- [13] 李小明. 粮食主产区农民收入问题研究[D]. 中国农业科学院, 2005.
LI Xiao-jun. Farmers' income of main grain-producing area in China [D]. Chinese Academy of Agricultural Science, 2005.
- [14] 吴乐知, 蔡祖聪. 基于长期试验资料对中国农田表土有机碳含量变化的估算[J]. 生态环境, 2007, 16(6): 1768-1774.
WU Le-zhi, CAI Zu-cong. Estimation of the change of topsoil organic carbon of croplands in China based on long-term experimental data[J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16(6): 1768-1774.
- [15] 许信旺, 潘根兴, 汪艳林, 等. 中国农田耕层土壤有机碳变化特征及控制因素[J]. 地理研究, 2009, 28(3): 601-612.
XU Xin-wang, PAN Gen-xing, WANG Yan-lin, et al. Research of changing characteristics and control factors of farmland topsoil organic carbon in China[J]. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 601-612.
- [16] 于严严, 郭正堂, 吴海斌. 1980—2000年中国耕作土壤有机碳的动态变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(6): 123-130.
YU Yan-yan, GUO Zheng-tang, WU Hai-bin. Changes in organic carbon of cultivated soils in China from 1980 to 2000[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2006, 26(6): 123-130.
- [17] Pan G X, Xu X W, Pete Smith, et al. An increase in topsoil SOC stock of China's croplands between 1985 and 2006 revealed by soil monitoring[J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2010, 136: 133-138.
- [18] 于东升, 史学正, 孙维侠, 等. 基于1:100万土壤数据库的中国土壤有机碳密度及储量研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 2279-2283.
YU Dong-sheng, SHI Xue-zheng, SUN Wei-xia, et al. Estimation of China soil organic carbon storage and density based on 1:1 000 000 soil database[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 2279-2283.
- [19] 俞海, 黄季焜, Scott Rozelle, 等. 中国东部地区耕地土壤肥力变化趋势研究[J]. 地理研究, 2003, 22(3): 380-388.
YU Hai, HUANG Ji-kun, Scott Rozelle, et al. Soil fertility changes of cultivated land in Eastern China[J]. *Geographical Research*, 2003, 22(3): 380-388.

致谢: 本文数据来自发表的文献, 在此对文献作者表示衷心的感谢!