

## 内蒙古鄂伦春旗东部主要农耕区土壤有机碳含量及主要影响因素分析

贺鹏飞<sup>1,2</sup>, 魏明辉<sup>1,2</sup>, 李秋燕<sup>1,2</sup>, 张哲寰<sup>1,2</sup>, 许江<sup>1,2</sup>

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;
2. 中国地质调查局 黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034

**摘要:**利用鄂伦春自治旗东部主要耕地区 1:25 万土地质量地球化学调查数据, 查明了研究区内表层和深层土壤有机碳储量和有机碳密度分布特征, 分析了研究区内土壤有机碳储量、有机碳密度与土壤类型、土地利用方式之间的关系, 探讨了土壤类型和土地利用方式对土壤有机碳的作用机理。结果表明研究区内土壤有机碳含量分布不均, 土壤类型和土地利用方式是土壤有机碳储量和有机碳密度的主要影响因素。

**关键词:**土壤有机碳; 有机碳密度; 有机碳储量; 土壤类型; 土地利用; 内蒙古

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2020.06.011

## SOIL ORGANIC CARBON IN THE MAIN CULTIVATED LANDS OF EASTERN OROQEN QI, INNER MONGOLIA: Contents and Major Influencing Factors

HE Peng-fei<sup>1,2</sup>, WEI Ming-hui<sup>1,2</sup>, LI Qiu-yan<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhe-huan<sup>1,2</sup>, XU Jiang<sup>1,2</sup>

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China;
2. Key Laboratory of Black Land Evolution and Ecological Effects, CGS, Shenyang 110034, China

**Abstract:** Based on the 1:250 000 land quality geochemical survey data of the main cultivated lands in eastern Oroqen Qi, Inner Mongolia, the paper ascertains the organic carbon storage in surface and deep soils and distribution characteristics of organic carbon density in the study area, analyzes the relation of soil organic carbon storage and density to soil type and land use pattern, and discusses the effect mechanism of soil type and land use pattern on soil organic carbon. The results show that the soil organic carbon is unevenly distributed, with soil type and land use pattern as the main factors affecting soil organic carbon storage and density.

**Key words:** soil organic carbon; organic carbon density; organic carbon storage; soil type; land use pattern; Inner Mongolia

### 0 前言

地球循环系统中的碳循环因其在全球变化的研究中占有重要地位, 已持续多年成为世界关注的焦点。全球的大气、海洋及陆地碳储库等是研究地球碳循环

的基础<sup>[1]</sup>。陆地生态系统的碳储量及其变化在全球碳循环和大气温室气体变化中起着非常重要的作用, 准确计算土壤碳储量是全球碳循环研究的核心问题<sup>[2]</sup>。陆地土壤是全球地表系统中碳库的重要组成部分, 研

收稿日期: 2020-09-01; 修回日期: 2020-09-18. 编辑: 张哲、黄欣.

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“兴凯湖平原及松辽平原西部土地质量地球化学调查”(DD20190520).

作者简介: 贺鹏飞(1989—), 男, 硕士, 现从事地球化学调查与评价工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//hpf3240@126.com

究土壤有机碳储量特征及其影响因素,对减缓温室气体排放和气候环境变化都具有重要的意义<sup>[3]</sup>.

土壤碳库储量的较小范围变动,便会以温室效应的加强或削弱来影响地球气候系统.目前,全国范围内的多目标区域地球化学调查,积累了最新的土壤碳数据,提出了单位土壤碳量的计算方法,这种方法更高效、更准确<sup>[4-5]</sup>.本文据此方法对内蒙古鄂伦春地区碳储量分布特征及影响因素开展研究,旨在为土壤资源和生态环境保护、农业经济的可持续发展提供基础素材.

## 1 研究区概况

鄂伦春自治旗位于内蒙古自治区呼伦贝尔市东北部,大兴安岭南麓,嫩江西岸.全旗面积 59 880 km<sup>2</sup>,人口 24.8 万.气候属寒温带大陆性季风气候,四季分明.春季干旱,大风天多,光照充足;夏季短暂,天气凉爽,降水集中;秋季气温骤降,昼夜温差大;冬季长而寒冷.鄂伦春旗地势西北高,东南低,形成中低山地、丘陵漫岗和河谷平原 3 种地貌类型.境内水系发育,均发源于大兴安岭南侧和伊呼里山,西北流向东南,汇入嫩江干流,属于嫩江水系.鄂伦春旗土地利用主要有林地、草地、耕地用地.耕地总面积 2 789 km<sup>2</sup>,占全旗面积 7.64%;林地比例最大,占全旗面积 79.38%左右;草地占 11.9%.主要作物为大豆、玉米、小麦,另有个别地区种植金莲花、赤芍、平贝母等草药.本文调查区位于鄂伦春自治旗东部主要农耕地.

## 2 样品采集与分析

样品的采集和分析严格执行中国地质调查局《多目标区域地球化学调查规范(1:250000)(DZ/T0258—2014)》和相关技术要求<sup>[6-7]</sup>.本研究以鄂伦春旗为研究区,网格化定位采样.表层土壤(深度 0~20 cm)每 1 km<sup>2</sup> 采集一个样品,共采集 3000 个表层样品,按照每 4 km<sup>2</sup> 的样品混合组成一个分析样品,共组合表层土壤分析样品 750 个.深层土壤(深度 150~200 cm,深度不足 150 cm 取 100~150 cm)每 4 km<sup>2</sup> 采集一个样品,共采集 756 个深层样品,按照每 16 km<sup>2</sup> 的样品混合组成一个分析样品,共组合深层土壤分析样品 189 个.

土壤样品测试由具有 MA 认证资质的国土资源部

沈阳矿产资源监督检测中心测试完成.土壤样品有机碳、全碳量采用 VOL 容量法进行分析测试,准确度和精度满足相关标准和规范.

数据的处理和分析主要采用 ArcGIS 和 Excel 软件来完成.

## 3 土壤碳量计算方法

依据全国多目标区域地球化学调查取得的高密度和高精度有机碳、全碳数据,2008 年提出单位土壤碳量概念,2009 年提出了单位土壤碳储量计算方法<sup>[8-9]</sup>.采用 4 km<sup>2</sup> 网格为计算单元,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 km<sup>2</sup>)分别代表计算单元表层土壤碳含量与深层土壤碳含量.依据土壤碳含量分布模式计算得到单位土壤碳量,对单位土壤碳量进行加和计算取得土壤碳储量.

土壤碳含量(%)包括有机碳含量(TOC)和无机碳含量(TIC),指单位质量土壤中的碳质量,为调查实测分析数据.进一步分为表层土壤有机碳含量(TOC<sub>表</sub>)和深层土壤有机碳含量(TOC<sub>深</sub>),表层土壤无机碳含量(TIC<sub>表</sub>)和深层土壤无机碳含量(TIC<sub>深</sub>).土壤碳密度指单位面积中一定厚度的土层中碳储量(kg/m<sup>2</sup>).

### 3.1 土壤有机碳密度

土壤有机碳密度(SOCD)按表层土壤(0~20 cm)和深层土壤(0~180 cm)分别计算.

表层土壤有机碳密度计算公式为:

$$SOCD_{表} = TOC_{表} \times \rho_{表} \times \Delta D \div 10 \quad (1)$$

式中,TOC<sub>表</sub>为表层土壤有机碳含量(%); $\Delta D$ 为表层土壤深度,取 20 cm; $\rho_{表}$ 为表层土壤容重(g/cm<sup>3</sup>).

深层土壤有机碳密度由下式计算:

$$SOCD_{深} = \left[ \frac{(TOC_{表} \times \rho_{表} - TOC_{深} \times \rho_{深}) \times (d_1 - d_2)}{d_2 \times (\ln d_1 - \ln d_2)} + TOC_{深} \times \rho_{深} \right] \times \Delta D \div 10 \quad (2)$$

式中, $\Delta D$ 为深层土壤深度,取 180 cm; $d_1$ 为表层土壤中心深度, $d_2$ 为深层采样点深度,分别取 10 cm 和 180 cm.

### 3.2 单位土壤碳量

单位土壤碳量(USCA),指以 4 km<sup>2</sup> 为单位的范围内,一定深度土体中的碳量.计算公式如下:

$$USCA_{TOC} = SOCD \times 4 \times 10^3 \quad (3)$$

式中,  $USCA_{TOC}$  为单位土壤有机碳量 (t);  $SOCD$  为土壤有机碳密度 ( $kg/m^2$ ).

### 3.3 土壤有机碳储量

土壤碳储量 (SCR) 指一定面积内一定深度土壤的碳储量 (t). 土壤有机碳储量由下式计算:

$$SCR_{TOC} = \sum_{i=1}^n USCA_i \quad (4)$$

式中,  $n$  为土壤有机碳储量统计范围内, 单位土壤碳量加和的个数.

## 4 结果与分析

由测试数据看出, 研究区土壤的碳组成均以有机碳为主. 由于土壤有机碳是研究区主要碳存在形式, 对土壤碳库变化贡献大, 因此本文重点研究土壤有机碳及其分布特征和影响因素.

### 4.1 土壤有机碳含量分布特征

调查区土壤碳含量特征值见表 1. 全区表层和深层土壤有机碳含量平均值分别为 3.53% 和 0.95%. 研究区内表层土壤有机碳含量介于 1.26%~15.98%, 平均

表 1 土壤有机碳含量特征值

Table 1 Eigenvalues of soil organic carbon content

取样深度/m	样品数/件	平均值/%	最小值/%	最大值/%
表层(0~0.2)	750	3.53	1.26	15.98
深层(1.5~2.0)	189	0.95	0.36	3.51

含量 3.53%, 且分布不均匀. 高值区主要分布在乌鲁木齐镇—前进村—大杨树镇—一线以北的区域, 低值区则主要集中于大库莫村—二根河村—诺敏河村—一线以北、兰巴库村—江北村—海尔堤村西南等受河流冲积作用比较强烈的区域 (图 1). 深层土壤有机碳含量介于 0.36%~3.51%, 平均含量 0.95%, 普遍低于土壤表层, 其分布特征与表层有机碳基本一致.

### 4.2 不同土壤类型有机碳分布特征

由于有机碳的补给、保存和流失条件的差别, 不同土壤类型中有机碳储量和有机碳密度会出现显著差异. 从研究区内主要土壤类型内有机碳储量和有机碳密度统计 (表 2) 可知, 区内主要土壤类型包括暗棕壤、沼泽土、黑土和草甸土. 其中面积最为广泛的为暗棕

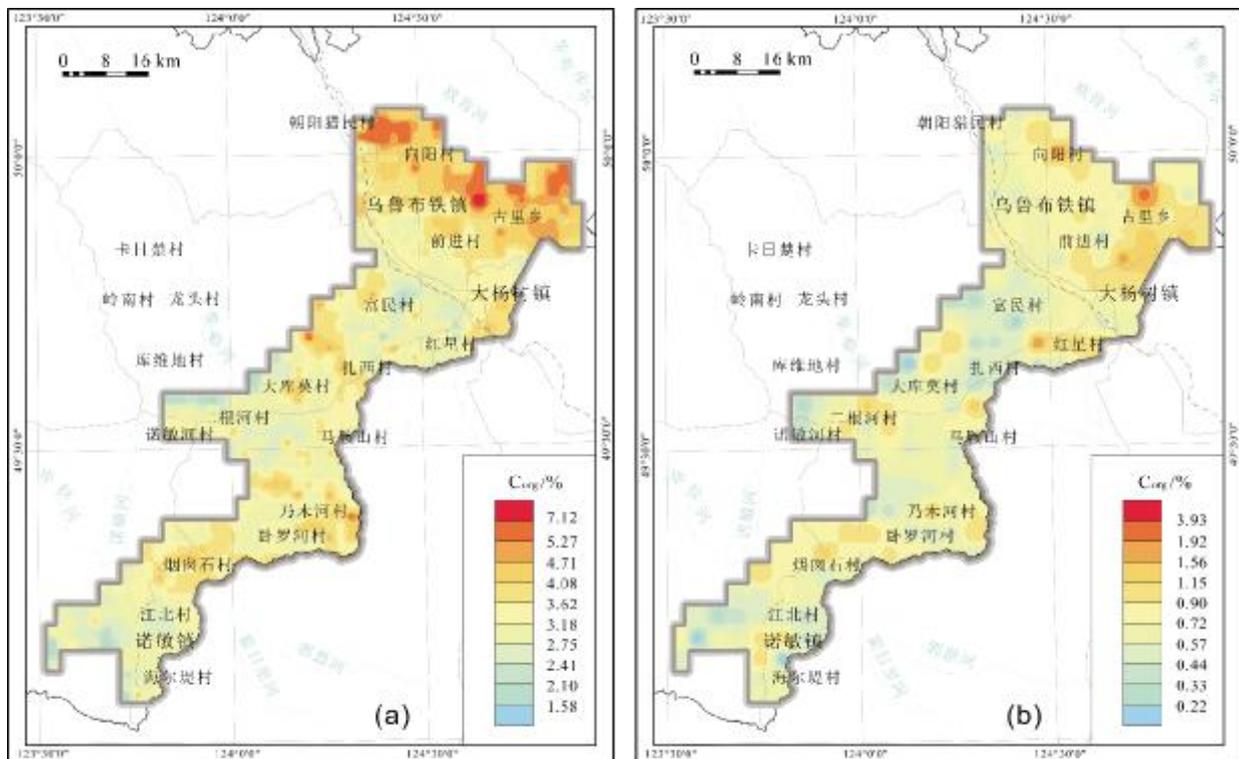


图 1 研究区土壤有机碳地球化学分布图

Fig. 1 Geochemical distribution map of soil organic carbon in the study area  
a—表层土壤 (surface soil); b—深层土壤 (deep soil)

表2 研究区土壤有机碳含量与土壤类型的关系

Table 2 Statistics of soil organic carbon storage and density by soil types in the study area

土壤类型	面积/ km <sup>2</sup>	表层土壤 有机碳储量/ t	表层土壤 有机碳密度/ (kg/m <sup>2</sup> )	深层土壤 有机碳储量/ t	深层土壤 有机碳密度/ (kg/m <sup>2</sup> )
全区	3 000	24 370 514	8.124	109 188 019	37.1
暗棕壤	1 580	12 203 646	7.724	55 763 528	35.6
沼泽土	596	5 263 961	8.832	22 528 053	38.6
黑土	572	4 983 369	8.712	21 904 466	40
草甸土	248	1 893 470	7.635	8 827 735	36.8
石质土	4	26 068	6.517	164 237	41.1

壤,该土类表层有机碳储量达 12.20 Mt,占全区总碳储量的 50%,而表层土壤有机碳密度为 7.724 kg/m<sup>2</sup>,显著低于研究区平均值 8.124 kg/m<sup>2</sup>. 研究区内沼泽土和黑土具有相似的分布面积,分别为 596 km<sup>2</sup> 和 572 km<sup>2</sup>,表层土壤有机碳储量和有机碳密度也相当. 草甸土是研究区内分布面积第四的土壤类型,面积约 248 km<sup>2</sup>,有机碳储量为 1.89 Mt,表层土壤有机碳密度是除零星分布的石质土以外最低的土壤类型,仅为 7.635 kg/m<sup>2</sup>,远低于研究区内平均值. 深层土壤有机碳储量和有机碳密度在不同土壤类型间的差异与表层土壤相近<sup>[10]</sup>.

暗棕壤土层薄,主要分布在坡度较大的丘陵区、山区,较强的淋溶作用可能是导致其在具有大量有机碳输入的前提下表层和深层土壤有机碳密度均低于研究区平均水平的原因. 草甸土常常发育在相对海拔较低的沟谷地带,成土母质往往是河流沉积相冲积砂,营养物质相对缺乏,不利于植被生长,加之下层较大的连续孔隙所导致的较强的向下淋溶作用,为导致研究区内草甸土有机碳储量较低的主要原因. 沼泽土通常是在地下水位超出地表后长期积水区形成,沼泽区生长茂盛的草本植物是土壤有机碳的主要来源,而较高的水位可以阻止掉落枝叶的分解和氧化,减少土壤有机碳流失,这是沼泽土有机碳密度最高的主要原因. 黑土区有机质层深厚,形成条件利于有机质的积累和向下淋溶,所以虽然黑土表层有机碳密度不是全区最高,但深层总体土壤有机碳密度却是最高的.

#### 4.3 不同土地利用类型土壤有机碳分布

土地利用方式同样可以对土壤有机碳的含量和组

成造成影响. 对研究区内主要 3 种土地利用方式下土壤有机碳储量和有机碳密度的分析(表 3)显示,区内耕地面积最大(1 472 km<sup>2</sup>),占全区总面积的 49%,也是最大的表层土壤有机碳储量库(11.69 Mt),占全区表层土壤有机碳储量的 48%. 研究区内林地总面积 968 km<sup>2</sup>,表层和深层土壤有机碳储量分别为 7.67 Mt 和 34.5 Mt,是区内土壤有机碳储量第二大土地利用类型. 耕地和林地表层和深层土壤有机碳密度均较接近,低于研究区内平均值. 草地是研究区内面积最小的土地利用方式,仅为 560 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 18.67%,表层和深层土壤有机碳储量也最低,然而表层和深层土壤有机碳密度却是全区最高. 推测草地较于耕地具有更高的碳输入,而较于林地则具有较弱的淋溶作用和较强的储碳能力是造成草地表层和深层有机碳储量高于耕地和林地的主要原因<sup>[11-14]</sup>.

表3 研究区土壤有机碳含量与土地利用方式的关系

Table 3 Statistics of soil organic carbon storage and density by land use patterns in the study area

土地利用方式	面积/ km <sup>2</sup>	表层土壤有 机碳储量/t	表层土壤有 机碳密度/ (kg/m <sup>2</sup> )	深层土壤有 机碳储量/t	深层土壤有 机碳密度/ (kg/m <sup>2</sup> )
全区	3 000	24 370 514	8.124	109 188 019	37.1
耕地	1 472	11 689 024	7.94	52 945 815	36.6
林地	968	7 665 403	7.92	34 454 681	36.3
草地	560	5 016 088	8.96	21 787 523	39.8

## 5 结论

研究区内土壤有机碳含量变化较大,表层和深层土壤有机碳含量具有相似的分布特征,总体为东北部高,中部和西南部低. 具体而言,土壤有机碳含量在乌鲁布铁镇—前进村—大杨树镇—一线以北的区域含量较高,而在大库莫村—二根河村—诺敏河村—一线以北、兰巴库村—江北村—海尔堤村西南等受河流冲积作用比较强烈的区域土壤有机碳含量较低.

研究区内主要由暗棕壤、黑土、沼泽土和草甸土组成,其中暗棕壤分布面积最广,也是区内最大的土壤有机碳库. 暗棕壤和草甸土表层和深层土壤有机碳密度最低,而黑土和沼泽土是区内土壤有机碳密度较高的两种土壤类型. 有机碳的输入、储存和淋失条件的不同是造成各类型土壤有机碳含量不同的主要因素.

土地利用方式对研究区内土壤有机碳含量也具有一定的控制作用. 耕地区面积最为广泛, 也是研究区土壤有机碳储量最大的土地利用方式. 林地和耕地区表层和深层土壤有机碳密度均较为接近而低于研究区内平均值, 草地表层和深层土壤有机碳密度最高. 认为植被组成、有机质补给和淋溶条件是造成不同利用方式下土壤有机碳含量差别的主要原因.

### 参考文献:

- [1]李随民, 栾文楼, 宋泽峰, 等. 河北省南部平原区土壤有机碳储量估算[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 525-529.
- [2]王文俊. 福建龙岩地区土壤有机碳储量特征及其影响因素[J]. 第四纪研究, 2012, 32(2): 337-345.
- [3]王文俊. 福建省土壤有机碳储量估算、时空分布特征及其影响因素[J]. 现代地质, 2019, 33(6): 1295-1305.
- [4]Schlesinger W R. Biochemistry: An analysis of global change[M]. San Diego: Academic Press, 2001: 2-7.
- [5]戴慧敏, 赵君, 刘国栋, 等. 东北黑土地质量调查成果[J]. 地质与资源, 2020, 29(3): 299.
- [6]国土资源部. DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250000) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 4-6.
- [7]奚小环. 多目标区域地球化学调查与生态地球化学——第四纪研究与应用的新方向[J]. 第四纪研究, 2005, 25(3): 269-274.
- [8]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, 2009, 16(1): 194-205.
- [9]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.
- [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]郝翔翔, 韩晓增, 李禄军, 等. 土地利用方式对黑土剖面有机碳分布及碳储量的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(4): 965-972.
- [12]周涛, 史培军. 土地利用变化对中国土壤碳储量变化的间接影响[J]. 地球科学进展, 2006, 21(2): 138-143.
- [13]王丽丽. 土地利用变化对三江平原土壤有机碳储量及碳输出的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2011.
- [14]陈粲, 雷学成, 罗桑扎西. 土壤有机碳储量估算与土地利用的关系研究[J]. 土壤通报, 2013, 44(1): 42-45.
- [12]周国华. 富硒土地资源研究进展与评价方法[J]. 岩矿测试, 2020, 39(3): 319-336.
- [13]戴慧敏, 宫传东, 董北, 等. 东北平原土壤硒分布特征及影响因素[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1356-1364.
- [14]迟凤琴, 徐强, 匡恩俊, 等. 黑龙江省土壤硒分布及其影响因素研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(5): 1262-1274.
- [15]张哲寰, 赵君, 戴慧敏, 等. 黑龙江省讷河市土壤-作物系统 Se 元素地球化学特征[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 38-43.
- [16]刘铮. 中国土壤微量元素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 21-24.
- [17]何振立, 周启星, 谢正苗. 污染及有益元素的土壤化学平衡[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 341-361.
- [18]田义超, 黄远林, 张强, 等. 北部湾钦江流域土壤侵蚀及其硒元素流失评估[J]. 中国环境科学, 2019, 39(1): 257-273.
- [19]夏学齐, 杨忠芳, 薛圆, 等. 黑龙江省松嫩平原南部土壤硒元素循环特征[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 850-858, 864.
- [20]黑龙江省土地管理局, 黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土壤[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 149-179.
- [21]陈林倩, 武丹, 王征, 等. 富硒土壤腐殖质的组成及其对铅的作用研究[J]. 环境工程, 2018, 36(6): 163-168.
- [22]杨立国, 马志超, 王鑫. 内蒙古通辽市科尔沁区土壤硒地球化学特征[J]. 地质与资源, 2019, 28(4): 383-388.

(上接第 596 页/Continued from Page 596)