

白城地区近 50 年土壤有机碳动态变化研究

汤洁¹, 李娜¹, 毛子龙¹, 李昭阳¹, 张楠¹, 许鑫^{1,2}

1. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130012; 2. 吉林省环境保护厅, 吉林 长春 130033

摘要: 基于白城地区第一次、第二次全国土壤普查和野外现场采样共 217 个土壤剖面数据, 利用“土类-土地利用类型”权重方法, 估算白城地区 11 个土类从 20 世纪 50 年代至 2009 年近 50 年的土壤有机碳密度 (SOD) 和碳储量 (SOC), 分析 SOD 变化规律, 探讨其时空演化特征, 结果表明, ①近 50 年来, 除水稻土和栗钙土 SOD 随时间增加外, 其余各土类 SOD 随时间持续降低; 但不同时期泥炭土 SOD 均最高, 盐碱土均为最低。②近 50 年来, 白城地区的 SOD 从 $92.22 \pm 21.13 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 减少至 $68.01 \pm 10.76 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 表现为自北向南、自西向东降低的空间分布规律。③近 50 年来, 白城地区 SOC 减少了 $6.2 \times 10^7 \text{ t}$, 各县市 SOC 呈逐年降低态。

关键词: 土壤评价; 白城地区; 土壤有机碳密度 (SOD); 土壤有机碳储量 (SOC)

中图分类号: S153.6

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2011) 05-0865-04

地球系统碳循环是连接诸如温室气体、全球变暖和土地利用等重大全球问题的纽带, 是在更高层次上推进学科交叉和综合集成的切入点^[1]。土壤圈作为陆地生态系统中最大的碳库^[2-3], 所存储碳大约是植被碳库中的 1.5~3 倍^[4-5], 大气碳库中的 2 倍^[6], 其变化对全球气候变化起着重要作用。

从 20 世纪 90 年代开始, 国内学者纷纷开展了关于 SOC 储量的研究。但多从国家尺度上, 并基于国家土壤普查数据, 采用面积加权法、模型模拟法和相关关系法等估算中国 SOC 储量^[7-9]。本研究在收集第一次、第二次土壤普查数据的基础上, 补充监测近年的土壤有机碳, 估算白城地区近 50 年来土壤有机碳密度 (SOD) 和土壤有机碳储量 (SOC), 以其揭示近 50 年来白城地区 SOD 和 SOC 变化规律及空间差异。

1 研究区概况

白城地区位于吉林省西北部, 地理坐标为东经 $121^{\circ}38' \sim 124^{\circ}22'$, 北纬 $44^{\circ}13' \sim 46^{\circ}18'$, 全区辖洮北区、洮南市、大安市、通榆县和镇赉县 5 个市县 (见图 1), 幅员 $25\,685 \text{ km}^2$ 。该区位于松嫩盆地西缘, 地势由西北和西南向东依次为低山、丘陵、平原, 土壤类型为栗钙土、黑钙土、草甸土、淡黑钙土和风砂土等共 13 个土类、36 个亚类、63 个土属、159 个土种, 其中水稻土主要分布在洮儿河下游和嫩江沿岸的洮南、洮北和镇赉县。

研究区属温带大陆性季风气候, 春季干旱多风、夏季降水集中、秋季早霜降温快、冬季漫长寒冷。

自 1901 年在该区实行“移民实边”、“开禁招垦”的新政以来, 打破了人口稀少, 草地破坏程度较小

的生态格局, 耕地面积不断增加, 由于缺乏系统、科学地土地利用和整治规划, 草地退化、耕地生产力下降、建设用地乱占滥建等现象日益严重。为综合治理沙化、盐碱化土地, 改造低产田, 于 20 世纪 50 年代在洮南市率先实施了开采地下水开发水田 (小井种稻) 的工程, 在 80 年代逐渐扩大至洮北区和镇赉县。自 2007 年以来, 吉林省政府拟通过“引嫩入白”和“大安灌区”等引水工程建设, 充分利用嫩江水资源, 大面积改造低产田和盐碱地, 增加有效灌溉面积。

本研究选取黑土、黑钙土、淡黑钙土、栗钙土、草甸土、盐碱土、冲积土、风砂土、沼泽土、泥炭土、水稻土共 11 个土类为研究对象, 探讨近 50 年白城地区土壤有机碳动态变化。

2 研究方法

2.1 数据源

本研究在资料和数据收集整理的基础上, 补充采集土壤样品, 进行土壤有机碳分析检测, 研究白城地区近 50 年 (即 20 世纪 50 年代至 2009 年, 记为 1950s 至 2000s, 其它年代的记法依此类推) SOD 和 SOC 变化研究, 数据源来自以下三部分。

(1) 1950s 和 1980s 土壤剖面数据引自全国第一次、第二次土壤普查剖面数据^[10], 共计 193 个剖面 (图 1), 数据包括土壤剖面的地理位置、土层深度、有机质含量、容重和理化分析数据等^[11-12]。

(2) 2000s 土壤剖面数据源自课题组实验室测定, 于 2009 年 8 月在土壤普查点位采集 1 m 深土壤剖面 217 个, 同时采集采集 1 m 深的水田土壤剖面样品 24 个 (图 1), 分五层 (0~10 cm、10~20 cm、

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871088); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20090061110057)

作者简介: 汤洁(1957年生), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事生态环境系统与信息管理研究。E-mail: tangjie@jlu.edu.cn

收稿日期: 2011-04-12



图 1 白城地区行政区划及土壤剖面采样点图
Fig.1 Sampling Locations in Baicheng District

20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm、60 ~ 100 cm) 取样。

所有土壤样品均采用环刀法测定土壤容重, 烘干法测定土壤含水率, 利用重铬酸钾-硫酸外加热法测定 SOC 含量。

(3) 专题图件: 所采用的图件包括白城地区土地利用类型图、土壤类型图和行政区划图, 具体见表 1。

表 1 研究中所采用的专题图件

专题图件	时间段	比例尺/分辨率 (m)	备注
土地利用图	2000s 年	30m	Landsat TM 解译
	1980s 年	30m	Landsat TM 解译
	1950s 年	30m	利用 CA-Markov 模型重建 ^[13]
土壤类型图	1980s 年	1:100 万	吉林省农业厅
行政区划图	1990s 年	1:200 万	吉林省测绘局

2.2 研究方法

土壤有机碳密度 (SOD) 是指单位面积一定深度范围内土层中包含土壤有机碳数量, 公式如下^[13]:

$$SOD = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - \delta_i\%) \times \rho_i \times C_i \times T_i}{100} \quad (1)$$

式中 SOD 为厚度为 D 的土层的 SOC 密度, n 为土层数; δ_i 为第 i 层 >2 mm 砾石含量 (体积百分含量), ρ_i 为第 i 层土壤密度 ($g \cdot cm^{-3}$), C_i 为第 i 层土壤有机碳含量 ($g \cdot kg^{-1}$), 由土壤有机质含量乘以 0.58 (Bemmelen 转换系数) 得到的; T_i 为第 i 层土层厚度 (cm)。对密度缺失的剖面, 按其所属土壤类型, 取相同土种或土属的相同剖面层密度代替。

土壤有机碳储量是指区域范围内土层包含土壤有机碳的总量, 计算公式为:

$$SOC = \sum_{i=1}^n D_{oc_i} \times S_i / 100 \quad (2)$$

式中 SOC 为区域内某土属土壤有机碳储量 (t), S_i 为区域内某土属图斑面积 (m^2), n 为区域内某土属图斑数量。

本文在计算各土类 1 m 深 SOD 的基础上, 将 1950s、1980s 和 2000s 白城地区土地利用类型图与土壤类型图叠加, 以该土类占土地利用类型的面积比例为权重求取相应土地利用类型的土壤有机碳密度, 其值与各土地利用类型面积相乘, 计算得到该区各县市三时期 SOD 和 SOC, 采用对比分析的方法研究近 50 年来白城地区土壤有机碳的动态变化。

3 结果与讨论

3.1 土壤有机碳密度变化

根据公式 (1) 计算得到近 50 年白城地区各土类 SOD 变化情况, 如图 2 所示。

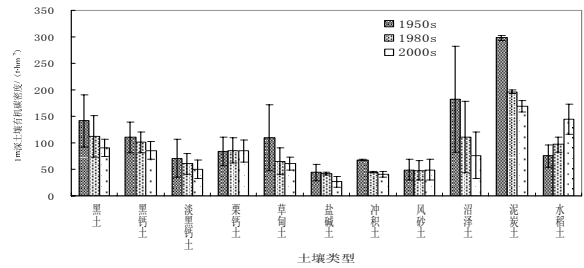


图 2 白城地区近 50 年土壤有机碳密度变化
Fig.2 SOC Changes in Baicheng District During the Past 50 Years

从图 2 中可以看出, 11 个土类近 50 年 SOD 变化情况分为上升型、不变型和下降型三类。水稻土 SOD 值随时间增加了 92%, 主要是因为水稻土多存在于水田中, 该地区水田开发始于 20 世纪 50 年代, 水田面积的逐渐增加有利于增加土壤的固碳潜力, 引起了水稻土 SOD 的持续快速增加, 说明水田具有较大的固碳潜力, 与前人研究结果一致^[14-15]; 栗钙土 SOD 值基本不变, 是由于其多分布在地势较高的台地和低山丘陵地带, 开发时间较晚, 受人为影响相对较小; 其余土类 SOD 值呈现出随时间减少趋势, 造成这种趋势主要原因是冲积平原和河漫滩的土壤类型以黑钙土和淡黑钙土为主, 地形平坦、土层深厚, 且附近区域地表水资源充足, 成为土地开发最先进行的地区, 逐步形成栗钙土, 受人为活动影响较大, 最终可能形成盐碱土; 以草甸土和潜育性碱土为主的河流低阶区域和部分河漫滩, 土壤质量较差, 盲目垦殖和过度放牧直接导致了这些区域土壤盐碱化的发生。

从总体上看, 虽然不同土类 SOD 值之间存在着明显差异, 但不同时期泥炭土的 SOD 均为最大, 盐碱土 SOD 最小, 这种规律主要是由土壤的物理

性质所决定,泥炭土的固相物质组成主要来源于植物有机残体和腐殖质,腐殖质多处于强分散的状态,具有巨大的活性表面,造成泥炭土 SOD 最大;盐碱土多为寸草不生的光板裸露地,地表植被较

少,有机质积累相对最少,SOD 最低。

3.2 土壤碳密度的时空分布格局

将各年份土地利用类型图与白城地区行政区划图叠加,提取各县市土地利用面积,具体见表 2。

表 2 白城地区各县市土地利用类型面积

地类	洮北区		洮南市			大安市			镇赉县		通榆县				
	1950s	1980s	2000s	1950s	1980s	2000s	1950s	1980s	2000s	1950s	1980s	2000s			
水田	—	1.32	3.04	0.21	0.64	0.86	—	—	0.38	—	0.26	3.23	—	—	0.32
旱田	9.66	10.29	10.55	12.93	23.80	29.80	12.16	12.64	14.37	9.79	18.52	17.58	31.81	21.83	17.31
林地	0.49	0.70	0.69	0.35	2.53	3.00	0.28	0.74	1.41	0.57	1.09	1.79	2.58	3.24	6.79
草地	4.43	3.30	1.25	27.57	10.44	4.19	26.54	15.44	8.14	14.42	12.50	9.80	23.28	23.37	14.36
水域	0.16	0.08	0.11	2.89	2.38	1.08	5.97	5.97	3.73	6.36	5.15	3.15	4.37	4.37	2.68
滩地	0.06	0.07	0.06	0.23	0.10	0.41	0.54	0.3	0.42	2.46	2.42	2.41	—	—	—
建设	0.83	2.54	2.54	1.13	1.33	3.10	1.18	1.53	2.11	0.79	1.08	1.93	1.37	2.43	3.32
沙地	—	—	—	0.95	2.31	1.81	—	1.35	1.87	0.05	0.16	0.52	0.33	8.95	13.59
盐碱地	0.10	0.53	0.90	0.62	6.52	6.31	—	8.7	14.94	—	5.98	8.56	0.52	12.17	21.19
湿地	3.45	0.36	0.03	4.25	1.07	0.54	2.71	2.71	2.01	18.69	5.97	4.23	20.06	7.98	4.76

将各年份土地利用类型图与土壤类型图叠加,以同一土地利用类型下不同土类所占面积比例为权重。通过各土类 SOD 值与“土类-土地利用类型”权重相乘得到各土地利用类型 SOD 值,该值与各土地利用类型所占面积比例的乘积即为白城地区各县市近 50 年来 SOD,具体结果见表 3。

表 3 白城地区近 50 年土壤有机碳密度估算

年份	土壤有机碳密度/(t·hm ⁻²)					
	洮北区	洮南市	大安市	镇赉县	通榆县	全市平均
1950s	101.79	131.43	86.51	92.4	69.51	92.22±21.13
1980s	96.91	111.55	64.83	77.02	46.93	73.16±14.63
2000s	97.85	102.42	57.43	75.1	42.07	68.01±10.76
均值	98.85	115.13	69.59	81.51	52.84	—

*数据利用平均值±95%CI得到,CI为变异系数(以下相同)

从表 3 中可知,近 50 年白城地区的 SOD 由 1950s 的 92.22±21.13 t·hm⁻² 减少至 2000s 的 68.01±10.76 t·hm⁻²,减少约 28.25%。各市县的 SOD 均持续降低,但是降低比例有所差异,通榆县和大安市的 SOD 减少比例较大,2000s 比 1950s 分别减少 39.48%和 33.61%;洮南市和镇赉县的 SOD 减少比例较小,2000 年比 1950 年分别减少 22.07%和 18.72%;洮北区的 SOD 减小比例最小,约为 3.87%。

在空间格局上,白城地区各县市近 50 年 SOD 呈现出洮南市>洮北区>镇赉县>大安市>通榆县的变化规律,洮南市的历年 SOD 平均值最大,为 115.13 t·hm⁻²,通榆县的 SOD 平均值最低,为 52.84 t·hm⁻²。在空间分布上,表现为自北向南、自西向东降低的态势。西北部处于洮儿河流域的洮南市和洮北区是研究区 SOD 最高的区域,洮北区和洮南市位于洮儿河沿岸,其地貌类型属于冲积扇平原,土壤肥沃,水资源丰富,近年来水田面积不断扩大,因此 SOD 水平较高;南部的通榆县是 SOD 最低的区域,地质地貌条件导致其环境脆弱性较

强,极易受到人类活动的干扰,近 50 年的盲目垦殖和过度放牧等人类活动导致该区 SOC 大量流失,成为 SOD 最低的区域;而镇赉县和大安市位于嫩江沿岸,水利工程为其带来土地整理的良机,水田开发将有效提高土壤碳密度。

3.3 白城地区土壤有机碳储量估算

利用式(2),计算白城市近 50 年土壤有机碳储量,见表 4。

表 4 白城地区近 50 年土壤有机碳储量估算

年份	各县市土壤有机碳储量(10 ⁷ tC)					总计 (10 ⁸ tC)
	洮北区	洮南市	大安市	镇赉县	通榆县	
1950s	1.95±0.45	6.72±1.54	4.27±0.98	4.92±1.13	5.86±1.34	2.37±0.54
1980s	1.86±0.37	5.70±1.14	3.20±0.64	4.10±0.82	3.96±0.79	1.88±0.38
2000s	1.88±0.30	5.24±0.83	2.84±0.45	4.00±0.63	3.55±0.56	1.75±0.28

从表 4 中可以看出,近 50 年白城地区各县市 SOC 值均呈现降低的趋势,但下降幅度不同,通榆县最大,为 39.42%,洮北区最小,为 3.59%;全区 SOC 值由 1950s 的 2.37×10⁸ t 减少到 2000s 的 1.75×10⁸ t,减少了 26.16%。各市县碳储量排序为洮南市>镇赉县>通榆县>大安市>洮北区,这种变化趋势的主要诱因包括草地和湿地退化、沙地和盐碱地增加导致的碳释放,以及林地增加、水田耕种带来的碳截存量增加。镇赉县近年大面积水田开发直接增加了碳储量分布的空间变异,而通榆县由于土壤严重的沙化和盐碱化问题,其碳储量的空间变异系数在近 50 年中锐减。

4 结论

(1)从整体上看,自 1950 年以来,白城地区 11 个土类 SOD 变化显著,除水稻土呈现增加趋势、栗钙土不变外,其余各类土壤 SOD 随时间持续减少;各时段均为泥炭土 SOD 最高,盐碱土最低。

(2)近 50 年来,白城地区各市县 SOD 均呈现

出降低的趋势,在空间上表现为自北向南、自西向东降低的态势。在变幅上,通榆县的减少幅度最大,洮北区的减小幅度最小,碳储量呈现出洮南市>镇赉县>通榆县>大安市>洮北区的变化规律。

(3) 该区自1980s以后逐步开发水田,增加了土壤碳储量,2007年开始的大规模土地整理工程使区内水田面积由原来的占总面积的8.52%增加至11.2%,通过引嫩水利工程可进一步扩大和稳定水田面积,可达到改良低产田盐碱地、提高土壤有机碳储量的目的。

参考文献:

- [1] 葛全胜,戴君虎,何凡能等.过去三百年中国土地利用变化与陆地碳收支[M].北京:科学出版社,2008.
GE Quansheng, DAN Junhu, HE Fanneng, et al. Land Use Changes and Terrestrial Carbon Budgets in China During the Last 300 Years[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [2] 李玉宁,王关玉,李伟.土壤呼吸作用和全球碳循环[J].地学前缘,2002,9(2):351-357.
LI Yuning, WANG Guanyu, LI Wei. Soil respiration and carbon cycle[J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(2): 351-357.
- [3] 潘根兴,李恋卿,张旭辉,等.中国土壤有机碳库储量与农业土壤碳固定动态的若干问题[J].地球科学进展,2003,18(4):609-618.
PAN Genxing, LI Lianqing, ZHANG Xuhui, et al. Soil organic storage of China and the sequestration dynamics in agricultural lands [J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(4): 609-618.
- [4] POST W M, PENG T H, EMANUEL W R et al. The Global Carbon Cycle [J]. American Scientist, 1990, 78: 310-326.
- [5] HOUGHTON R A, SKOLE D L. The Earth As Transformed by Human Action [M]. In: Turner B L, Clark W C, Ka tes R W et al eds. Cambridge University Press, 1990. 393-408.
- [6] 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):836-829.
XU Yan, ZHANG Fengrong, DUAN Zengqiang, et al. Calculation Method for Density and Storage of Soil Organic Carbon[J], Chinese Journal of Soil Science. 2005, 36(6): 836-829.
- [7] FANG J. Carbon cycle of Chinese terrestrial ecosystem and its global significance. In: Wang G, Monitoring of Greenhouse Gas Concentration and Emission and Relevant Processes [M]. China Environmental Science Press, 1996:129-139.
- [8] 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.
XIE Xianli, SUN Bo, ZHOU Huizhen, et al. Organic carbon density and storage in soils of China and spatial analysis[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(1):35-43.
- [9] 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(12):2279-2283.
YU Dongsheng, SHI Xuezheng, SUN Weixia, et al. Estimation of China soil organic carbon storage and density based on 1:1000000 soil database[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005,16(12): 2279-2283.
- [10] 全国土壤普查办公室,中国土种志(第二卷)[M].北京:中国农业出版社,1994;The national soil survey office. China soils(Vol. 2) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994.
- [11] 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.
WANG Shaoqiang, ZHOU Chenghu. Estimating Soil Carbon Reservoir of Terrestrial Ecosystem in China[J]. Geographical Research, 1999,18(4):349-356.
- [12] 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.
WANG Shaoqiang, ZHOU Chenghu, LI Kerang, et al. Analysis on Spatial Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon Reservoir in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2000,55(5): 533-544.
- [13] 毛子龙.1890~2029年白城市土地利用/覆被变化与土壤碳库研究[D].吉林大学:2010年.
MAO Zilong. The Research on Land use/land cover change and Soil Organic Carbon Pool in Baicheng city during 1890~2029[D]. Jilin University: 2010.
- [14] 王丹丹,史学正,于东升,等.东北地区旱地土壤有机碳密度的主控自然因素研究[J].生态环境学报,2009,18(3):1049-1053.
WANG Dandan, SHI Xuezheng, YU Dongsheng, et al. Main Natural Factors Controlling Soil Organic Carbon Density in the Uplands of Northeast China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009,18(3): 1049-1053.
- [15] 许信旺,潘根兴.中国水稻土碳循环研究进展[J].生态环境,2005,14(6):961-966.
XU Xinwang, PAN Genxing. The Progress in the carbon cycle researches in paddy soil in China[J]. Ecology and Environment, 2005, 14(6): 961-966.
- [16] 李忠佩,吴大付.红壤水稻土有机碳库的平衡值确定及固碳潜力分析[J].土壤学报,2006,43(1):46-52.
LI Zhongpei, WU Dafu. Organic C Content at Steady State and Potential of C Sequestration of Paddy Soils in Subtropical China[J], Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(1): 46-52.

Change of soil organic carbon in Baicheng district of western Jilin during the last 50 years

TANG Jie¹, LI Na¹, MAO Zilong¹, LI Zhaoyang¹, ZHANG Nan¹, XU Xin^{1,2}

1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130012, China;

2. Environmental Protection Agency of Jilin Province, Changchun 130033, China

Abstract: Taking Baicheng district, western Jilin as a case, change of soil organic carbon density (SOD) and soil organic carbon storage (SOC) of 11 soil types in this area is estimated and analyzed in the last 50 years (1950 s ~2000 s). By referencing the data and sampling location of 193 soil profiles in the first and second national soil surveys in Baicheng district, additional 24 soil profiles were sampled in the county in 2009. By calculating the SOD of 11 soil types, certain phenomenon can be listed as follows. ①SOD in paddy soil and chestnut soil has ascended in the last 50 years while others has descended. The top and lowest SOD are retained which are peat soil and saline-alkali soil. ②SOD in this district has descended 28.25% (from 92.22±21.13 t·hm⁻² in 1950s to 68.01±10.76 t·hm⁻² in 2000 s) which dropped from north to south, from west to east. ③SOC has descended 6.2×10⁷t in the last 50 years while ones in each county were steady declining. The rank of SOC in each county is Taonan>Zhenlai>Tongyu>Da'an>Taobei. Building irrigation works and expanding area of paddy field should be taken to stabilize and increase SOD in this area.

Key words: Baicheng district; soil organic carbon density (SOD); soil organic carbon storage (SOC)