

我国东北地区土壤有机碳密度和储量的估算研究*

孙维侠 史学正 于东升 王 库 王洪杰

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

ESTIMATION OF SOIL ORGANIC CARBON DENSITY AND STORAGE OF NORTHEAST CHINA

Sun Weixia Shi Xuezheng Yu Dongsheng Wang Ku Wang Hongjie

(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China)

关键词 土壤有机碳; 密度; 储量; 空间分布特征
中图分类号 S153.6 文献标识码 A

土壤有机碳库(Soil organic carbon pool)是陆地碳库的主要组成部分,在陆地碳循环研究中有着重要的作用。据估计,全球大约有 1 500 Gt 碳是以有机质形态存在于土壤中^[1],因此,土壤有机碳库量的微小变化,都会对大气温室气体浓度及全球气候产生相当大的影响。另一方面,土壤有机碳含量与土壤质量和农业生产力密切相关,不合理的农业管理措施和土地利用方式必然对土壤质量和农业可持续发展产生不利影响,破坏土壤的理化及生物学性状,破坏土壤与大气 CO₂ 之间的动态平衡。

土壤是一个不均匀的三维结构体,在空间上呈现复杂的镶嵌性,且土壤与气候、植被和生物之间发生复杂的相互作用,因此土壤有机碳密度存在极大的空间变异性。当前土壤碳循环的研究仍是陆地碳循环研究中最不充分的部分,对土壤碳库的估计误差也很大^[2]。如有的学者对中国土壤有机碳库总量的估算结果为 185.7 Gt^[3],而另一些学者统计出的结果只有 28.6 Gt^[4]。由于不同研究者所采用的资料来源和统计样本容量不同,所包含的土壤属性数据不同,以及不同研究者所采用的比例尺、深度标准、估算方法存在差异,所得结果必然存在差异。对

土壤有机碳含量的精确估算及其空间分布特征的详细研究,是全球碳循环研究中不可缺少的重要部分,可为今后合理利用土地资源、提高土壤质量起决策指导作用。

1 材料与方法

本文采用土壤类型法,以《1:100 万中华人民共和国土壤图》为基础,通过收集、增补东北地区共 736 个典型剖面的土壤普查资料,相对精确地估算出各种土壤类型 0~1 m 及土壤表层 0~20 cm 的有机碳储量及空间分布规律,为进一步精确估算全国土壤有机碳库量的可行性提供理论和方法依据。

1.1 资料来源

以《1:100 万中华人民共和国土壤图》为基础,建立我国东北地区土壤空间数据库;土壤属性数据库的建立通过收集东北 3 省共 736 个土壤剖面的属性数据,其中 362 个剖面数据来自《中国土种志》(第二卷)^[5],其他 374 个土壤剖面中,有 152 个剖面数据来自《黑龙江土种》^[1]、122 个剖面数据来自《吉林省土种志》^[6]、100 个剖面数据来自《辽宁省土种志》^[7]。

* 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01-19)、中国科学院知识创新工程领域前沿项目(编号 ISSASIP0201)和国家科技攻关计划专题(2001-BA608B-03-04)资助

作者简介:孙维侠(1974~),女,硕士,主要从事土壤资源、遥感与地理信息系统应用研究

(1) 黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土种. 黑龙江省土地勘测利用技术中心,1990

收稿日期:2003-04-23;收到修改稿日期:2003-08-26

1.2 土壤剖面有机碳密度的估算

土壤剖面有机碳密度的计算模型如下⁽²⁾:

$$SOC_i = (1 - \theta_i\%) \times \rho \times C_i \times T_i / 100$$

其中 SOC_i 为第 i 层有机碳密度 (kg m^{-2}), θ_i 为第 i 层 $> 2\text{mm}$ 砾石含量 (体积百分含量%), ρ 为第 i 层土壤容重 (g cm^{-3}), C_i 为第 i 层土壤有机碳浓度 (g kg^{-1}), T_i 为第 i 层土层厚度 (cm)。

如果土体由 n 层组成, 则总有机碳密度为各层密度的累加和:

$$SOC = \sum_{i=1}^n (1 - \theta_i\%) \times \rho_i \times C_i \times T_i / 100$$

1.2.1 土壤容重的确定 土壤容重是影响有机碳密度及其储量的一个重要因素, 但我国第二次土壤普查中各土层容重的记录并不全面。许多学者根据已有的剖面容重数据进行估算的, 如潘根兴^[8]统计我国土壤有机碳库总量时容重取平均值 1.4 g cm^{-3} 。本文对没有容重记载的剖面, 按其所属土壤类型, 取相同土属的相同发育层容重的平均值, 如果土属容重的记录不全, 则按相同方法依次取相同亚类或相同土类容重的平均值来估算土壤剖面有机碳密度。

1.2.2 土壤有机碳含量的回归估算 对于等于或超过 1 m 的剖面, 根据实际测定的土壤有机碳含量, 截取到 1 m 就可以估算该剖面的有机碳密度。本文把不足 1 m 的剖面分为两类, 对于石质接触的剖面, 根据现有剖面实测的有机碳含量进行估算指定深度的有机碳

密度; 对于非石质接触的剖面, 本文根据采样深度超过指定深度的剖面实测数据, 按土壤类型拟合出有机碳含量在土体中的变异曲线, 选取最佳的拟合曲线估算 1 m 深度下的有机碳密度。

1.3 土壤有机碳空间数据库的建立及空间与属性数据库的集成

以全国 1: 100 万土壤图为基础, 在 ARCVIEW、ARC/INFO 等地理信息系统软件的支持下, 建立东北地区土壤空间数据库, 在 EXCELL 中以土种志为基础建立土壤剖面属性数据库。根据成土母质、土壤质地、分布区域等, 以县为单元将土壤剖面的属性数据连接到相应的土壤图斑单元上, 把土壤剖面的属性数据与土壤图的空间单元连接起来, 从而建立集剖面属性数据与空间数据于一体的土壤有机碳数据库, 估算出东北地区土壤有机碳密度的空间分布及有机碳库量。

2 结果与讨论

2.1 0~1 m 土体中土壤有机碳密度及其空间分布特征

以典型剖面的碳密度代表图斑单元上相应土属的碳密度, 并以空间数据库中统计出的土属面积为权重, 取其加权平均值, 就可以推算出相应亚类或土类的有机碳密度。本文对东北 3 省及全区各土类的有机碳密度估算结果如表 1。

表 1 我国东北地区及分省各土类的有机碳密度(0~1 m 土体)(kg m^{-2})

土类名称	全区平均碳密度	黑龙江省	吉林省	辽宁省	土类名称	全区平均碳密度	黑龙江省	吉林省	辽宁省
棕色森林土	10.48	10.74	6.06	—	石质土	1.77	7.99	0.67	1.38
棕壤	6.99	—	8.09	6.97	粗骨土	5.64	3.75	6.44	5.85
暗棕壤	19.66	21.24	16.55	10.18	草甸土	15.81	18.70	12.12	8.94
白浆土	11.26	11.31	11.17	13.82	山地草甸土	16.10	—	13.82	30.84
灰褐土	39.84	—	—	39.84	潮土	6.29	—	5.64	6.31
褐土	6.91	—	—	6.91	沼泽土	35.92	37.07	19.69	13.85
黑土	18.21	20.31	10.22	6.47	泥炭土	84.63	78.58	95.38	53.17
黑钙土	10.24	12.69	8.15	8.30	盐土	5.95	5.95	5.95	—
栗钙土	7.34	11.24	7.11	—	滨海盐土	7.65	—	—	7.65
栗褐土	6.72	—	—	6.72	碱土	4.35	7.00	4.14	4.27
红粘土	5.31	—	5.06	5.32	水稻土	15.12	12.56	22.96	9.99
新积土	9.69	8.75	14.08	3.65	黑毡土	35.79	35.79	—	—
风沙土	3.28	3.22	3.35	3.03	冷钙土	35.81	—	35.81	—
火山灰土	7.73	6.78	12.64	1.60					

(2) 李忠. 我国热带、亚热带地区土壤有机碳的密度、储量、分布及转化研究. 中国科学院南京土壤研究所博士学位论文, 1997

全区 0~1 m 土体中平均土壤有机碳密度为 16.13 kg m^{-2} , 高于我国东部地区及全国的平均碳密度^[9,10]。其中研究区北部的黑龙江省平均土壤有机碳密度最高, 为 20.22 kg m^{-2} ; 吉林省次之, 平均为 12.94 kg m^{-2} ; 而南部的辽宁省最低, 平均为 7.43 kg m^{-2} 。按土壤类型分, 对东北地区各土类的有机碳密度估算结果是: 泥炭土的有机碳密度最高, 达 84.63 kg m^{-2} ; 石质土的有机碳密度最低, 只有 1.77 kg m^{-2} 。

为了系统研究和比较东北地区土壤有机碳密度的空间变异规律, 本文利用 GIS 平台做出了 0~1 m 土体中有机碳密度的空间分布如图 1(见图版 I)。从空间分布图可以看出, 东北地区土壤有机碳密度分布总体呈东北高、西南低, 从北向南逐渐递减的趋势。我国东北地区气候寒冷, 土壤呼吸速率缓慢, 森林及湿地资源分布面积较大, 这些因素可能是造成植物根系及枯枝落叶中的有机碳在土壤中相对富集的主要原因。

2.2 0~1 m 土体中土壤有机碳储量

根据估算出的土壤有机碳密度及各种类型的土壤分布面积, 就可以估算出东北地区各土壤类型的有机碳储量及整个地区的总储量。本文根据所建立的土壤有机碳数据库, 统计出我国东北地区土壤总面积为 $7.86 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全国总土地面积的 8%, 而 0~1 m 土体中土壤有机碳总储量为 12.68 Gt, 占全国土壤有机碳总储量的 13.6%^[10]。

从空间分布位置来看, 北部的黑龙江省土壤面积占该研究区的 58%, 而土壤有机碳储量占研究区的 72%, 而研究区南部的辽宁省土壤面积占 18%, 有机碳储量只占该区的 8%。从土壤类型上来看, 全区土壤有机碳储量最多的土类是暗棕壤, 其次为草甸土, 储量最小的土类为山地草甸土、黑毡土和石质土。其中黑龙江省储量最小的土类为石质土; 吉林省储量最小的土类为红粘土; 辽宁省土壤有机碳储量最多的土类是棕壤, 储量最小的土类是火山灰土。

2.3 土壤表层有机碳密度及其空间分布

土壤表层对气候变化最为敏感, 也是与人类活动关系最密切的区域。我国土壤耕作层研究一般指表层 20 cm 土体深度, 本文对土壤表层 0~20 cm 的有机碳密度和储量分别做了估算研究, 其有机碳密度空间分布如图 2(见图版 I)。

对耕作层土壤有机碳储量的估算结果表明, 整个

研究区域土壤表层 0~20 cm 有机碳储量为 4.63 Gt, 占 1 m 土体储量的 36.5%。土壤有机碳储量大部分集中在土壤表层中, 因此表层土壤有机碳的动态变化对大气 CO_2 浓度、土壤质量及土地生产力的影响非常重要。

3 结 论

我国东北地区土壤分布面积为 $7.86 \times 10^5 \text{ km}^2$, 0~1 m 和 0~20 cm 深度内的土壤有机碳储量分别为 12.68 Gt 和 4.63 Gt, 土体耕层 0~20 cm 有机碳含量占 0~1 m 土体有机碳含量的 36.5%。在空间分布上的总趋势为东北部高, 西南部低, 密度较高的土壤有机碳主要分布在原始森林比较集中的区域, 而平原及农田土壤的有机碳密度相对较低。土壤有机碳密度最高的土类为泥炭土和沼泽土等土类, 最低的为石质土、风沙土、粗骨土等土类。

在我国东北地区有机碳储量最多的土类是暗棕壤、棕壤和草甸土等, 主要分布在研究区北部。宏观调控上应合理利用和保护东北部森林及湿地资源优势, 防止滥砍乱伐; 西南部提高土壤质量和生产潜力, 保证该地区农业可持续发展。

参 考 文 献

- [1] Eswaran H E, van Den Berg E V, Reich P. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1993, 57: 192~194
- [2] 汪业勤, 赵士洞, 牛栋. 陆地土壤碳循环的研究动态. *生态学杂志*, 1999, 18(5): 29~35
- [3] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库. 见: 王庚辰, 温玉璞主编. 温室气体浓度和排放监测及相关过程. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 109~128
- [4] 康德梦, 张孟威, 陈利项. 中国环境中碳、氮元素变化与大气温室效应的系统分析. 见: 叶笃正, 陈泮勤主编. 中国的全球变化预研究. 北京: 地震出版社, 1992. 225~229
- [5] 全国土壤普查办公室. 中国土种志(第二卷). 北京: 中国农业出版社, 1994
- [6] 吉林省土壤肥料总站. 吉林土种志. 长春: 吉林科学技术出版社, 1997
- [7] 辽宁省土壤肥料总站. 辽宁土种志. 沈阳: 辽宁大学出版社, 1991
- [8] 潘根兴. 中国土壤有机碳和无机碳库量研究. *科技通报*, 1999, 15(5): 330~332
- [9] 李忠, 孙波, 赵其国. 我国东部土壤有机碳的密度和储量. *农业环境保护*, 2001, 20(6): 385~389
- [10] 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. *地理学报*, 2000, 55(5): 534~544



图 2 忠县三维地形景观
 Fig. 2 3D TM landscape of Zhongxian County

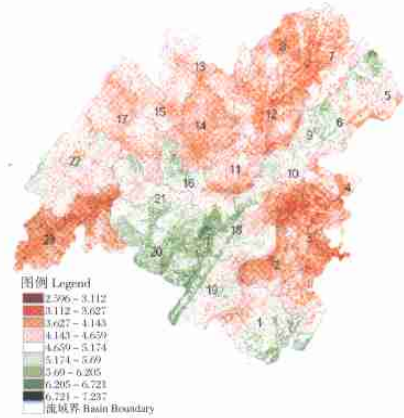


图 3 忠县 2000 年生态安全综合评价结果(基于象元)
 Fig. 3 Comprehensive assessment based on pixels of the regional ecological safety of Zhongxian County in 2000

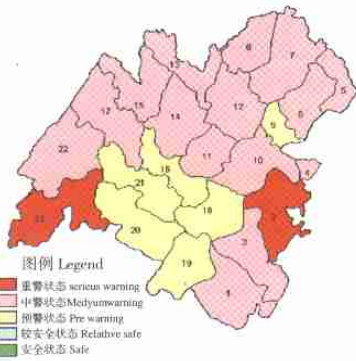


图 4 忠县 2000 年基于小流域生态安全评价结果
 Fig. 4 Comprehensive assessment based on small basins of Zhongxian County in 2000

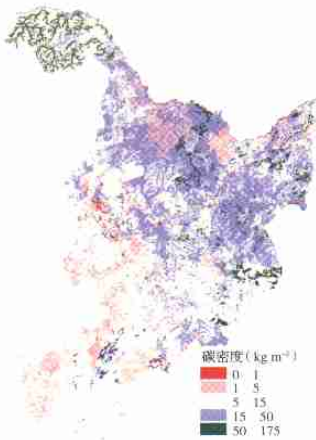


图 1 土壤有机碳密度空间分布(0-100cm)

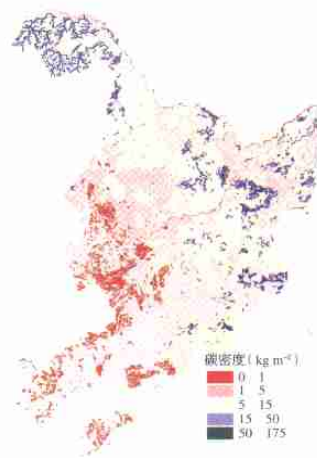


图 2 表层 0-20 cm 有机碳密度空间分布