

小兴安岭森林沼泽湿地土地利用变化对土壤活性碳组分的影响

赵光影, 江 珊, 邵宗仁

(黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室 哈尔滨师范大学, 黑龙江 哈尔滨 150025)

摘要: [目的] 以小兴安岭森林沼泽为研究对象, 研究湿地经过人类活动开垦为农田, 和排水造林, 以及弃耕地的土壤活性碳组分, 为深入了解土壤活性碳组分动态变化及其可能影响全球变暖的机制研究提供科学依据。[方法] 选择小兴安岭森林沼泽湿地 4 种土地利用方式(天然沼泽、排水湿地、弃耕地、农田)为研究对象, 在野外调查和室内分析的基础上, 对比分析土壤有机碳(SOC)、溶解性有机碳(DOC)、微生物碳(MBC)、易氧化碳(EOC)、轻组有机碳(LFOC)、颗粒有机碳(POC)的含量变化和比例关系, 并用相关分析法分析土壤有机碳各活性组分之间的关系。[结果] 不同土地利用方式土壤有机碳含量随土层深度增加而降低, 总体上, 在土壤剖面上, 天然沼泽的 SOC 含量大于其他土地利用方式, 其他 3 种土地利用方式之间差异不显著($p > 0.05$)。不同土地利用方式下土壤活性碳组分(DOC, MBC, EOC, POC, LFOC)含量在垂直分布上均呈现出随土壤深度的增加而降低的趋势, 土壤活性碳组分含量顺序总体上呈: 天然沼泽 > 排水湿地 > 弃耕地 > 农田。4 种土地利用类型土壤 DOC 占 SOC 的比例, 在垂直剖面上, 无明显规律变化。土壤 SOC 含量与 DOC, MBC, EOC, POC, LFOC 之间的相关性均达到显著水平($p < 0.05$)。土壤 DOC 和 MBC 之间呈显著性正相关($p < 0.05$), LFOC 和 POC 之间呈极显著性正相关($p < 0.05$), EOC 与其他活性碳组分相关性均不显著($p > 0.05$)。[结论] 土地利用变化会对小兴安岭森林沼泽土壤活性碳组分产生影响, 应该合理开发小兴安岭森林沼泽湿地。

关键词: 小兴安岭; 土地利用变化; 土壤有机碳; 土壤活性碳组分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0068-07

中图分类号: S154.1, F301.2

文献参数: 赵光影, 江珊, 邵宗仁. 小兴安岭森林沼泽湿地土地利用变化对土壤活性碳组分的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6):68-74. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.011; Zhao Guangying, Jiang Shan, Shao Zongren. Effects on component of activated carbon in soil under different patterns of land use in lesser khingan Mountains[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6):68-74. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.011

Effects on Component of Activated Carbon in Soil Under Different Patterns of Land Use in Lesser Khingan Mountains

ZHAO Guangying, JIANG Shan, SHAO Zongren

(Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment in Common

Universities of Heilongjiang Province, Harbin Normal University, Harbin, Heilongjiang 150025, China)

Abstract: [Objective] This thesis took the marsh in Lesser Khingan Mountains as the object, to research the component of activated carbon in soil after wetland was transformed to farmland, forests. This abandoned farmland, which is of great scientific significance to the further understanding on the dynamic change of activated carbon in soil and the corresponding effects of global warming mechanism. [Methods] This research selected four different types of land use(natural marsh, drained wetlands, abandoned farmland, farmland) as the objects, based on field investigation and indoor analysis, making a comparison of the

收稿日期:2016-11-11

修回日期:2017-11-28

资助项目:国家自然科学基金项目“小兴安岭森林沼泽湿地 DOC 动态及其对人为干扰的响应”(41301082);“气候变暖背景下东北多年冻土退化对温室气体排放的影响”(4157012165);黑龙江省博士后资助项目(LRB13-200)

第一作者:赵光影(1981—),女(汉族),黑龙江省大庆市人,博士,副教授,主要从事湿地环境生态研究。E-mail:zhaoguangying2004@126.com。

content changes and proportion relations among soil organic carbon(SOC), dissolved organic carbon(DOC), microbial biomass carbon(MBC), easily oxidized organic carbon(EOC), light fraction organic carbon(LFOC), particulate organic carbon(POC). This research made an analysis of the relationship between active componets of organic carbon in soil with the correlation analysis. [Results] The content of organic carbon decreases with the increasing depth of soil under different land use patterns. In general, on the soil profile, the content of SOC in natural marsh is greater than that in other land use patterns, while the difference among the other three patterns of land use is not significant($p>0.05$). Under the four different land use patterns, the content of activated carbon component all shows a decrease tendency with increasing of soil depth in the vertical distribution. Generally, the contents of activated carbon component in the four different types of land use patterns are natural marsh>drainage wetlands>abandoned farmland>farmland. The correlation between SOC and DOC, MBC, EOC, POC, LFOC in soil is significant($p<0.05$). There is a significant positive correlation between DOC and MBC in soil($p<0.05$). There is rather a significant positive correlation between LFOC and POC in soil($p<0.05$). The correlation between EOC and other activated carbon components is not significant. [Conclusion] There are effects on the component of activated carbon in soil under different patterns of land use in Lesser Khingan Mountains. Therefore, people should rationally develop the marsh in Lesser Khingan Mountains.

Keywords: Lesser Khingan Mountains; different patterns of land use; organic carbon in soil; component of activated carbon in soil

全球气候变暖及其影响是当前人类面临的最为严重的环境问题之一,追源和解决这些问题,准确确定陆地生态系统碳循环及其影响因素是一个关键^[1]。土地利用变化是影响陆地生态系统碳循环的最重要因素之一,也是仅次于化石燃料燃烧而使大气 CO₂ 浓度急剧变化的最主要人类活动^[2],据估计,从 1850—1998 年,已有 136 Gt 碳通过土地利用变化从陆地生态系统中排放到大气中,因此土地利用被认为是全球碳变化的关键驱动力。然而,土壤有机碳含量是土壤中有机物质矿化分解与合成的平衡结果,且由于土壤具有高背景值与固有的分异性因素,短期的土地利用改变所引起的土壤碳微小变化很难察觉,因此很难反映土壤短期质量变化。基于此原因,具有较高敏感指示性的有机碳组分已经被分离出来反映土壤质量的微小变化^[3]。土壤活性碳组分是指土壤中移动快,稳定性差,易氧化和矿化,并具有较高植物和土壤微生物活性的那部分有机碳,通常可用微生物量碳、易氧化碳、溶解性有机碳、颗粒有机碳、轻组有机碳等来进行表征。虽然它只占土壤有机碳总量的较小部分,但它可以在土壤全碳变化之前反映土壤微小变化,又直接参与土壤生物化学转化过程,因而,对土壤碳库平衡和土壤化学、生物化学肥力保持具有重要意义^[4]。

20 世纪中叶以来由于人类活动的影响,天然湿地遭到严重破坏,其中湿地开垦和排水育林是重要的干扰方式。目前关于不同土地利用方式对土壤活性碳组分所产生的影响,主要集中在农田、草地、水田之间,以及不同植被类型的湿地土壤有机碳组分的影

响^[5],但是关于人类干扰活动对森林沼泽湿地,以及高寒区森林沼泽的土壤活性炭组分的影响研究还很少。因此,本文以小兴安岭森林沼泽为研究对象,研究湿地经过人类活动开垦为农田,和排水造林,以及弃耕地的溶解性有机碳、微生物量碳、易氧化碳、颗粒有机碳、轻组有机碳含量,对于深入了解土壤活性碳组分动态变化及其可能影响全球变暖的机制具有科学意义。还为小兴安岭区域生态系统碳循环中的作用与转化机制,小兴安岭区域沼泽湿地生态系统的管理和可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于小兴安岭中段,黑龙江省东北部伊春市友好林业局永青林场(48°03′53″N,128°30′36″E),平均海拔为 260~500 m,属于温带大陆湿润季风气候。年平均气温约 0.4 ℃,年积温为 2 000~2 500 ℃。年平均降雨量为 630 mm,全年有 2 个降水高峰期,一个是冬季降雪,另一个是每年 7—8 月的降雨,高峰期降水占全年降雨量的 70%。无霜期约为 110 d。地带性土壤为暗棕壤,其次为草甸土和沼泽土。典型植被为红松阔叶混交林,目前大部分已退化为次生林和人工林,森林覆盖率为 74.8%。研究区尚有沼泽湿地 4 302 hm²,湿地类型丰富,包括森林沼泽、灌丛沼泽、草丛沼泽、藓类沼泽和泥炭藓沼泽等多种湿地类型,其中以森林沼泽为主要类型^[6]。

1.2 样品采集

在研究区域内选择 4 块样地,分别是天然沼泽(兴安落叶松沼泽)、排水造林 40 a 的人工林(在森林沼泽内挖排水渠,人工种植落叶松林)、湿地开垦 40 a 的农田(在原来的天然森林沼泽内挖排水沟渠,然后将土地填平种植农作物)、40 a 的弃耕地(原来是森林沼泽,开垦为农田后弃耕)作为样地,分别标记为 XA,PS,NT,QG。在每个调查样地内,用 S 形的布设方式采样,各取 5 个样点,土壤剖面深度为 40 cm,去除枯枝落叶层后,用 5 cm 内径的土钻于 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm、分层采集,共 180 个土壤样品。采集的新鲜土样带回室内,除去动植物残体、石块等杂物,分成 2 份。一份立即过 2 mm 孔径的尼龙筛,混匀、密封置于 4 ℃ 冰箱中避光保存,用于 DOC 测定;另一份自然风干,用于土壤有机碳以及其他土壤理化性质测定。

1.3 实验方法

土壤有机碳采用碳、氮元素自动分析仪(德国)测定。土壤微生物量碳采用氯仿熏蒸— K_2SO_4 浸提法,重铬酸钾氧化滴定法测定;土壤溶解性有机碳(DOC)采用稀盐溶液 0.5 mol/L K_2SO_4 提取,土水比为 1:2.5,振荡 30 min,重铬酸钾氧化滴定法测定^[7]。土壤易氧化碳采用 333 mmol/L 的高锰酸钾氧化法测定^[8]。土壤轻组有机碳采用相对密度分组法测定;颗粒有机碳采用 5 g/L 六偏磷酸钠分散法测定^[9]。

1.4 统计分析方法

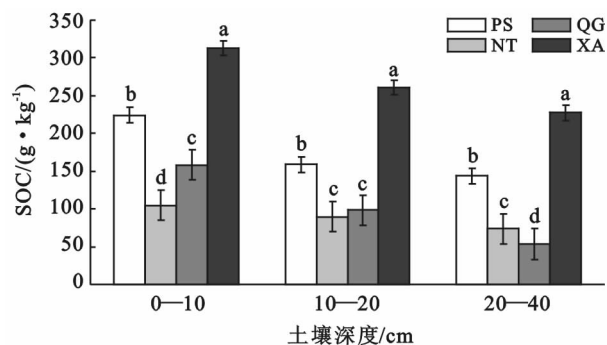
利用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析,采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),应用最小显著差异法(least-significant-difference, LSD)对数据组间差异进行显著性检验;显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。图中数据为平均值±标准差,相关图表制作在 Origin 8.5 中完成。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤有机碳含量差异

4 种类型土壤 SOC 的含量都随着土壤深度的增加而出现逐渐递减的规律。在土壤表层(0—10 cm),SOC 含量的大小关系表现为:NT<QG<PS<XA,4 种类型土壤的 SOC 含量差异显著($p<0.05$)。在土壤 10—20 cm 处,SOC 含量的大小关系为:NT<QG<PS<XA,其中天然沼泽与排水造林湿地的 SOC 含量都与其他土地利用方式差异显著($p<0.05$),但是农田和弃耕地之间 SOC 含量,差异不显著($p>0.05$)。在土壤 20—40 cm 处,SOC 含量的大小关系

为:QG<NT<PS<XA,4 种类型土壤的 SOC 含量差异显著($p<0.05$)。在土壤垂直剖面上,天然沼泽的 SOC 的含量大于其他土地利用方式(图 1)。



注:图中数据为平均值±标准差($n=3$);不同字母表示差异显著($p<0.05$),相同字母表示差异不显著($p>0.05$)。

图 1 不同土地利用方式的土壤 SOC 含量的垂直分布

2.2 不同土地利用方式下土壤活性碳组分含量

不同土地利用方式下不同有机碳组分含量在垂直分布上均呈现出随着土层深度的加深而降低的趋势,0—10 cm 土层各有机碳组分含量均大于其余 2 个深度,但是不同土地利用方式之间的差异较大。由表 1 可知,不同土地利用方式土壤 DOC 含量在 0—10 cm 土层上大小顺序为:天然沼泽>排水湿地>弃耕地>农田。其中最低值为农田(0.209 g/kg),比天然沼泽和排水湿地、弃耕地分别低 81.3%和 63.1%,26.1%,差异性显著($p<0.05$)。其余 2 个深度的土层不同土地利用方式土壤 DOC 含量变化,天然沼泽和排水湿地大于弃耕地和农田,差异性显著($p<0.05$);不过弃耕地和农田之间差异不显著($p>0.05$)。不同土地利用方式土壤 MBC 含量在垂直方向上也是随土层增加而降低,天然沼泽降低幅度最大。在 0—10 cm 土层上,土壤 MBC 含量最大值出现在天然沼泽(0.528 g/kg),最小值为农田(0.145 g/kg),天然沼泽比排水湿地和弃耕地以及农田分别高 61.3%、65.3%、45.7%,差异性显著($p<0.05$);排水湿地和弃耕地、农田之间 MBC 含量差异不显著($p>0.05$)。其余土层不同土地利用方式土壤 MBC 含量,天然沼泽显著大于其他 3 种土地利用方式($p<0.05$),其他 3 种土地利用方式之间差异不显著($p>0.05$)。不同土地利用方式土壤 EOC 含量,在整个土层中,天然沼泽含量最多,农田含量最低。不同土地利用方式之间土壤 EOC 含量差异不显著($p>0.05$)。POC 占 SOC 的总量最多,在 0—10 cm 土层上,不同土地利用方式之间土壤 POC 含量差异较大,天然沼泽>排水湿地>弃耕地>农田,差异性显著($p<0.05$)。其中农田和天然沼泽比,POC 含量

减少了 56.22%。其余深度土层上,不同土地利用方式之间的 POC 含量,天然沼泽和排水湿地都显著性大于弃耕地和农田($p < 0.05$),弃耕地和农田之间差异性不显著($p > 0.05$)。不同土地利用方式土壤 LFOC 含量在垂直方向上也是随土层增加而降低,天然沼泽的降低幅度最大。在整个土层的不同深度上,

天然沼泽和排水湿地之间的 LFOC 含量,差异性不显著($p > 0.05$);但是天然沼泽和排水湿地都显著大于农田和弃耕地($p < 0.05$)。总体上,天然沼泽的 LFOC 含量最多,农田含量最少,农田比天然沼泽 LFOC 含量少了 66.55%,农田和弃耕地之间差异不显著($p > 0.05$)。

表 1 不同土地利用方式在不同土层下土壤活性碳组分的含量

土地利用	土层深度/cm	DOC/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	MBC/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	EOC/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	POC/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	LFOC/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
排水造林 PS	0—10	0.567±0.02 ^b	0.204±0.007 ^b	2.537±0.12 ^b	22.86±0.21 ^b	13.68±0.41 ^a
	10—20	0.504±0.003 ^b	0.197±0.005 ^b	1.985±0.15 ^a	17.10±0.20 ^b	9.42±0.38 ^a
	20—40	0.467±0.003 ^b	0.181±0.004 ^a	1.024±0.10 ^a	15.11±0.23 ^b	5.18±0.35 ^a
天然沼泽 XA	0—10	1.119±0.000 ^a	0.528±0.002 ^a	3.526±0.21 ^a	27.41±0.27 ^a	15.07±0.51 ^a
	10—20	0.661±0.001 ^a	0.413±0.005 ^a	2.305±0.31 ^a	22.54±0.24 ^a	10.73±0.34 ^a
	20—40	0.550±0.001 ^a	0.200±0.008 ^a	1.328±0.14 ^a	20.56±0.30 ^a	6.46±0.30 ^a
农田 NT	0—10	0.209±0.001 ^d	0.145±0.010 ^b	1.840±0.24 ^c	12.00±0.25 ^d	5.07±0.32 ^c
	10—20	0.162±0.002 ^c	0.105±0.008 ^c	1.325±0.16 ^b	10.25±0.18 ^c	3.15±0.34 ^b
	20—40	0.143±0.003 ^c	0.093±0.011 ^b	0.537±0.19 ^c	7.41±0.15 ^c	2.58±0.40 ^b
弃耕地 QG	0—10	0.283±0.001 ^c	0.183±0.008 ^b	2.025±0.21 ^b	18.24±0.20 ^c	10.68±0.41 ^b
	10—20	0.183±0.002 ^c	0.162±0.005 ^b	1.685±0.15 ^b	12.67±0.15 ^c	5.98±0.35 ^b
	20—40	0.146±0.002 ^c	0.145±0.009 ^a	0.955±0.18 ^b	10.47±0.14 ^c	3.77±0.30 ^b

注:数据为平均值±标准差;同列数据后不同字母表示同一土层各土地利用方式间差异显著($p < 0.05$),字母相同表示同一土层各土地利用方式间差异不显著($p > 0.05$)。下同。

2.3 不同土地利用方式下土壤活性碳组分的分配比例

土壤活性有机碳占土壤总有机碳的比率被称为该种活性有机碳的分配比例^[10],它比活性有机碳总量更能反映不同土地利用类型下植被对土壤碳行为的影响结果。研究表明,土壤易氧化碳含量与土壤总有机碳的比例(EOC/SOC)是反映土壤碳稳定性的指标,土壤全碳中易氧化态碳所占比例越高,说明土壤碳的活性越大,稳定性越差^[11]。从表 2 可以看出,在 0—20 cm,天然沼泽的土壤 EOC/SOC 小于其他 3 种土地利用方式,说明排水湿地,弃耕地,农田土壤有机碳活性大、易转化,不稳定,并且这 3 种土地利用方式之间差异不显著($p > 0.05$)。在 20—40 cm,4 种土地利用方式之间 EOC/SOC 差异不显著($p > 0.05$)。土壤微生物量碳占有有机碳的百分比(MBC/SOC)称为微生物商。微生物商的变化反映了土壤中输入的有机质向微生物量碳的转化效率、土壤中碳损失和土壤矿物对有机质的固定^[12]。从土壤微生物量碳的分配比例来看,总体上天然沼泽显著大于其他 3 种土地利用方式($p < 0.05$),其他 3 种土地利用方式之间 MBC/SOC,差异性不显著($p > 0.05$),这与 EOC 的变化趋势相反。尽管 DOC 占土壤有机碳的比例(DOC/SOC)仅约 1%~5%,但它性状活泼,直接供应植物和

微生物生长必需的能量,参与土壤发生和发育、物质溶解迁移、吸附解吸以及毒性行为过程,是土壤质量和环境健康变化的重要指示器。4 种土地利用类型土壤 DOC 占 SOC 的比例(DOC/SOC),在垂直剖面上,无明显规律变化。在土壤表层 0—10 cm 处,DOC/SOC 的大小关系为:QG<NT<PS<XA,4 种类型土壤之间差异性显著($p < 0.05$)。在土壤 10—20 cm 处,DOC/SOC 的大小关系为:NT<QG<XA<PS,其中排水造林湿地和天然沼泽之间差异显著($p < 0.05$),农田和弃耕地之间差异不显著($p > 0.05$)。在土壤 20—40 cm 处,天然沼泽和弃耕地之间差异性不显著($p > 0.05$)。天然沼泽的 DOC/SOC 只有在表层大于其他土地利用方式,差异性显著($p < 0.05$)。总体上,在整个土层深度上,排水湿地的 LFOC 和 POC 的分配比例明显高于其他 3 种土地利用类型,其他 3 种土地类型之间差异不显著($p > 0.05$)。但是在 20—40 cm,天然沼泽的 LFOC 和 POC 的分配比例大于其他 3 种土地利用方式,而弃耕地和农田之间差异不显著($p > 0.05$)。从不同层次土壤来看,不同土地利用类型下土壤 LFOC 的分配比例从上到下均表现出下降趋势,而其他不同土地利用方式的土壤活性碳组分垂直分布总体上规律不明显。

表 2 不同土地利用类型土壤活性有机碳的分配比率

土地利用	土层深度/cm	DOC/SOC	MBC/SO	EOC/SOC	POC/SOC	LFOC/SOC
排水造林 PS	0—10	0.25±0.003 ^b	0.09±0.006 ^b	1.25±0.13 ^a	11.22±0.21 ^a	6.72±0.31 ^a
	10—20	0.32±0.002 ^a	0.12±0.005 ^b	1.01±0.15 ^a	8.69±0.20 ^a	4.79±0.38 ^a
	20—40	0.33±0.003 ^a	0.15±0.004 ^b	0.57±0.11 ^a	8.36±0.24 ^b	2.86±0.30 ^a
天然沼泽 XA	0—10	0.36±0.001 ^a	0.51±0.003 ^a	0.67±0.22 ^b	5.19±0.26 ^c	2.86±0.41 ^b
	10—20	0.25±0.001 ^b	0.46±0.005 ^a	0.56±0.31 ^b	5.45±0.24 ^c	2.60±0.34 ^b
	20—40	0.24±0.001 ^b	0.27±0.008 ^a	0.66±0.15 ^a	10.56±0.25 ^a	3.22±0.35 ^a
农田 NT	0—10	0.209±0.001 ^c	0.09±0.010 ^b	1.27±0.23 ^a	8.27±0.25 ^b	3.50±0.32 ^b
	10—20	0.18±0.002 ^c	0.11±0.009 ^c	1.26±0.16 ^a	9.76±0.19 ^a	3.00±0.34 ^b
	20—40	0.19±0.003 ^c	0.17±0.011 ^b	0.57±0.18 ^a	7.93±0.15 ^c	2.77±0.35 ^b
弃耕地 QG	0—10	0.18±0.001 ^d	0.06±0.008 ^b	1.11±0.20 ^a	9.98±0.20 ^b	5.84±0.30 ^a
	10—20	0.19±0.003 ^c	0.06±0.004 ^b	1.04±0.16 ^a	7.84±0.16 ^b	3.70±0.35 ^b
	20—40	0.27±0.002 ^b	0.06±0.097 ^c	0.66±0.18 ^a	7.23±0.14 ^c	2.60±0.30 ^a

2.4 土壤活性碳组分之间的相关性

对土壤总有机碳量与各活性有机碳以及各活性有机碳之间进行了相关分析(表 3)。土壤 SOC 含量与 DOC, MBC, EOC, POC 和 LFOC 之间的相关性均达到显著水平($p < 0.05$)。土壤 DOC 和 MBC 之间呈显著性正相关($p < 0.05$), LFOC 和 POC 之间呈极

显著性正相关($p < 0.01$), EOC 与其他活性碳组分相关性均不显著($p > 0.05$)。这一方面说明土壤活性有机碳较大程度上依赖土壤有机碳总贮量,另一方面,也说明各类土壤活性有机碳之间关系密切,它们虽然表述与测定方法不同,但它们都在一定程度上表征了土壤中活性较高部分的有机碳含量。

表 3 土壤各种形态有机碳之间的相关关系

有机碳组分	SOC	DOC	MBC	EOC	POC	LFOC
SOC	1.000					
DOC	0.964 [*]	1.000				
MBC	0.948 [*]	0.957 [*]	1.000			
EOC	0.908 [*]	0.853	0.737	1.000		
POC	0.953 [*]	0.851	0.653	0.607	1.000	
LFOC	0.929 [*]	0.855	0.749	0.764	0.982 ^{**}	1.000

注: * 为相关性达 5% 显著水平; ** 为相关性达 1% 极显著水平。

3 讨论

3.1 不同土地利用方式对土壤有机碳的影响

土壤有机碳含量是土壤、植被类型、气候、母质以及人类活动等因素综合作用下动态平衡的结果^[13]。植被覆盖类型和农业生产经营活动的变化导致土地利用方式的转变,从而引起土壤性质和生态系统作用过程的变化,使得土壤中有机碳含量发生变化^[14]。森林沼泽湿地被排水后,土壤因水分减少而由嫌气环境变成好气环境,此时,土壤中微生物的活性增强,有机残体分解加快,泥炭层和草根层也迅速被氧化而丧失了碳的积累能力,从而由“碳汇”变成“碳源”^[15]。随着湿地长期处于干旱状态,微生物活性开始降低,土壤有机质的分解速率开始下降,但由于土壤长期处于氧化环境,有机质很难积累,加上有机质的来源地表枯落物逐渐减少,土壤团粒体结构发生变化,对碳吸附

能力降低^[16],最终导致土壤有机碳含量降低。因此,总体上天然沼泽有机碳含量大于其他 3 种土地利用类型。

3.2 不同土地利用方式下土壤活性碳组分含量和比例

土地利用类型不同,一方面会导致进入土壤中植物残体的数量和性质发生改变,另一方面会引起土壤水分管理、耕作方式等管理措施的差异,由此影响和改变土壤活性有机碳的含量不同^[17]。土壤活性有机碳是土地利用变化比较敏感的部分^[18]。排水造林湿地、农田、弃耕地以及天然森林沼泽的土壤活性碳组分,在垂直剖面上均从上到下逐渐减少。原因一方面可能是随着土壤深度的增加,黏土矿物的物理吸附作用,另一方面可能是微生物的降解作用,但物理吸附作用往往被认为是最主要的因素^[19]。本文研究表明,在 0—10 cm 土层中,农田土壤活性碳组分最低,天然沼泽的土壤活性有机碳平均含量比其他 3 种土地利

用方式高,其他深度上 4 种土地利用方式之间差异不明显($p>0.05$)。说明土地利用变化对深层土壤活性有机碳影响不明显,浅层土壤活性有机碳比深层变化更敏感。原因主要与植物根系分布、产生凋落物数量和质量及其与土壤活性有机碳的相关程度有关^[20]。树木根系分布比农作物深,土壤表层形成的残体或分泌物多,土壤活性有机碳形成量比农田多^[21],当森林变成农田后,以前土地利用方式下土壤中的活性有机碳很快被分解完,而在农田中只是在土壤表层补充了部分的土壤活性有机碳。天然沼泽排水造林后土壤活性有机碳减少,减少的原因之一是天然沼泽转变成了人工林土壤团聚体结构受到一定的破坏,土壤稳性团聚体含量减少,从而使土壤活性有机碳含量减少。农田转为弃耕地后,浅层和深层活性有机碳减少的幅度小,说明农田撂荒后浅层和深层活性有机碳均有所增加,这与以前的研究结果相同^[22],土地利用变化改变了土壤活性碳组分占有有机碳的比例。土壤 SOC 作为 DOC 的来源,随着土壤 SOC 含量的减少,因此 DOC 也相依减少,DOC/SOC 随之降低。因此湿地排水后,农田,弃耕地,排水造林的人工林湿地土壤 SOC 含量和 DOC/SOC 都比天然沼泽湿地低。土壤 EOC 占土壤 SOC 的比例可用于表征 SOC 的稳定性,比例越高,说明土壤碳的活性越大,稳定性越差^[23]。本研究天然沼泽(0—10 cm) EOC/SOC 比例显著低于其他 3 种土地利用方式,说明天然沼泽转变成农田降低了表层 SOC 的稳定性;天然沼泽(20—40 cm) EOC/SOC 比例略高于农田,差异不大,这说明土地利用变化对深层土壤 SOC 的稳定性影响不明显。这与许多研究结果相同^[24],可能是因为农田受人为耕作的影响,表层土壤中易氧化的活性碳组分暴露,降低了土壤 EOC 的稳定性,加速了其被氧化的进程,而深层土壤 SOC 平均滞留时间长,矿化速率低和高稳定性,所以对土地利用变化的响应迟缓。表层 MBC/SOC 均比深层大,其原因主要是因为微生物主要集中在表层土壤,且沿剖面变化幅度比有机碳大的原因。土地利用变化,天然沼泽被人类活动改造后,农田、弃耕地、排水湿地的表层 MBC/SOC 不同程度地减少,有显著性差异($p<0.05$),而深层 MBC/SOC 没有明显规律,差异不显著($p>0.05$)。说明天然沼泽转变后降低了浅层有机碳的转化效率,进而减少了有机碳含量。土壤 POC 是处于新鲜动植物残体与腐殖有机物之间短暂过度的有机碳,腐殖化程度较低、活性较高、更新速率比较快,对土地利用方式、土地经营管理措施的变化非常敏感。因此,当土地利用方式发生变化,土壤 SOC 减少后,POC/SOC 和 LFOC/SOC 也因此减少,

天然沼泽转变为排水湿地、农田后的 POC/SOC 和 LFOC/SOC 也因此减少。

3.3 土壤活性碳组分之间的相关性

农田管理措施、土地利用方式、不同植被类型以及人类干扰活动等因素都会改变土壤有机质的输入量和周转速率,从而导致土壤 SOC 及其组分含量的变化^[25]。土壤 SOC 含量与 DOC, MBC, EOC, POC 和 LFOC 之间的相关性均达到显著水平($p<0.05$)。这一方面说明土壤活性有机碳较大程度上依赖土壤有机碳总贮量。土壤 LFOC 与 POC 之间呈现极显著正相关($p<0.01$),说明在土层中 LFOC 和 POC 与土壤 SOC 关系密切,LFOC 与 POC 之间关系密切。表层土壤 EOC 可能因为其本身的不稳定性,容易受外界温度、降水以及人类活动等因素影响而分解、移动和流失,并没有与其他有机碳组分表现出显著相关性。

4 结论

天然沼泽变为排水湿地、农田、弃耕地后,土壤 SOC 含量下降。不同土地利用方式下的土壤活性碳组分含量也随之发生改变,天然沼泽各个活性碳组分含量均比其他三种土地利用方式高。天然沼泽的土壤活性碳组分比例(除了 EOC/SOC)均比其他 3 种土地利用方式高。土壤 SOC 含量与 DOC, MBC, EOC, POC 和 LFOC 之间的相关性均达到显著水平($p<0.05$)。土壤 DOC 和 MBC 之间呈显著性正相关($p<0.05$),LFOC 和 POC 之间呈极显著性正相关($p<0.01$),EOC 与其他活性碳组分相关性均不显著($p>0.05$)。

[参 考 文 献]

- [1] 吴建国,张小全,徐德应.土地利用变化对土壤有机碳储量的影响[J].应用生态学报,2004,15(4):593-599.
- [2] 钟春棋,曾从盛,全川.不同土地利用方式对闽江口湿地土壤活性有机碳的影响[J].亚热带资源与环境学报,2010,5(4):64-70.
- [3] Xiao Ye, Huang Zhigang, Lu Xianguo. Changes of soil labile organic carbon fractions and their relation to soil-microbial characteristics in four typical wetlands of Sanjiang Plain, Northeast China[J]. Ecological Engineering, 2015,82:381-389.
- [4] Coleman D C, Reid C P P, Cole C V. Biological strategies of nutrient cycling in soil systems[J]. Advances in Ecological Research, 1983,13(4):1-55.
- [5] Huo Lili, Chen Zhike, Zou Yuanchun, et al. Effect of Zoige alpine wetland degradation on the density and fractions of soil organic carbon[J]. Ecological Engineering,

- 2013, 511(1): 287-295.
- [6] 石兰英, 牟长城, 田新民, 等. 小兴安岭不同沼泽甲烷排放及其影响因子[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5289-5295.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [8] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7): 1459-1466.
- [9] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence [J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(3): 776-783.
- [10] 宇万太, 马强, 赵鑫, 等. 不同土地利用类型下土壤活性有机碳库的变化[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2013-2016.
- [11] 朱志建, 姜培坤, 徐秋芳. 不同森林植被下土壤微生物量碳和易氧化态碳的比较[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 523-526.
- [12] 张金波, 宋长春. 土地利用方式对土壤碳库影响的敏感性评价指标[J]. 生态环境, 2003, 12(4): 500-504.
- [13] 张帅, 许明祥, 张亚锋, 等. 黄土丘陵区土地利用变化对深层土壤活性碳组分的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(2): 661-668.
- [14] 刘正刚, 裴柏洋, 王宪帅. 岷江上游干旱河谷不同土地利用类型的土壤有机碳和易氧化态碳特[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 24-27, 31.
- [15] 孔凡亭, 李悦, 郝敏, 等. 湿地土壤溶解性有机碳研究进展[J]. 青岛理工大学学报, 2012, 34(3): 64-70.
- [16] 石兰英, 牟长城, 田新民, 等. 小兴安岭不同沼泽甲烷排放及其影响因子[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5289-5295.
- [17] Six J, Conant R T, Paul E A, et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils[J]. Plant and Soil, 2002, 241(2): 155-176.
- [18] 刘纪远, 王绍强, 陈镜明, 等. 1990—2000年中国土壤碳氮蓄积量与土地利用变化[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 483-496.
- [19] 康根丽, 杨玉盛, 司友涛, 等. 米楮人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征[J]. 生态学报, 2014, 34(8): 1946-1955.
- [20] 王彩霞, 刘帅, 王勇, 等. 不同保护性耕作方式对微团聚体有机碳氧化稳定性的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(5): 144-155.
- [21] 廖洪凯, 龙健, 李娟. 不同小生境对喀斯特山区花椒林表土团聚体有机碳和活性有机碳分布的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 156-160.
- [22] 曾从盛, 钟春棋, 全川, 等. 土地利用变化对闽江河口湿地表层土壤有机碳含量及其活性的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 125-129.
- [23] 荣丽, 李守剑, 李贤伟, 等. 不同退耕模式细根(草根)分解过程中C动态及土壤活性有机碳的变化[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 137-144.
- [24] 李娟, 廖洪凯, 龙健, 等. 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2147-2156.
- [25] 陈高起, 傅瓦利, 沈艳, 等. 岩溶区不同土地利用方式对土壤有机碳及其组分的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 123-129.