

三江平原湿地沉积物有机碳与水分的关系

童成立¹, 张文菊¹, 王洪庆², 唐国勇¹, 杨钙仁³, 吴金水¹

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态重点实验室, 长沙 410125; 2. 美国佛罗里达农工大学环境科学研究所, 塔拉哈西 佛罗里达 32307; 3. 广西大学林学院, 南宁 530004)

摘要: 研究了三江平原开垦湿地和 3 类典型天然湿地(泥炭沼泽、腐殖质沼泽和沼泽化草甸)沉积物剖面有机碳和水分含量特征, 分析了湿地沉积物有机碳和水分含量的关系。结果表明: 4 类湿地沉积物储碳层厚度、剖面有机碳和水分含量存在明显的差异。其同一类型湿地沉积物剖面有机碳与水分含量之间为极显著($p < 0.01$)相关关系。通过探讨湿地沉积物有机碳和水分的关系, 阐明了湿地生态环境功能的演变趋势。研究结果进一步说明了加强湿地的保护和湿地恢复, 可以缓解由大气 CO_2 浓度升高所引起的全球气候变化。

关键词: 有机碳; 水分; 沉积物; 湿地

中图分类号: X171.1; S153.6 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)06-0038-05

Relationship Between Organic Carbon and Water Content in Four Type Wetland Sediments in Sanjiang Plain

TONG Cheng-li¹, ZHANG Wen-ju¹, WANG Hong-qing², TANG Guo-yong¹, YANG Gai-ren³,
WU Jin-shui¹

(1. The Key Laboratory of Subtropical Agroecology, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. The Environmental Sciences Institute, Florida A & M University, Tallahassee Florida, 32307, USA; 3. Forestry College of Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Characteristic and relationship were analyzed between organic carbon and water content in four types of wetlands (one cultivated wetland and three typical natural wetlands including fen, marsh and marshy meadow) in Sanjiang Plain of Northeastern China. Results show that there are distinct differences in the depths of organic carbon deposition, the organic carbon and water content in sediment profiles of these four type wetlands. There are significant positive correlations between organic carbon and water content in sediment profiles of the same type wetland ($p < 0.01$; $R^2 = 0.8276, 0.9917, 0.9916$ and 0.9782 for cultivated wetland, fen, marsh and marshy meadow, respectively). The trend for evolution of ecological and environmental functions of wetland ecosystems is discussed based on the analysis of the relationship between soil organic carbon and water content. The results further illustrate the viewpoint that the protection and restoration of wetlands could lessen the global climate change caused by the increase in atmospheric CO_2 concentration.

Key words: organic carbon; water content; sediment; wetland

天然湿地尽管占全球陆地面积不大(4% ~ 5%), 但其有机碳储量非常丰富, 估计全球湿地的有机碳大约为 $450 \times 10^9 \text{ t}$, 占地球陆地 1 m 土层碳总储量的 $1/3$ ^[1, 2], 相当于大气 CO_2 总量的 40%^[3]。湿地碳库对于稳定和维持气候起到重要的作用^[4]。但由于全球变化和人类干预活动的不断增强, 全球湿地面积迅速减少, 导致大量湿地储存的碳释放到大气中^[2, 5, 6], 对全球碳平衡造成了一定的影响^[1]。不同生态系统有机碳库的变化主要依赖于其有机碳积累和分解速率^[7]。水分是影响土壤有机质分解转化和积累的主要环境因子之一^[8~10], 调节着土壤微生物过程和包括营养元素循环的生态交互作用^[11]。而土壤有机质通过改变土壤结构、胶体状况等理化性质的方式来调控水分的运移和存在状态, 影响土壤的

水分含量^[12, 13]。因此土壤有机质和水分之间存在极为密切的相互作用关系。

三江平原位于黑龙江省的东北部, 是我国主要的湿地集中分布区之一。本文通过对三江平原开垦湿地和典型天然湿地沉积物有机碳和水分含量的研究, 分析湿地沉积物有机碳和水分之间的关系, 探讨不同类型湿地的演替与碳储量的关系, 以及湿地沉积物碳储量的变化对全球气候变化的响应, 为合理开发和管理湿地提供科学依据。

收稿日期: 2005-02-21; 修订日期: 2005-04-18

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412503); 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01-14); 国家自然科学基金重点项目(40235057)

作者简介: 童成立(1964~), 男, 副研究员, 主要从事系统分析与生态系统模拟研究, E-mail: tong@isa.ac.cn

1 研究方法

分别于 2002-03 和 2003-04(冻结期内) 在三江平原腹地 湿地集中分布的别拉洪河、挠力河、浓江河漫滩以及阶地, 分别采集了 5 个沼泽化草甸、5 个腐殖质沼泽、6 个泥炭沼泽和 2 个开垦湿地(水田) 共计 18 个沉积物剖面。每个剖面 100 ~ 200 cm 深, 按 5 cm 厚度分层自下而上进行采样。样品置于塑料袋中密封保存, 解冻后, 用手选法挑去活体根系, 混匀, 分取部分新鲜样测定其水分含量, 部分样烘干(60℃) 、磨碎, 过 100 目筛, 于广口瓶中保存备用。

沉积物中有机碳含量采用元素分析仪测定(Vario MAX CN, Elementar, 德国) 。水分含量采用烘干法测定(105℃烘干) 。有关详细的取样、分析、测定方法见张文菊等^[8,14]。水分含量(g/kg) 以湿地沉积物基质干重计。

数据分析采用 SPSS11.0 和 Excel 处理。

2 结果与分析

2.1 不同类型湿地沉积物剖面有机碳的变化

张文菊等^[14]分析了三江平原 3 类典型湿地(沼泽化草甸、腐殖质沼泽和泥炭沼泽) 沉积物剖面有机碳的特征, 认为三江平原典型湿地有机碳分布具有明显的储碳层和淀积层, 剖面上部为有机碳含量较高、变化幅度大的储碳层, 下部为有机碳含量低(< 10g/kg) 且变化幅度小的淀积层。本文将以 10g/kg 有机碳作为划分湿地沉积物储碳层和淀积层的标准。按此标准, 泥炭沼泽、腐殖质沼泽、沼泽化草甸和开垦湿地储碳层的平均厚度分别为 122、64、35 和 25cm, 但同一类型湿地剖面之间储碳层厚度存在一定的差异(表 1) 。

表 1 不同湿地类型储碳层厚度

Table 1 Depth of organic carbon depositing horizon in wetlands			
湿地类型	样点数	储碳层厚度/cm	S.D./cm
泥炭沼泽	6	122	35.7
腐殖质沼泽	5	64	28.4
沼泽化草甸	5	35	14.1
开垦湿地(水田)	2	25	

三江平原 4 类湿地沉积物剖面中, 有机碳含量存在一定的差异(图 1) 。泥炭沼泽沉积物有机碳含量高, 沉积物剖面上层(0 ~ 50cm) 有机碳含量最高

达 400g/kg, 储碳层厚。在泥炭沼泽沉积物剖面上部, 存在一个大约 50 cm 的有机碳含量随深度增加而逐渐增加的层次, 这是由于新近投入的植物残体分解程度低, 有机碳含量较其下部分解程度高的泥炭低。腐殖质沼泽沉积物剖面同一层次有机碳含量低于泥炭沼泽, 上层(0 ~ 30cm) 有机碳含量最高为 270g/kg, 储碳层厚度约为泥炭沼泽的一半。沼泽化草甸沉积物剖面有机碳含量相对较低, 沉积物上层仅为 60g/kg 左右, 且储碳层较薄。开垦湿地有机碳含量最低, 表层有机碳含量最大值为 36g/kg。4 类湿地剖面淀积层中, 有机碳含量极低且相对稳定。储碳层内平均有机碳含量由大到小的变化趋势依次为泥炭沼泽→腐殖质沼泽→沼泽化草甸→开垦湿地, 这与储碳层厚度大小顺序一致。

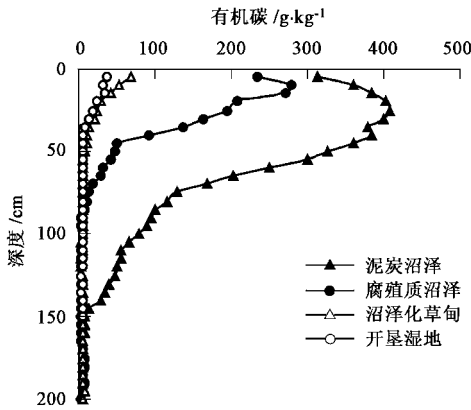


图 1 三江平原湿地沉积物剖面有机碳含量变化

Fig.1 Changes of organic carbon in sediment profiles of wetlands

2.2 不同类型湿地沉积物剖面水分含量的变化

4 类湿地沉积物剖面中同一层次沉积物的水分含量具有明显差异, 且与有机碳含量的变化趋势基本一致(图 2) 。储碳层内沉积物水分含量随深度急剧降低, 淀积层内水分含量相对稳定。泥炭沼泽表层沉积物水分含量高达 7 322g/kg。随深度的加深, 水分含量急剧降低, 至淀积层时水分含量基本稳定在 320g/kg 左右。腐殖质沼泽水分含量次之, 表层最大为 5 384g/kg, 至淀积层时水分含量降至 240g/kg。除 0 ~ 5 cm 外, 开垦湿地水分含量与沼泽化草甸差异不明显, 但均显著低于其他 2 类天然湿地。腐殖质沼泽、沼泽化草甸和开垦湿地淀积层水分含量基本相当, 约 240g/kg, 低于泥炭沼泽淀积层水分含量, 这说明湿地沉积物的持水能力不仅受其有机碳含量的影响, 还可能与沉积物的母质和土壤质地有关。

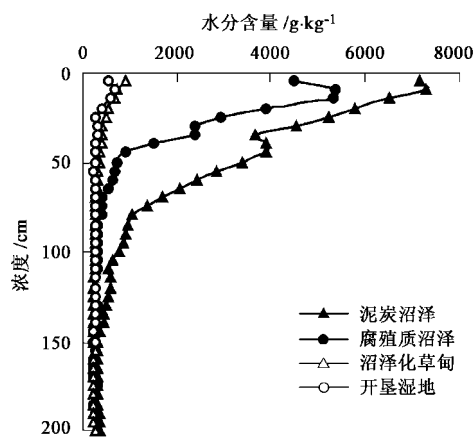


图 2 不同类型湿地沉积物剖面水分含量变化

Fig. 2 Changes of water contents in sediment profiles of wetlands

2.3 湿地沉积物有机碳与水分含量的关系

4 类湿地沉积物剖面中,由于淀积层的有机碳和水分含量基本上处于相对稳定的状态,因此,仅对每类湿地储碳层不同层次的有机碳含量与水分含量进行相关分析(图 3)。结果表明,同一类型湿地的有机碳和水分含量之间均存在极显著($p < 0.01$)相关关系。不同湿地沉积物中,其有机碳含量

的变化对水分变化的响应存在一定差异。其中泥炭沼泽和腐殖质沼泽沉积物有机碳与其含水量之间呈现二次曲线相关($p < 0.01$),有机碳含量随着沉积物含水量增加而增加的幅度逐渐减小,泥炭沼泽沉积物有机碳含量在水分含量达到约 5 400 g/kg 时,随着含水量的增加,沉积物有机碳逐渐下降,这种情况存在于沉积物剖面的表层。储碳层内沉积物含水量沿着剖面底层向上,逐渐增加(图 2),在剖面表层,如前所述,由于新近投入的植物残体分解程度和有机碳含量较其下部分解程度高的泥炭低,而对于常年积水的整个剖面上层而言,沉积物处于水分过饱和的悬浮状态,其有机碳含量对冲刷效应的响应较为明显^[15]。下部沉积物由于比重较大以及重力作用而被自然压实,水分含量较表层疏松的植物残体低。沼泽化草甸和开垦湿地沉积物有机碳与其含水量之间呈极显著的正相关关系($p < 0.01$)。2 类湿地有机碳含量对水分变化的响应呈直线关系。以上结果说明水分条件的改变,特别是湿地积水环境的减弱、排水疏干等干扰措施会显著地影响其有机碳的积累,进而可能对湿地生态系统乃至全球的碳循环产生重要影响。

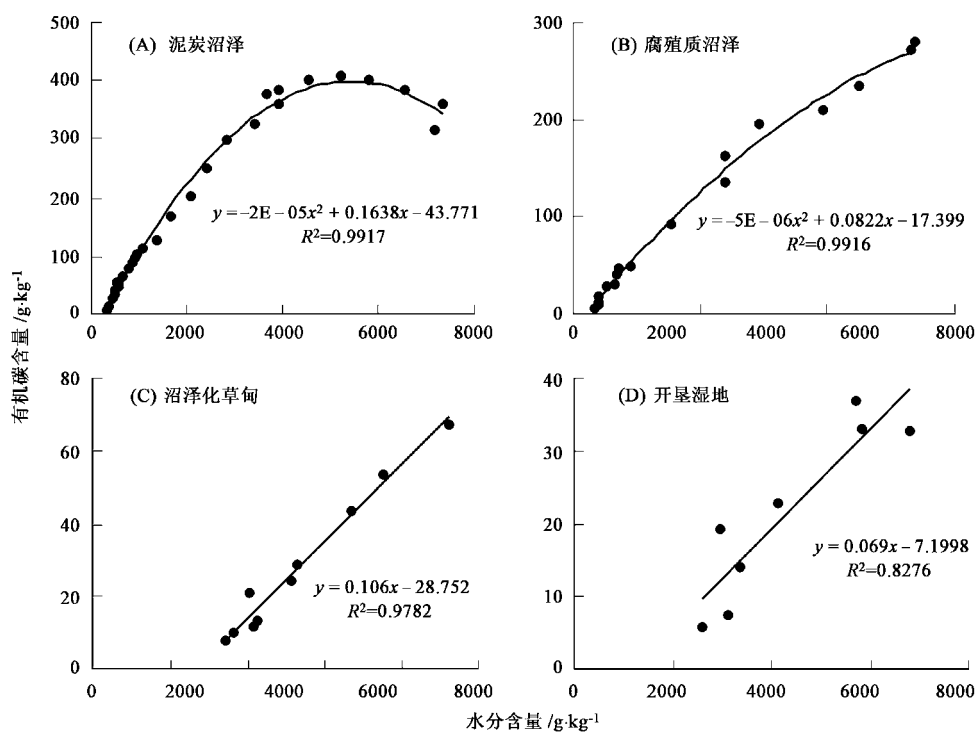


图 3 同一类型湿地沉积物剖面有机碳含量与水分含量的关系

Fig. 3 Relationship between organic carbon and water in sediment profiles for the same type of wetlands

3 讨论

湿地沉积物水分含量的变化对湿地类型的演替和湿地有机碳储量具有一定的影响.彭格林等^[16]分析了泥炭沼泽化类型与控制因素,认为泥炭沼泽化类型及其演变的直接原因是水文条件,特别是地下水位的变化和稳定程度. Minkkinen 和 Laine^[13]研究了芬兰从南到北 5 个气候区和 3 种营养水平的 273 个泥炭点的泥炭厚度,发现排水 60a 后泥炭表面平均下沉了 22cm.根据几种湿地类型有机碳和水分含量结果来看,排水改变了湿地的水文条件,从而对湿地的湿地发育和有机碳的积累产生了重要影响,排水可能导致湿地发育的停止或退化.

从对湿地沉积物有机碳和水分的关系来看,泥炭沼泽和腐殖质沼泽沉积物有机碳含量对水分变化响应敏感,沼泽化草甸和开垦湿地沉积物有机碳对其水分含量变化的敏感性较弱.这与张文菊等^[8]在

室内培养条件下的研究结果一致.这一方面是由于各类湿地生态系统的水文条件不一,泥炭沼泽和腐殖质沼泽常年积水,沉积物水分常处于过饱和状况,通气孔隙体积少,有机碳的分解转化受到水分的限制,水分的微小变化将对沉积物的分解转化微环境产生显著影响,致使泥炭沼泽和腐殖质沼泽沉积物中有机碳的含量受水分含量变化的影响强烈;沼泽化草甸和开垦湿地为季节性积水,常出现干湿交替的现象,与人工湿地稻田土壤的水分状况相似,而干湿交替时期植物残体的分解常数比连续渍水或干旱的条件下大得多^[17],从而水分含量的改变对有机碳分解转化的影响强度较弱.另一方面是由于各类湿地生态系统植物类型、净初级生产力的差异以及人为活动对立枯物的干扰,使得不同类型湿地有机物的输入量和输入有机物的种类和性质存在一定差异,这也是影响不同类型湿地沉积物有机碳和水分的重要因素.

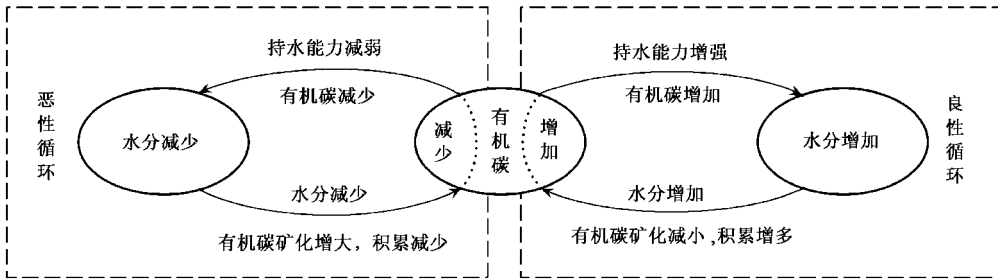


图 4 湿地生态系统沉积物有机碳与水分变化的关系

Fig. 4 Relation of organic carbon to water contents in sediments of wetland ecosystems

湿地沉积物中,有机碳含量对沉积物水分含量、容重和孔隙度有很重要的影响^[7,12].从湿地沉积物剖面有机碳与水分之间的相互作用来看,水分含量的增加有利于有机碳的积累,而有机碳的增加又会增强湿地沉积物的持水能力,湿地的生态环境功能向良性循环方向发展;反之,湿地沉积物水分含量减少将显著影响湿地有机碳的分解转化,加快有机碳的矿化,降低湿地有机碳的积累,从而减弱湿地沉积物的持水能力,造成湿地的生态环境功能的恶化(图 4).由此可见,加强湿地环境的保护和恢复,不仅有利于维持湿地的生态环境和其独特的生态功能,增强其巨大的“碳汇”功能,而且有利于水分对已积累湿地有机碳分解转化的抑制作用,减缓大气 CO₂ 浓度升高所引起的全球气候变暖趋势.

4 结论

(1) 三江平原 4 类湿地沉积物剖面存在明显的储碳层和淀积层.储碳层内有机碳含量高,且随深度变化较大;淀积层有机碳含量低而稳定.

(2) 湿地沉积物有机碳与水分含量存在有明显的相关性.同一类型湿地沉积物有机碳与水分含量之间为极显著相关关系.泥炭沼泽和腐殖质沼泽沉积物有机碳与水分之间具有极显著的二次曲线相关关系($p < 0.01$);沼泽化草甸和开垦湿地有机碳与水分之间呈现极显著的直线正相关关系($p < 0.01$).

(3) 加强湿地保护和恢复将有利于强化湿地生态环境功能,增加湿地“碳汇”能力,对由大气 CO₂

浓度升高所引起全球气候变暖可以起到一定的减缓作用.

参考文献:

- [1] Gorham E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming [J]. Ecological Applications, 1991, 1: 182 ~ 195.
- [2] Roulet N T. Peatlands, carbon storage, greenhouse gases, and the Kyoto protocol: prospects and significance for Canada [J]. Wetlands, 2000, 20: 605 ~ 615.
- [3] Eswaran H, Van der Berg E, Reich P. Organic carbon in soils of world [J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 1993, 57: 192 ~ 194.
- [4] Mitsch W J, Wu X. Wetland and global change [A]. In: Lal R, John Kimble E, Levine B A (eds). Advances in Soil Science, Soil Management and Greenhouse Effect [C]. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. 205 ~ 230.
- [5] 吕宪国,何岩,杨青. 湿地碳循环及其在全球变化中的意义 [A]. 见:陈宜瑜主编. 中国湿地研究[C]. 长春: 吉林科学技术出版社. 1995. 68 ~ 72.
- [6] Houghton R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use (1850 ~ 1990) [J]. Tellus B, 1999, 51(2): 298 ~ 313.
- [7] Avnimelech Y, Gad R, Leon E M, et al. Water content, organic carbon and dry bulk density in flooded sediments [J]. Aquacultural engineering, 2001, 25(1): 25 ~ 33.
- [8] 张文菊,童成立,杨钙仁,等. 水分对湿地沉积物有机碳矿化的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(2): 249 ~ 253.
- [9] Thomsen I K, Schjonning P, Jensen B, et al. Turnover of organic matter in differently textured soils II. Microbial activity as influenced by soil water regimes [J]. Geoderma, 1999, 89: 199 ~ 218.
- [10] Frolking S, Roulet N T, Moore T M, et al. Modeling northern peatland decomposition and peat accumulation [J]. Ecosystems, 2001, 4: 479 ~ 498.
- [11] Amador J A, Görres J H, Savin M C. Role of soil water content in the carbon and nitrogen dynamics of *Lumbricus terrestris* L. burrow soil [J]. Applied Soil Ecology, 2005, 28: 15 ~ 22.
- [12] 单秀枝,魏由庆,严慧峻,等. 土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(1): 1 ~ 9.
- [13] Minkinen K, Laine J. Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1998, 28: 1267 ~ 1275.
- [14] 张文菊,吴金水,肖和艾,等. 三江平原典型湿地剖面有机碳分布特征与积累现状[J]. 地球科学进展, 2004, 19(4): 558 ~ 563.
- [15] 高全洲,沈承德,孙彦敏,等. 北江流域有机碳侵蚀通量的初步研究[J]. 环境科学, 2001, 22(2): 12 ~ 18.
- [16] 彭格林,刘光华,伍大茂,等. 泥炭沼泽化类型、控制因素及聚炭水文模式[J]. 地学前缘, 1999, 6(增刊): 125 ~ 132.
- [17] Brinson M M, Lugo A E, Brown S. Primary productivity, decomposition and consumer activity in freshwater wetland [J]. Annual Review Ecological System, 1981, 12: 123 ~ 161.