

# 基于 GIS 技术的佳木斯地区农田开垦对 表层土壤有机碳储量的影响

张旭光<sup>1</sup>, 苗正红<sup>2</sup>, 邱中军<sup>2</sup>, 王宗明<sup>3</sup>

(1. 重庆大学 城市科技学院, 重庆 402160; 2. 吉林省水利水电勘测设计研究院,  
长春 130012; 3. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 长春 130021)

**摘要:** 基于 GIS 技术, 利用 1980 年和 2010 年佳木斯表层(0—30 cm)土壤有机碳数据, 研究不同农田开垦方式对表层土壤有机碳储量和空间分布的影响。结果表明: 30 年来佳木斯地区表层土壤有机碳储量呈现减少趋势, 从 1980 年土壤有机碳库 350.68 Tg C 减少到 2010 年的 299.58 Tg C, 主要减少分布在东北地区 and 南部地区。30 年来耕地面积增加了 6 790.44 km<sup>2</sup>, 农田开垦(沼泽湿地、林地、草地)是影响土壤有机碳储量和时空变化的主要原因, 而沼泽湿地的开垦导致储量变化最大, 沼泽湿地开垦土壤有机碳年变化率为 107.21 t C/(km<sup>2</sup> · a)。农田开垦成旱田要比水田对土壤有机碳损失影响大, 农田开垦是造成有机碳储量下降的原因。

**关键词:** GIS; 土壤有机碳; 农田; 半变异函数

**中图分类号:** S153.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2019)01-0082-04

## Effect of Farmland Reclamation on Topsoil Soil Organic Carbon Storage in Jiamusi Area Based on GIS Technology

ZHANG Xuguang<sup>1</sup>, MIAO Zhenghong<sup>2</sup>, QIU Zhongjun<sup>2</sup>, WANG Zongming<sup>3</sup>

(1. City College of Science and Technology, Chongqing University, Chongqing 402160, China;

2. Jilin Province Water Resource and Hydropower Consultative Company of China, Changchun 130012, China;

3. Institute of Northeast Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

**Abstract:** Based on GIS technology, soil organic carbon data of topsoil (0—30 cm) in Jiamusi in 1980 and 2010 were used to study the effects of different cropland reclamation methods on topsoil organic carbon storage and spatial distribution. The results showed that the topsoil organic carbon storage in Jiamusi area presented the decreasing trend in the past 30 years. From 1980 to 2010, the soil organic carbon storage decreased from 350.68 Tg C to 299.58 Tg C. Meantime, the cultivated land area increased by 6 790.44 km<sup>2</sup> in the 30 years, and the farmlands (wetland, woodland, grassland) was considered as the main factor which affected the soil organic carbon storage and spatial and temporal variation, and marsh reclamation resulted in the biggest change of reserves, and soil organic carbon of wetland reclamation changed at the rate of 107.21 t C/(km<sup>2</sup> · a). In conclusion, farmlands reclaimed to dry fields had a greater influence on the loss of soil organic carbon than paddy field. Reclamation of farmland was the main cause of the decrease of soil organic carbon.

**Keywords:** GIS; soil organic carbon; farmland; semi-variogram

土地利用/土地覆盖变化是影响陆地生态系统碳循环的最大因素之一, 是引起土壤碳源/汇变化的重要原因<sup>[1]</sup>。生态系统类型和土地利用方式的变化是影响陆地生态系统碳储量动态变化的主要原因。

近年来, 国内外学者先后研究了土地利用方式变化对土壤有机碳的影响, 认为不同土地利用方式变化下的

土壤有机碳密度也不同<sup>[2-4]</sup>, 沼泽湿地影响最大, 从而对生态系统碳循环的影响较大。对于以农业为主的区域来说, 农田的开垦(沼泽湿地、林地和草地)是主要的土地利用方式改变<sup>[5]</sup>, 森林开垦为农田后土壤有机碳库下降 13%<sup>[6]</sup>。耕地的增加会导致区域土壤有机碳储量的发生变化, 其中沼泽湿地的垦殖改变了土壤的物理指

标,从而引起土壤有机碳储量的降低<sup>[7-8]</sup>。

黑龙江省佳木斯地区位于中国东北的松花江、黑龙江和乌苏里江汇流而成的三江平原腹地<sup>[9]</sup>,是我国重要湿地保护区域,近几十年来,这里的土地利用/土地覆盖发生巨大的变化,水田和旱地的面积逐渐增加<sup>[10]</sup>,研究农田开垦对土壤有机碳的影响对于该区域的生态环境保护具有重要的意义。沼泽湿地的开垦对土壤有机碳储量影响到底多大,其他开垦方式对土壤有机碳是否有影响,影响多少,目前尚未确定。

本文以佳木斯地区表层(0—30 cm)土壤有机碳储量为研究对象,利用 GIS 技术方法,估算两期表层土壤有机碳总储量,并分析其空间分布,分析不同农田开垦方式对表层土壤有机碳空间分布影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

佳木斯地区位于我国三江平原的核心地区,地处东经 129°29′—135°5′,北纬 45°56′—48°28′。该地区主要是由松花江、黑龙江、和乌苏里江汇流冲积而形成的平原,地势平坦。土壤类型复杂多样,主要分布有白浆土、黑土、草甸土和沼泽土等。年平均温度 3.3℃左右,无霜期约为 140 d,农作物生长期约为 143 d,年均降水量约为 527 mm,属中温带大陆性季风气候,温湿同季。它是我国的重要的商品粮食生产基地,主要种植玉米、水稻和大豆等。

### 1.2 数据及其预处理

1980 年和 2010 年的土壤有机碳数据来源于第二次普查数据<sup>[11]</sup>和实测数据,根据研究需要,获取 1980 年佳木斯地区 130 个样点,我们调查 2010 年佳木斯 134 处样地,经过严格的采样和取样过程,通过重铬酸钾外加热氧化法测定土壤有机碳含量<sup>[12]</sup>,最终得到两期数据包括:土壤剖面的地理位置、土壤类型、土地利用/覆被状况、表层(0—30 cm)土壤容重和土壤有机碳含量(g/kg)等基本参数。本文的 1980 年和 2010 年两期数据土地利用/覆被类型是基于 TM/ETM 数据,经过人机交互解译得到的,已经过广泛的地面调查、验证和精度评价。选取林地、草地、水田、旱地、沼泽湿地 5 种类型<sup>[13]</sup>。

### 1.3 半变异函数

用来描述土壤空间变异结构特性的函数,决定系数为  $R^2$ ,同时综合考虑 RSS(残差)、块金值和有效距离确定来最优的半变异函数理论模型<sup>[14]</sup>。其计算公式如下:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad (1)$$

式中: $r(h)$ 是样本距为  $h$  的半方差; $h$  是样本距(变程 lag); $N(h)$ 是间距为  $h$  的样本对的总个数; $z(x_i)$ 是

样本  $z$  在位置  $x_i$  的实测值; $z(x_i+h)$ 是与  $x_i$  距离为  $h$  处样本的值。

克里金方法是根据半方差函数分析提供的空间自相关程度的信息进行插值,将未测处  $x_0$  的估计值  $Z'(x_0)$  假设为已知观测值的线性和,见公式(2)<sup>[15]</sup>:

$$Z'(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

式中: $\lambda_i$  为与测点有关的加权系数。通过 GS+ 和 VARIOWIN 软件来计算半变异函数, ArcGIS 10.3 进行空间插值和制图。并确定最优模型<sup>[15-16]</sup>,模型模拟最佳指数值(IGF)为 0.001 3,其在 0.000 5~0.005 9,表示该模型模拟效果最佳。

### 1.4 土壤有机碳储量计算方法

本文参考表层土壤有机碳国际标准深度(0—30 cm)计算表层土壤有机碳储量,利用下列公式方法进行土壤表层有机碳密度的估算<sup>[16-17]</sup>,公式如下:

$$\text{SOC}_h = \text{BD}_h \times \text{SOC}_h \times (1 - C_h) \quad (3)$$

式中: $h$  表示土层深度(cm); $\text{SOC}_h$ ,  $\text{BD}_h$ ,  $\text{SOC}_h$  和  $C_h$  分别表示  $h$  深度处的有机碳密度(g/cm<sup>2</sup>),土壤容重(g/cm<sup>3</sup>),土壤有机碳含量(g/kg),大于 2mm 的砾石含量(%);由于佳木斯地区为平原区,表层土壤 > 2 mm 粒径的颗粒可以忽略不计。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机碳时空分布特征

图 1 为 1980 年和 2010 年佳木斯地区表层(0—30 cm)土壤有机碳密度空间分布图,从图中可以看出,两期土壤有机碳密度空间分布差异较大,1980 年佳木斯地区的东北部分有机碳密度较高,大部分在 12 kgC/m<sup>2</sup> 以上,西部和南部地区有机碳密度较低,2010 年分布趋势与 1980 年相似,但该区域总体呈现减少趋势,大部分在 12 kg C/m<sup>2</sup> 以下。三十年间佳木斯地区减少的土壤有机碳储量为 51.10 Tg C,从 1980 年土壤有机碳库 350.68 Tg C 减少到 2010 年的 299.58 Tg C,减少了 14.58%。

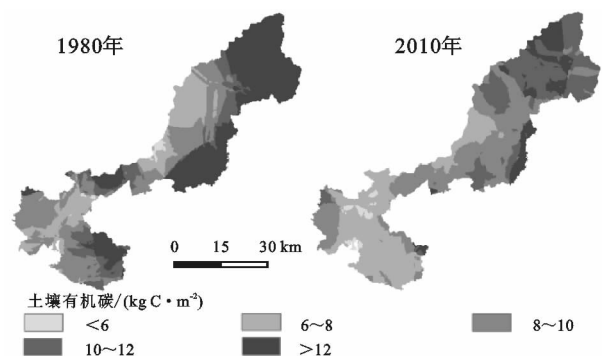


图 1 1980 年、2010 年佳木斯表层(0—30 cm)土壤有机碳密度空间分布

用 2010 年佳木斯表层土壤有机碳密度数据减去 1980 年表层土壤有机碳密度数据,得到 30 a 来佳木斯表层(0—30 cm)土壤有机碳密度相对变化空间分布图(图 2)。从空间上看,主要是东北地区 and 南部地区减少的最多,大部分超过 4 kg C/m<sup>2</sup>,中部地区呈现增加趋势。

2.2 农田开垦对土壤有机碳影响

从表 1 中可以看出,三十年来,佳木斯地区土地利用变化剧烈,沼泽湿地,草地和林地的面积均为减少,其中沼泽湿地减少最多,为 4 696.34 km<sup>2</sup>,而旱地和水田增加的总面积为 6 790.44 km<sup>2</sup>,占有类型面积增加的 90%以上,旱地 30 a 间面积增加 3 900.53 km<sup>2</sup>,这说明农田开垦是佳木斯地区近三十年来主要的土地利用变化方式,而佳木斯地区农田开垦主要来源于林地、草地和沼泽湿地。下面我们将对这三方面开垦方式进行具体分析。

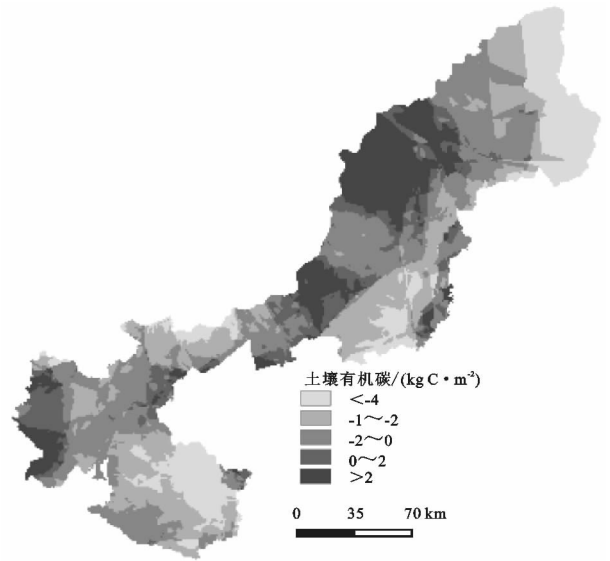


图 2 1980—2010 年佳木斯表层(0—30 cm)土壤有机碳密度相对变化空间分布

表 1 1980—2010 年佳木斯土地利用面积变化

时间	林地	草地	沼泽 湿地	耕地		未利 用地	居民工矿 用地	水体
				水田	旱地			
1980 年	5947.11	1857.43	7463.19	4939.89	11006.07	6.86	555.73	830.43
2010 年	5319.35	33.33	2766.85	7829.80	14906.60	15.51	798.73	936.54
1980—2010 年变化	-627.76	-1824.10	-4696.34	2889.91	3900.53	8.64	243.00	106.11

(1) 林地开垦对土壤有机碳影响。1980—2010 年佳木斯地区林地面积减少 627.76 km<sup>2</sup>,而且大部分林地开垦为农田,30 a 间林地开垦成农田,其土壤有机碳储量减少 1.99 Tg C,林地转换成水田,总储量减少 0.59 Tg C,其值低于林地开垦为旱地,这说明林地转化成旱地要比水田土壤有机碳损失的多。林地转化成农田的年变化率为 81.39 t C/(km<sup>2</sup>·a),30 a 间佳木斯地区林地转化旱地的年变化率要高于转化成水田(表 2)。

表 2 林地开垦对土壤有机碳变化

土地利用类型	林地→农田	林地→水田	林地→旱地
土壤有机碳储量/Tg C	1.99	0.59	1.40
年变化率/(t C·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	81.39	78.20	100.85

(2) 草地开垦对土壤有机碳影响。图 3 为 1980—2010 年草地开垦对土壤有机碳储量的影响,从图中可以看出,30 a 间,佳木斯地区草地转化成农田土壤有机碳减少 1.53 Tg C,年变化率为 52.47 t C/(km<sup>2</sup>·a),草地面积减少 1 824 km<sup>2</sup>。草地转化成旱地土壤有机碳储量减少为 0.96 Tg C,占草地开垦减少的 62.75%。而草地转化成水田土壤有机碳储量减少 0.56 Tg C,30 a 平均年变化率为 52.47 t C/(km<sup>2</sup>·a)。这说明草地开垦后,水田的土壤有机碳要高于旱地。

(3) 沼泽湿地开垦对土壤有机碳影响。我们利

用两期土地利用数据和土壤有机碳数据进行空间叠加和统计分析,得到佳木斯地区湿地开垦土壤有机碳变化统计分析表(表 3),从中我们可以看出,1980—2010 年佳木斯地区沼泽湿地转化成农田面积为 2 377.39 km<sup>2</sup>,其中转化成旱地面积较多,面积为 1 489.25 km<sup>2</sup>,沼泽湿地开垦成水田面积为 888.14 km<sup>2</sup>,不到沼泽湿地开垦面积的 1/3。30 a 来,沼泽湿地开垦带来土壤有机碳储量减少 6.08 Tg C,年变化率为 107.21 t C/(km<sup>2</sup>·a),沼泽湿地转化成旱地土壤有机碳损失为 4.15 Tg C,其高于沼泽湿地转化为水田。这表明湿地开垦对于土壤有机碳的变化具有重要的作用。

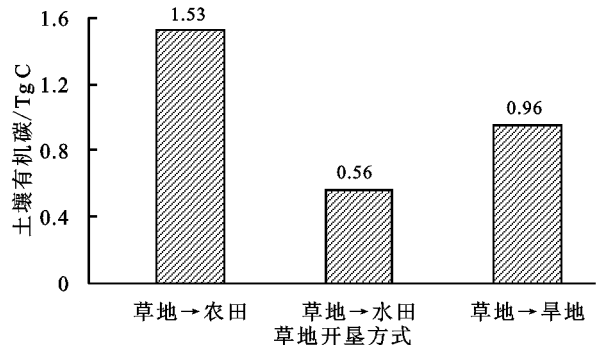


图 3 草地开垦土壤有机碳变化

(4) 3 种开垦方式对比分析。30 a 来佳木斯地区不同农田开垦方式中沼泽湿地开垦对表层土壤有

机碳储量损失最大,30 a 间减少了 6.08 Tg C。其次是林地开垦,减少的最小为草地开垦,30 a 来减少了 1.99 Tg C。图 4 为不同农田开垦方式影响下单位面积土壤有机碳减少量统计图,从图中可以看出,沼泽湿地开垦>林地开垦>草地开垦。沼泽湿地开垦成农田每 km<sup>2</sup> 减少 3 216.30 t 的土壤有机碳,林地开垦土壤有机碳单位面积减少量为 2 441.70 t。草地开垦单位面积减少了 1 908.90 t。这说明 3 种主要农田开垦方式中,沼泽湿地的开垦对表层土壤有机碳储量的变化影响最大,草地开垦影响最小。

表 3 湿地开垦土壤有机碳变化统计

土地利用类型	沼泽湿地→	沼泽湿地→	沼泽湿地→
	农田	水田	旱地
面积/km <sup>2</sup>	2377.39	888.14	1489.25
土壤有机碳储量/Tg C	6.08	1.93	4.15
年变化率/(t C·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	107.21	85.91	112.52

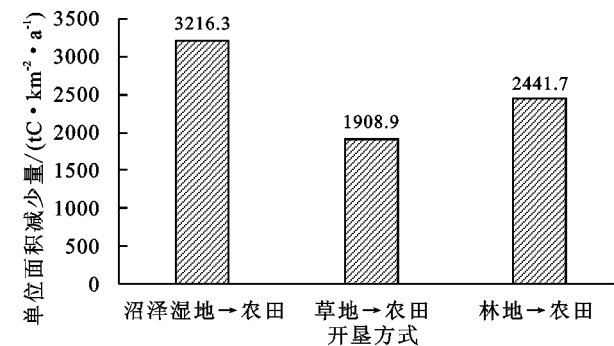


图 4 不同农田开垦方式对土壤有机碳储量影响单位面积统计

3 结论

(1) 佳木斯地区 30 年来土地利用/土地覆盖类型变化较为剧烈,主要表现为农田面积增加,农田面积增加 6 790.44 km<sup>2</sup>,主要来源于沼泽湿地开垦,林地开垦和草地开垦,沼泽湿地开垦面积最多为 2 377.39 km<sup>2</sup>。

(2) 佳木斯地区土壤有机碳库(0—30 cm)在 30 a 期间呈现逐渐降低趋势,减少的土壤有机碳储量为 51.10 Tg C,减少了 14.58%。从空间上看,佳木斯东北地区和南部地区减少的最多,减少值大于 4 kgC/m<sup>2</sup>。中部地区呈现增加趋势。

(3) 农田开垦是影响佳木斯地区土壤有机碳储量变化的主要原因,其中沼泽湿地开垦导致佳木斯地区表层土壤有机碳损失量最大。其次是林地,最后是草地。农田开垦为水田有机碳损失要低于转化为旱地,30 a 间佳木斯地区农田开垦为旱地的年变化率要高于转化成水田。

参考文献:

[1] Watson R T, Noble I R, Bolin B, et al. Land use, land-use change and forestry. A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)[R]. Cambridge;Cambridge University, 2000.

[2] Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J, et al. Profile distribution and storage of soil organic carbon in an aquic brown soil as affected by land use[J]. Agricultural Sciences in China, 2005,4(3):199-206.

[3] 汤洁,毛子龙,韩维峥,等.土地利用/覆被变化对土地生态系统有机碳库的影响[J].生态环境,2008,17(5):2008-2013.

[4] 史利江,郑丽波,梅雪英,等.上海市不同土地利用方式下的土壤碳氮特征[J].应用生态学报,2010,21(9):2279-2287.

[5] 周广胜,王玉辉,蒋延玲,等.陆地生态系统类型转变与碳循环[J].植物生态学报,2002,26(2):250-254.

[6] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis[J]. Global Change Biology, 2002,8(4):345-360.

[7] 宋长春,王毅勇,阎百兴,等.沼泽湿地开垦后土壤水热条件变化与碳、氮动态[J].环境科学,2004,25(3):150-154.

[8] 王丽丽,宋长春,葛瑞娟,等.三江平原湿地不同土地利用方式下土壤有机碳储量研究[J].中国环境科学,2009,29(6):656-660.

[9] 许英杰,尹嫦娥.近 55 a 佳木斯地区最大冻土深度变化特征及其影响因子的分析[J].黑龙江气象,2017,34(3):4-6.

[10] 迟光宇,王俊,陈欣,等.三江平原不同土地利用方式下土壤有机碳的动态变化[J].土壤,2006,38(6):755-761.

[11] 杜国明,潘涛,尹哲睿,等.水田化进程中的富锦市耕地景观格局演化规律[J].应用生态学报,2015,26(1):207-214.

[12] Nelson D W, Sommers L E, Sparks D L, et al. Total carbon, organic carbon, and organic matter[J]. Methods of Soil Analysis, 1982,9:961-1010.

[13] 苗正红,杨清臣,邱中军,等.基于 GIS 技术的土地利用变化对表层土壤有机碳储量的影响:以富锦为例[J].水土保持研究,2015,4(3):67-72.

[14] 政权.地统计学及在生态学中的应用[M].科学出版社,北京,1999.

[15] Pannatier Y. VARIOWIN:Software for spatial data analysis in 2D [M]. Springer Science &. Business Media, 2012.

[16] Lévesque J, King D J. Airborne digital camera image semivariance for evaluation of forest structural damage at an acid mine site[J]. Remote Sensing of Environment, 1999,68(2):112-124.

[17] 杨元合.青藏高原高寒草地生态系统碳氮储量[D].北京:北京大学,2008.