

开垦对三江平原别拉洪河流域土壤 Fe 活性的影响

郑太辉^{1,2}, 迟光宇^{1,2}, 史 奕¹, 陈 欣¹

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所 中国科学院陆地生态过程重点实验室, 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:为探讨农业开垦对土壤 Fe 活性的影响, 采集土样对三江平原别拉洪河流域不同土地利用类型(岸边沼泽、农田附近沼泽、农田)泥炭层、表土层和潜育层中 Fe^{2+} 、络合 Fe 及土壤相关理化指标进行分析。结果表明, 土壤开垦后, 与岸边天然沼泽相比, 农田附近沼泽及农田土壤 Fe^{2+} 、络合 Fe 含量整体上呈降低趋势, 显示开垦促进了土壤有机碳损失, 降低了土壤 Fe 活性。不同土地利用类型土壤各层中络合 Fe 与土壤 TOC 相关性显著, 表明 TOC 是影响土壤 Fe 活化的重要因子。研究结果有助于深入了解土地利用状况变化对土壤 Fe 活性的影响, 进而为耕地的合理开垦提供一定的理论依据。

关键词:开垦; 别拉洪河流域; 土壤; Fe; 活化

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0089-04

Effects of Reclamation on Soil Iron Activity in Bielahong River Basin

ZHENG Tai-hui^{1,2}, CHI Guang-yu^{1,2}, SHI Yi¹, CHEN Xin¹

(1. Key Lab of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Research has been conducted to explore Fe^{2+} content, complex Fe in peat layer, surface soil layer and gley horizon of different land use types (marsh near the river shore, swamp near the farmland and farmland) and related physical and chemical properties of soil. Compared to the marsh near the river shore, the content of Fe^{2+} , and complex Fe decreased in the soil of swamp near the farmland and farmland. Those results indicated that reclamation accelerated the loss of soil organic carbon, and reduced the activation of soil Fe. The content of TOC was significant correlation with complex Fe in different soil layers of different land use types. It showed that TOC is one of important factors which effect the activation of soil Fe. The results indicated that the results contribute to a deeper understanding on the effects of land use change on soil Fe activity, and provide some rational theoretical basis for the reclamation of arable lands.

Keywords: reclamation; Bielahong river basin; soil; Fe; activity

Fe 是所有生物生长的必需元素之一^[1-2]。具体来说, Fe 是植物必需的微量元素, 在植物的生命活动, 如光合作用、呼吸作用、氮代谢中起着很重要的作用。土壤铁元素是一种形态变化对外界环境敏感的元素, 土壤中的有机质、含水量、酸碱度、氧化还原电

位等的变化都会影响其存在形态^[3-6]以及高价态和低价态的相互转化情况。土地利用类型的大规模改变, 使土壤中的有机质、含水量、酸碱度、氧化还原电位都会发生很大的变化, 从而影响土壤铁元素的迁移。在农业耕作对三江平原土壤理化性质的影响方面, 很多学者已经做了相当多的研究^[6-9], 但针对人类开垦活动对土壤 Fe 活性的研究鲜有报道。通过对三江平原别拉洪河周边不同土地利用类型(岸边沼泽、农田附近沼泽、农田)泥炭层、表土层和潜育层中

收稿日期: 2009-09-09

基金项目: 国际合作项目 (Amur-Okhotsk Project)

作者简介: 郑太辉 (1985—), 硕士研究生, 主要从事 Fe 对植物影响方面的研究。E-mail: ztaihui@163.com

通讯作者: 史 奕 E-mail: shiyi@iae.ac.cn

Fe^{2+} 、络合 Fe 及土壤相关理化指标进行分析,初步探讨了农业开垦活动对三江平原不同土地利用类型土壤 Fe 活性的影响,为耕地的合理开垦提供一定的理论依据。

1 研究区域简介与研究方法

1.1 研究区域简介

三江平原别拉洪河流域位于黑龙江省北部,位于在 $133^{\circ}20' \sim 135^{\circ}06'E$, $47^{\circ}30' \sim 48^{\circ}28'N$ 之间,行政区域包括同江和抚远两个县市,东与乌苏里江为邻,西濒松花江,北傍黑龙江与俄罗斯下列宁斯阔耶相对,为东北经济圈的三江腹地。研究区为地势平坦的冲积低平原,地貌以河漫滩为主,广泛发育着沼泽和沼泽化草甸。20 世纪 50 年代以前,研究区水草丰聚,沼泽遍布;在那以后,因经历了 3 次开荒高潮,大面积的湿地逐渐变为农田,湿地面积锐减,湿地景观破碎化严重^[10]。

1.2 样品采集

以三江平原别拉洪河流域为研究区域。根据现场踏勘,并结合区域和流域特征,沿河岸由近及远依次选择 3 个采样点,土壤利用类型分别为:岸边沼泽、农田附近沼泽、农田(旱田)。为方便起见,在下文中将用沼泽 1 代表岸边沼泽,沼泽 2 代表农田附近沼泽。在每个采样点,选择 3 个土壤剖面,每个剖面按照泥炭层、表土层、潜育层分层采集土壤样品。土样采集后密封保存运输,以防止土壤中 Fe^{2+} 在运输过程中被氧化。

1.3 研究方法

土样采集后,测定相关指标。酸溶性 Fe^{2+} 经盐酸浸提后采用分光光度法测定,TOC 含量用 TOC 仪直接测定,土壤络合 Fe 采用焦磷酸钠提取法测定^[11]。

1.4 数据分析

采用 SPSS13 和 Excel 进行数据处理,文中各图数值均表示为几次重复的平均值。

2 结果与讨论

2.1 TOC 随土壤深度的变化规律

从图 1 可以发现,沼泽 1 土壤泥炭层、表土层中 TOC 含量分别为 147.84 、 $36.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,远远高于潜育层中 TOC 含量。沼泽 2 土壤泥炭层、表土层中 TOC 含量分别是 160.00 、 $79.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,也远远高于潜育层中 TOC 含量 $32.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。不同土地利用类型土壤泥炭层中 TOC 含量分别为沼泽 1 的 147.84

$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,沼泽 2 的 $160 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,TOC 含量高低顺序为沼泽 2 > 沼泽 1;表层土中 TOC 含量分别为沼泽 1 的 $36.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,沼泽 2 的 $79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,农田的 $80.91 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,TOC 含量高低顺序为农田 > 沼泽 2 > 沼泽 1。

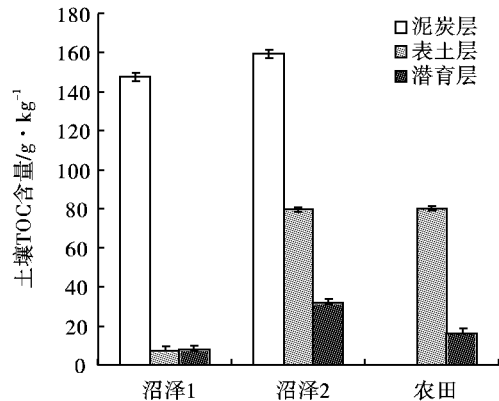


图 1 土壤 TOC 含量随深度的分布特征

Figure 1 Distribution characteristics of TOC content of soil with the depth

以上结果表明,三种类型土壤剖面内 TOC 含量都随土壤深度锐减。沼泽土壤中 TOC 含量主要分布于泥炭层和表土层,而在潜育层中分布较少;农田土壤中 TOC 含量则主要分布于表土层,潜育层中分布同样很少。这是因为潜育层土壤质地粘重、紧实、保水、透气性差,根系难以到达,各系的周转量急剧降低,腐殖质含量较少,有机质含量显著降低^[12]。

沼泽土壤泥炭层中 TOC 很高,而农田土壤表土层中 TOC 含量高于沼泽土壤表土层。这主要是因为沼泽土壤泥炭层中大量的地表枯落物是土壤有机碳的重要来源,而农田作物的根系主要分布于农田土壤表土层^[13]。

2.2 土壤中 Fe^{2+} 、络合 Fe 含量比较

从图 2 可知,沼泽 1 和沼泽 2 表土层和潜育层中酸溶性 Fe^{2+} 含量均要显著高于非经常处于淹水条件下的农田(旱田)。另外,沼泽 1 和沼泽 2 土壤泥炭层、表土层和潜育层酸溶性 Fe^{2+} 含量高低顺序均为沼泽 1 > 沼泽 2,这可能是由沼泽 1 和沼泽 2 长期淹水条件以及泥炭层酸溶性 Fe^{2+} 的向下淋溶作用共同影响的结果。大量的研究表明^[6, 14-18],在淹水状态下,由于氧的供给被切断,土壤中原有的氧因微生物呼吸而很快被消耗殆尽,致使土壤从氧化状态转变为还原状态,土壤的氧化还原电位(E_h)值下降。而土壤 E_h 的大小与土壤中氧化还原物质的转化程度密切相关,是土壤 Fe 还原最主要的调控因素。土壤中高价位的

Mn^{4+} 、 Fe^{3+} 等离子作为电子受体而被还原为低价位的 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 等物质。这些研究结果表明,在淹水条件下,土壤 Fe^{2+} 含量应该有一定程度地提高。赵红艳等^[19]选择长白山地区典型的泥炭剖面——大桥剖面作为研究对象,探讨其沉积物常量元素和微量元素的垂直分布规律,结果证实,土壤泥炭层由于长期处于淹水还原状况而活性增强,易向土壤下层淋溶和迁移。于君宝等^[20]发现 Fe 、 Mn 等微量营养元素均有在潜育层急剧积累的趋势,并且认为其主要原因是泥炭地长期处于渍水状态,沼泽湿地的有机物分解产生还原性物质,在这种还原环境中 Fe 、 Mn 等元素的活性增强,发生向下的淋失和迁移在潜育层淀积。这些研究结果为我们的推测提供了有利的证据。

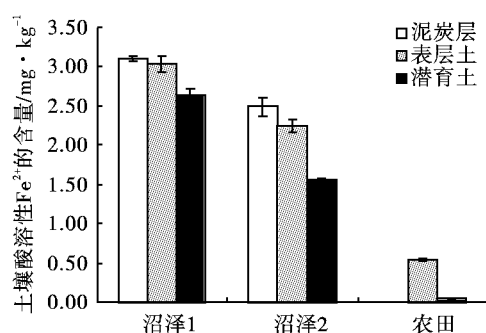


图2 不同土地利用类型土壤中酸溶性 Fe^{2+} 的含量

Figure 2 The content of acid-soluble Fe^{2+} in soil of different land use types

从图3可以看出,沼泽1和沼泽2土壤中泥炭层络合 Fe 含量都比较高。主要原因是相比较于农田的干旱条件,沼泽1和沼泽2长期处于渍水条件下,而渍水条件下土壤中的还原作用是氧化 Fe 活化的主要途径之一^[21-23]。土壤渍水后,发生一系列的氧化还原反应,其中最重要的就是氧化 Fe 的还原作用,从而

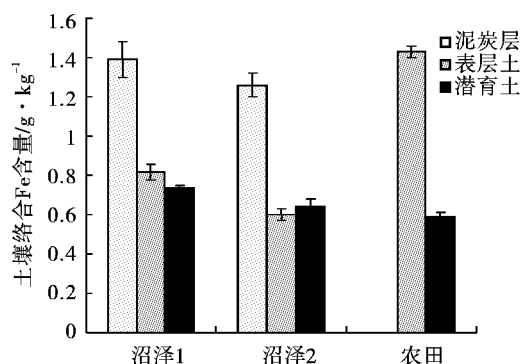


图3 不同土地利用类型土壤中络合 Fe 含量

Figure 3 The content of complex Fe in soil of different land use types

使土壤中水溶性 Fe^{2+} 大量增加,再加上沼泽土壤泥炭层中含有大量的有机质,产生的还原态 Fe 进而与土壤有机质形成络合 Fe 。另外,我们注意到,农田表土层中络合 Fe 的含量要高于沼泽表层土中络合 Fe 的含量,这是因为农田表土层中有机质的含量要高于沼泽表土层中有机质的含量,而土壤络合 Fe 含量与土壤有机质含量呈正相关关系^[24]。

综上所述,三江平原别拉洪河流域沼泽土壤中 Fe 的活性主要受土壤泥炭层的 Fe 向下淋溶作用以及长期淹水条件的影响。

2.3 土壤中 TOC 含量与 Fe^{2+} 、络合 Fe 的关系分析

从表1可以看出,三江平原别拉洪河流域土壤表土层和潜育层中络合 Fe 含量与 TOC 含量呈现显著相关性($P < 0.01$),而 Fe^{2+} 虽然与 TOC 相关性不显著,但存在相关的趋势。这是因为沼泽土壤泥炭层和农田表土层中含有大量的有机质,土壤微生物在降解这些有机质的过程中,将会释放出电子和还原性物质进入周围土壤,同时有机质的氧化代谢消耗氧而产生 H_2O 和 CO_2 ^[25-26],从而使周围土壤含水量增加,氧气难以进入,形成部分厌氧性条件,进而降低氧化还原电位,明显地提高土壤 Fe^{2+} 含量。另外,有机质与土壤 Fe 通过以下过程进行络合形成可溶性 Fe :

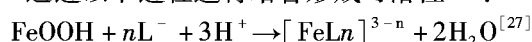


表1 土壤 Fe^{2+} 、络合 Fe 和 TOC 相关分析

Table 1 Correlation between Fe^{2+} , complex Fe and TOC in the soil

	土壤 Fe^{2+}	络合 Fe	TOC
土壤 Fe^{2+}	1		
络合 Fe	0.144	1	
TOC	0.277	0.729**	1

注:** $P < 0.01$ 水平上显著。

3 结论

(1)三江平原别拉洪河流域沼泽土壤表土层和潜育层中 Fe^{2+} 含量主要受土壤泥炭层的 Fe 向下淋溶作用以及长期淹水条件的影响。农业开垦活动破坏了农田土壤泥炭层结构,而土壤泥炭层结构的破坏将严重影响土壤表土层和潜育层 Fe^{2+} 含量。

(2)土壤表土层和潜育层中络合 Fe 含量与 TOC 含量呈现显著相关性($P < 0.01$),而 Fe^{2+} 虽然与 TOC 相关性不显著,但相关的趋势是存在的。土壤有机质含量是影响土壤 Fe^{2+} 和土壤络合 Fe 的重要因素,农业开垦活动对土壤 TOC 含量以及分布的影响将间接

影响土壤 Fe^{2+} 和土壤络合 Fe 的含量及其在土壤各层中的分布。

(3) 日益频繁的人类农业活动极大地改变了三江平原土壤的自然理化性质,土壤的微量元素如 Fe 含量发生了较大的变化。人类活动改变了土壤中 Fe 等微量元素的迁移和淋溶能力,降低了土壤 Fe 活性。

参考文献:

- [1] Cullen J J. Oceanography - Iron, nitrogen and phosphorus in the ocean[J]. *Nature*, 1999, 402(6760): 372.
- [2] Tyrrell T. Oceanography - Iron, nitrogen and phosphorus in the ocean - Reply[J]. *Nature*, 1999, 402(6760): 372.
- [3] Rodriguez - Murillo J C. Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 33(1): 53 - 61.
- [4] Mann L K. Changes in soil carbon storage after cultivation[J]. *Soil Science*, 1986, 142(5): 279 - 288.
- [5] Campbell C A, Bowren K E, Schnitzer M, et al. Effect of crop rotations and fertilization on soil organic - matter and some biochemical - properties of a thick black chernozem[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1991, 71(3): 377 - 387.
- [6] 张兆伟, 迟光宇, 赵天宏, 等. 三江平原白浆土不同土地利用类型 Fe^{2+} 分布特征[J]. *生态环境*, 2008, 17(2): 718 - 721.
ZHANG Zhao - wei, CHI Guang - Yu, ZHAO Tian - hong, et al. Fe^{2+} distribution characteristics of different land use types of albic soil in Sanjiang Plain[J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(2): 718 - 721.
- [7] 杨继松, 于君宝, 刘景双, 等. 自然沼泽湿地开垦前后土壤中微量元素含量的变化[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2004, 21(3): 274 - 279.
YANG Ji - song, YU Jun - bao, LIU Jing - shuang, et al. Changes of trace elements contents in natural wetland and tillage soils[J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Science*, 2004, 21(3), 274 - 279.
- [8] 刘兴土, 马学慧. 三江平原大面积开荒对自然环境影响及区域生态环境保护[J]. *地理科学* 2000, 20(1): 14 - 19.
LIU Xing - tu, MA Xue - hui. Influence of large - scale reclamation on natural environment and regional environmental protection in the Sanjiang Plain[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2000, 20(1): 14 - 19.
- [9] 胡金明, 刘兴土. 三江平原土壤质量变化评价与分析[J]. *地理科学*, 1999, 19(5): 417 - 421.
HU Jin - ming, LIU Xing - tu. Evaluation and analysis on soil quality changes in the Sanjiang Plain[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 19(5): 417 - 421.
- [10] 陈 铭, 张 柏, 王宗明, 等. 三江平原别拉洪河流域湿地农田化过程研究[J]. *湿地科学*, 2007, 5(1): 69 - 75.
CHEN Ming, ZHANG Bo, WANG Zong - ming, et al. Process of wetland reclamation in the Bielahong River basin of the Sanjiang Plain[J]. *Wetland Science*, 2007, 5(1): 69 - 75.
- [11] 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.
LU Ru - kun. Methods of soil agricultural chemical analysis[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [12] 刘景双, 杨继松, 于君宝, 等. 三江平原沼泽湿地土壤有机碳的垂直分布特征研究[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(3): 5 - 8.
LIU Jing - shuang, YANG Ji - song, YU Jun - bao, et al. Study on vertical distributon of soil organic carbon in wetlands Sanjiang Plain[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2003, 17(3): 5 - 8.
- [13] Anderson D W, Coleman D C. The dynamics of organic - matter in grassland soils[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1985, 40(2): 211 - 216.
- [14] 唐罗忠, 生原喜久雄, 户田浩人, 等. 湿地林土壤的 Fe^{2+} 、Eh 及 pH 值的变化[J]. *生态学报*, 2005, 25(1): 103 - 107.
TANG Luo - zhong, HAIBARA Kikuo, TODA Hiroto, et al. Dynamics of ferrous iron, redox potential and pH of forested wetland soils[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 103 - 107.
- [15] FN P. The chemistry of submerged soils [J]. *Advan Agron*, 1972(24): 29 - 96.
- [16] Reynolds J G, Naylor D V, Fendorf S E. Arsenic sorption in phosphate - amended soils during flooding and subsequent aeration[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63(5): 1149 - 1156.
- [17] Hseu Z Y, Chen Z S. Saturation, reduction, and redox morphology of seasonally flooded alfisols in Taiwan[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60(3): 941 - 949.
- [18] 苏 玲, 林咸永, 章永松, 等. 水稻土淹水过程中不同土层铁形态的变化及对磷吸附解吸特性的影响[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2001, 27(2): 124 - 128.
SU Ling, LIN Xian - yong, ZHANG Yong - song, et al. Effects of flooding on iron transformation and phosphorus adsorption desorption properties in different layers of the paddy soils[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural University(Agric. & Life Sci.)*, 1996, 60(3): 941 - 949.
- [19] 赵红艳, 王升忠, 李鸿凯. 长白山地区全新世泥炭剖面地球化学特征及其古环境意义[J]. *古地理学报*, 2004, 6(3): 355 - 362.
ZHAO Hong - yan, WANG Sheng - zhong, LI Hong - kai. Geochemistry of the Holocene peatland in Changbaishan Mountains and its implication for paleoenvironmental change[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(3): 355 - 362.
- [20] 于君宝, 王金达, 刘景双. 三江平原泥炭地微量元素垂直分布特征[J]. *生态环境*, 2003, 12(4): 398 - 400.
YU Jun - bao, WANG Jin - da, LIU Jing - shuang. Vertical distribution of trace elements in peat sediments of Sanjiang Plain[J]. *Ecology and Environment*, 2003, 12(4): 398 - 400.
- [21] Patrick W H, Henderson R E. Reduction and reoxidation cycles of manganese and iron in flooded soil and in water solution[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1981, 45(5): 855 - 859.
- [22] Gotoh S, Patrick W H. Transformation of iron in a waterlogged soil as influenced by redox potential and pH[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48(1): 66 - 71.
- [23] Armstrong W, Beckett P M. Internal aeration and the development of stelar anoxia in submerged roots - a multishelled mathematical - model combining axial diffusion of oxygen in the cortex with radial losses to the stele, the wall layers and the rhizosphere[J]. *New Phytologist*, 1987, 105(2): 221 - 245.
- [24] 徐德福, 黎成厚. 氧化铁和有机质对土壤有机无机复合状况的影响[J]. *山地农业生物学报*, 2002, 21(6): 397 - 333.
XU De - fu, LI Cheng - hou. Studies on the effect of iron oxide and OM on organo - mineral complexes in soils [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2002, 21(6): 397 - 333.
- [25] Komlos J, Peacock A, Kukkadapu R K, et al. Long - term dynamics of uranium reduction/reoxidation under low sulfate conditions [J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 2008, 72(15): 3603 - 3615.
- [26] Hyacinthe C, Bonneville S, Van Cappellen P. Reactive iron(III) in sediments; Chemical versus microbial extractions[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, 70(16): 4166 - 4180.
- [27] Lindsay W L. Iron - oxide solubilization by organic - matter and its effect on iron availability[J]. *Plant and Soil*, 1991, 130(1 - 2): 27 - 34.