

围湖造田不同土地利用方式土壤有机碳和易氧化碳

王莹¹, 阮宏华^{1*}, 黄亮亮¹, 冯育青², 齐艳³

1. 江苏省林业生态工程重点实验室//南京林业大学湿地生态研究中心, 江苏 南京 210037;

2. 苏州市湿地保护与管理站, 江苏 苏州 215128; 3. 吴江市农林局, 江苏 吴江 215200

摘要: 围湖造田是我国 20 世纪 50 年代后期开始大量出现的与水争地的人类干扰活动。以太湖流域肖甸湖区为试验地, 测定分析了该围湖造田区香樟(*Cinnamomum camphora*)林、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)林、毛竹(*Phyllostachys heterocycla*)林和农田 4 种不同典型土地利用方式 35 年后 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 土壤有机碳和易氧化碳含量的差异, 以及土壤易氧化碳的季节动态。结果表明: 表层(0~10 cm)土壤有机碳含量林地显著高于农田, 阔叶林高于针叶林。土壤易氧化碳含量随季节与土层深度的变化而变化, 香樟林与毛竹林春夏季节大于冬季, 水杉林与农田季节波动较平缓。4 种土地利用方式下土壤有机碳和易氧化碳均随土层增加含量递减。与围湖地区内的溪流底泥相比, 林地与农田表层土壤有机碳含量均有明显增加; 与旱地发育的植被土壤相比, 围湖后的土壤有机碳含量较低, 易氧化碳含量较高, 土壤有机碳稳定性较差。围湖造田作为人类对自然生态系统的一种干扰方式, 显著改变了原有生态系统的碳循环特征, 因此在研究全球碳循环中, 围湖造田对生态系统碳循环的影响应该给予充分考虑。

关键词: 围湖造田; 土地利用方式; 土壤有机碳; 土壤易氧化碳; 季节动态

中图分类号: S154.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0913-06

碳循环研究受到生态学者的普遍关注, 成为当前全球变化研究的三大热点之一。在过去的几百年中, 人类干扰活动引起地球自然生态系统发生了巨大改变, 尤其是对全球碳循环产生了很大影响, 如化石燃料的燃烧、森林的大面积砍伐、土地利用方式的改变等。我国是传统的农业大国, 围湖造田是比较常见的一种人类干扰方式。通过围湖来增加土地, 一方面促进了经济发展和社会进步, 但另一方面大大缩减了湖泊面积, 改变了湖泊的自然演变和生态过程; 据统计, 全国被开垦的湖泊至少有 $1.4 \times 10^6 \text{ hm}^2$ [1]。在湖泊生态系统被人为转变为陆地森林生态系统或农田生态系统后, 其碳循环发生了怎样的变化, 进而对区域乃至全球气候变化产生了怎样的影响? 目前尚未得到足够的关注。

土壤碳库是地球表层最大的有机碳库, 贮存了大约 2 000 Pg 有机碳 [2], 在全球碳循环中起着关键作用。Blair 等 [3] 研究发现, 能被 $333 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KMnO_4 溶液氧化的土壤有机质在种植作物时变化最大, 因此将能被 $333 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KMnO_4 溶液氧化的有机碳称作易氧化碳。已有的研究结果证明, 易氧化碳可以作为土壤碳库短期变化的指示因子 [4-6]。本文以太湖流域肖甸湖区为代表, 研究了肖甸湖区围湖造田后, 香樟 (*Cinnamomum camphora*) 林、水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*) 林、毛竹

(*Phyllostachys heterocycla*) 林、农田这 4 种太湖流域不同土地利用方式对 0~40 cm 土层土壤有机碳和易氧化碳的影响, 以及各土地利用方式下土壤易氧化碳的垂直分布特征与季节动态, 为进一步认识和理解围湖活动对碳循环的影响提供理论基础。

1 研究地区和研究方法

1.1 研究地区概况

肖甸湖区位于吴江市同里镇东北部, 东经 $120^\circ 48' \text{ E}$, 北纬 $31^\circ 10' \text{ N}$, 属北亚热带季风气候, 年平均气温 16° C 左右, 年平均相对湿度 78%, 年降雨量 1 000 mm 左右。其地处太湖流域平原地区, 原是一片浅水湖泊, 20 世纪 60 年代初动工进行围湖造田, 于 1969 年启动植树造林, 经过 30 多年的栽培管理, 已形成了以香樟、水杉、毛竹为主林的成片林地约 133 hm^2 , 同时当地居民拥有农田约有 7 hm^2 , 以水稻—油菜轮作制度为主要经营方式。试验区地形平坦, 土壤母质来源比较均一。有小型溪流分布于试验区内。试验地基本概况如下:

(1) 香樟林, 1976—1982 年种植的人工纯林, 密度约为 $2900 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均胸径为 12.3 cm, 平均树高为 9 m, 郁闭度约为 0.90。

(2) 水杉林, 25 a 树龄, 林木密度约为 $1600 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均胸径为 20.6 cm, 平均树高为 19 m, 郁闭度约为 0.60; 林下植被较丰富, 主要有美洲商

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30670313); 林业公益项目 (200804006; 200704005/wb02)

作者简介: 王莹 (1981 年生), 女, 博士研究生, 研究方向为生态系统生态学。E-mail: yingwang1020@hotmail.com

*通讯作者: 阮宏华, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事森林生态学与土壤生态学方面的研究。E-mail: hhruan@njfu.edu.cn

收稿日期: 2010-03-02

陆 (*Phytolacca americana*)、野蔷薇 (*Rosa multiflora*)、构树 (*Broussonetia papyrifera*)、蕨类植物等, 盖度约为 0.85。

(3) 毛竹林, 1974 年种植, 采取粗放经营模式, 有人工砍伐及春季挖笋, 密度约为 $4\,700\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$, 平均胸径为 11.8 cm, 平均树高为 18 m, 郁闭度约为 0.85;

(4) 农田, 水稻与油菜轮作, 秋季水稻收割后进行秸秆还田, 平均尿素施用量为 $1\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

围湖造田后 4 种不同土地利用方式土壤的基本理化性质见表 1。

1.2 样品采集与处理方法

本试验分别选取阔叶林(香樟林)、针叶林(水杉林)、经济林(毛竹林)和农田 4 种太湖流域典型的土地利用方式, 每种土地利用方式随机设置 4 块 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的试验样地, 4 种土地利用方式共计 16 块样地。在每块样地内用直径为 2 cm 的土钻分别采取 0~10 cm, 10~20 cm, 20~40 cm 的土壤样品各 1 份, 每 1 份土壤样品由对应的样地中随机采取的 20 个土芯混合而成。16 块样地共计 48 个样品。样品采回后, 剔除活体根系、石块等杂质, 轻轻碾碎过 2 mm 筛, 混匀, 放于阴凉干燥通风处自然风干, 取部分用于测定土壤 pH, 另取部分磨细过 0.15 mm 筛, 用于测定土壤有机碳、易氧化碳和土壤全氮、全磷、全硫含量。土壤有机碳和基本理化性质采样测定时间为 2008 年 10 月; 为分析土壤易氧化碳的季节动态, 2008 年 10 月—2009 年 8 月, 每两个月分层采样测定一次。

1.3 样品分析方法

易氧化碳测定方法^[3]: 25 °C 条件下称取含有 15~30 mg 碳的风干土壤样品 (0.15 mm), 装入 100 mL 塑料瓶内, 加 $333\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 KMnO_4 溶液 25 mL, 密封瓶口, 以 $25\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 振荡 1 h, 空白和土壤样品一样; 振荡后的样品以 $4\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min,

然后取上清液用去离子水按 1:250 稀释; 上述稀释液在 565 nm 的分光光度计上比色, 其标准液的浓度范围一定要包括 1 mg 碳; 根据 KMnO_4 的消耗量, 可求出土壤样品中的易氧化碳含量。

其它理化性质测定方法: 有机碳、全氮、碳氮比、全硫使用元素分析仪 (Elementar Vario EL, 德国) 测定; 全磷使用等离子发射光谱仪 (ICP, 德国) 测定; 容重测定采用环刀法^{[7]75-77}; pH 测定采用电位法^{[7]109-110}。

1.4 数据统计方法

不同土地利用方式、不同土层的土壤有机碳、易氧化碳含量采用 Univariate 多因素方差分析方法检验在 $P=0.05$ 显著水平上的差异。使用 SPSS 13.0 统计分析数据, 利用 EXCEL 2003 处理图表。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式土壤有机碳含量

不同土地利用方式对土壤有机碳的影响, 在 0~40 cm 土层中, 毛竹林土壤有机碳含量最高, 农田和水杉林则较低。在 0~10 cm 土层中, 有机碳含量为: 毛竹林 > 香樟林 > 水杉林 > 农田, 农田土壤有机碳含量显著低于 3 种林地土壤的有机碳含量 ($P < 0.05$), 分别比香樟林、水杉林、毛竹林低 30.4%、11.8%、51.6%。在 10~40 cm 土层中, 有机碳含量为: 毛竹林 > 香樟林 > 农田 > 水杉林, 香樟林、水杉林、农田土壤有机碳含量无显著差异, 而毛竹林土壤有机碳含量显著高于其它 3 种土地利用方式下的土壤有机碳含量 (表 2)。与围湖地区内的溪流底泥相比 (表 2), 林地和农田表层 (0~10 cm) 土壤有机碳含量均明显增加 ($P < 0.05$)。

在土壤有机碳含量的垂直分布中, 各土地利用方式下土壤有机碳含量均呈自上向下逐渐降低的趋势, 并且不同土层土壤有机碳含量差异均达到显著水平 (表 2)。土壤有机碳含量在 10~20 cm 土层均比 0~10 cm 土层低, 降低幅度为 30.5%~47.4%,

表 1 不同土地利用方式土壤基本理化性质
Table 1 Soil physical and chemical characteristics under different land uses

土地利用方式	土层/cm	全氮/(g·kg ⁻¹)	碳氮比	全磷/(g·kg ⁻¹)	全硫/(g·kg ⁻¹)	容重/(g·cm ⁻³)	pH(H ₂ O)
香樟林	0~10	2.10	9.4	0.11	0.34	1.21	4.53
	10~20	1.28	8.2	0.01	0.25	1.23	4.79
	20~40	0.97	7.7	0.01	0.27	1.25	5.07
水杉林	0~10	1.84	8.5	0.18	0.34	1.08	4.52
	10~20	1.11	7.4	0.06	0.31	1.34	4.70
	20~40	0.91	7.1	0.07	0.33	1.34	5.13
毛竹林	0~10	2.93	9.7	0.43	0.88	0.83	3.80
	10~20	1.93	8.8	0.11	0.59	0.90	4.07
	20~40	1.28	8.0	0.05	0.39	1.01	4.49
农田	0~10	1.63	8.5	0.19	0.37	1.24	5.45
	10~20	1.19	8.1	0.11	0.30	1.39	5.95
	20~40	0.92	7.6	0.05	0.22	1.51	6.28

表2 不同土地利用方式土壤有机碳含量, 平均值 $\pm$ 标准误差
Table 2 The concentrations of soil organic carbon under different land uses, mean $\pm$ SE

土地利用方式	土壤有机碳/(g·kg ⁻¹)		
	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm
香樟林	19.80 $\pm$ 0.69 cA	10.43 $\pm$ 0.70 aB	7.47 $\pm$ 0.56 aC
水杉林	15.64 $\pm$ 1.28 bcA	8.22 $\pm$ 0.53 aB	6.48 $\pm$ 0.25 aC
毛竹林	28.50 $\pm$ 4.89 dA	17.03 $\pm$ 3.94 bB	10.26 $\pm$ 1.09 bB
农田	13.79 $\pm$ 0.59 bA	9.58 $\pm$ 0.43 aB	6.98 $\pm$ 0.21 aC
溪流底泥	9.42 $\pm$ 0.33 a	—	—

每行中有相同大写字母表示不同土层中有机碳含量差异不显著($P > 0.05$), 每列中有相同小写字母表示不同土地利用方式下土壤有机碳含量差异不显著($P > 0.05$)。

其中水杉林土壤降低幅度最大; 土壤有机碳含量在 20~40 cm 土层均比 10~20 cm 土层低, 降低幅度为 21.2%~39.8%, 其中毛竹林土壤降低幅度最大。

2.2 不同土地利用方式土壤易氧化碳含量与季节动态

由图 1 可以看出, 在采样测定的 6 个月份中, 4 种土地利用方式下 0~10 cm 土壤易氧化碳质量分数均有差异。方差分析的结果显示, 毛竹林显著高于农田 ($P < 0.05$); 除 2009 年 8 月外, 香樟林也显著高于农田 ($P < 0.05$); 水杉林只在 2008 年 10 月与 2009 年 4 月显著高于农田 ($P < 0.05$), 其它月份与农田均未表现出显著性差异 ($P > 0.05$)。除 2008 年 10 月外, 香樟林与水杉林不存在显著性差异 ($P > 0.05$); 毛竹林在秋季 (2008 年 10 月) 与春夏季 (2009 年 6 月、2009 年 8 月) 显著高于香樟林 ($P < 0.05$), 在秋季 (2008 年 10 月) 与春夏季 (2009 年 4 月、2009 年 6 月、2009 年 8 月) 显著高于水杉林 ($P < 0.05$)。

4 种土地利用方式下 0~10 cm 土壤易氧化碳质量分数的季节动态 (图 1), 香樟林与毛竹林最大值出现在 2009 年 6 月, 分别为 8.27 ± 1.05 g·kg⁻¹, 12.74 ± 3.04 g·kg⁻¹, 最小值香樟林出现在 2008 年 12 月与 2009 年 8 月 (5.78 ± 1.35 g·kg⁻¹、 4.06 ± 0.97

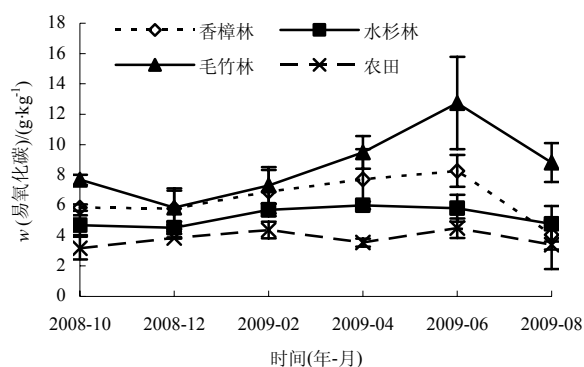


图1 不同土地利用方式 0~10 cm 土壤易氧化碳含量与季节动态
Fig.1 The concentrations and seasonal fluctuation of soil readily oxidizable carbon under different land uses at the depth of 0~10 cm

g·kg⁻¹), 毛竹林则出现在 2008 年 12 月 (5.85 ± 1.13 g·kg⁻¹); 水杉林最大值出现在 2009 年 4 月 (6.00 ± 0.26 g·kg⁻¹), 最小值出现在 2008 年 12 月 (4.52 ± 0.41 g·kg⁻¹); 在 6 次测定结果中, 香樟林与毛竹林均表现为春夏季节显著大于秋冬季节 ($P < 0.05$); 农田未表现出明显的季节变化 (3.17 ± 0.75 g·kg⁻¹~ 4.49 ± 0.64 g·kg⁻¹) ($P > 0.05$)。

4 种土地利用方式下 10~20 cm 土壤易氧化碳的质量分数 (图 2), 毛竹林显著高于农田 ($P < 0.05$); 除 2009 年 6 月与 2009 年 8 月外, 香樟林也显著高于农田 ($P < 0.05$); 水杉林只在 2009 年 8 月显著高于农田 ($P < 0.05$), 其它月份与农田均未表现出显著性差异 ($P > 0.05$)。除冬季 (2008 年 12 月) 与夏季 (2009 年 8 月) 外, 香樟林显著高于水杉林 ($P < 0.05$); 毛竹林在秋季 (2008 年 10 月) 与春夏季 (2009 年 4 月、2009 年 6 月、2009 年 8 月) 显著高于香樟林和水杉林 ($P < 0.05$)。

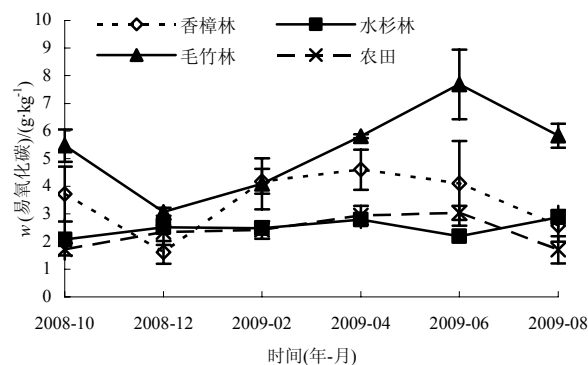


图2 不同土地利用方式 10~20 cm 土壤易氧化碳含量与季节动态
Fig.2 The concentrations and seasonal fluctuation of soil readily oxidizable carbon under different land uses at the depth of 10~20 cm

4 种土地利用方式下 10~20 cm 土壤易氧化碳质量分数的季节动态 (图 2), 香樟林与毛竹林最小值出现在 2008 年 12 月, 分别为 1.61 ± 0.41 g·kg⁻¹, 3.08 ± 0.14 g·kg⁻¹, 最大值香樟林出现在 2009 年 4 月 (4.60 ± 0.72 g·kg⁻¹), 毛竹林则出现在 2009 年 6 月 (7.69 ± 1.26 g·kg⁻¹), 2 种林地季节变化显著, 均表现为春夏季节大于冬季 ($P < 0.05$); 水杉林最大值出现在 2009 年 8 月 (2.88 ± 0.41 g·kg⁻¹), 最小值出现在 2008 年 10 月 (2.08 ± 0.73 g·kg⁻¹), 在 6 次测定结果中, 其季节波动较平缓 ($P > 0.05$); 农田土壤易氧化碳质量分数最大值出现在 2009 年 6 月 (3.04 ± 0.26 g·kg⁻¹), 最小值出现在 2008 年 10 月与 2009 年 8 月 (1.72 ± 0.22 g·kg⁻¹、 1.70 ± 0.49 g·kg⁻¹), 春季显著大于秋冬季 ($P < 0.05$)。

由图 3 可以看出, 4 种土地利用方式下 20~40 cm 土壤易氧化碳的质量分数, 除 2008 年 12 月与 2009 年 4 月外, 毛竹林显著高于农田 ($P < 0.05$);

香樟林只在2008年10月显著高于农田($P < 0.05$),其它月份与农田均未表现出显著性差异($P > 0.05$);除夏季(2009年6月、2009年8月)外,水杉林与农田不存在显著性差异($P > 0.05$)。香樟林在秋季(2008年10月)显著高于水杉林($P < 0.05$),冬季(2008年12月)则显著低于水杉林($P < 0.05$),其它月份未表现出显著性差异($P > 0.05$);毛竹林在秋季(2008年10月)与夏季(2009年6月、2009年8月)显著高于香樟林和水杉林($P < 0.05$)。

4种土地利用方式下20~40 cm土壤易氧化碳含量的季节动态(图3),香樟林与毛竹林最小值出现在2008年12月,分别为 $0.79 \pm 0.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $1.75 \pm 0.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,最大值香樟林出现在2009年4月($2.59 \pm 0.41 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),毛竹林则出现在2009年8月($4.02 \pm 0.46 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),2种林地季节变化显著,均表现为春夏季大于冬季($P < 0.05$);水杉林最大值出现在2008年12月($1.94 \pm 0.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),最小值出现在2009年6月($0.91 \pm 0.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),表现出夏季(2009年6月)小于冬季(2008年12月)($P < 0.05$);农田土壤易氧化碳含量最大值出现在2009年4月($2.24 \pm 0.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),最小值出现在2009年8月($0.94 \pm 0.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),春季显著大于其它三个季节($P < 0.05$)。

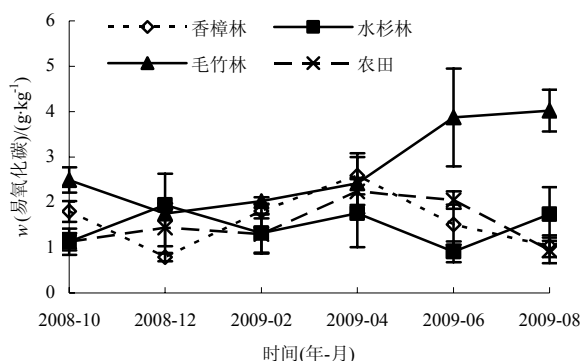


图3 不同土地利用方式20~40 cm土壤易氧化碳含量与季节动态

Fig.3 The concentrations and seasonal fluctuation of soil readily oxidizable carbon under different land uses at the depth of 20~40 cm

在6次采样测定结果中,4种土地利用方式下土壤易氧化碳的垂直分布均表现为随着土层深度增加质量分数递减的趋势($P < 0.05$)。

3 讨论

太湖流域肖甸湖区围湖造田35年左右4种土地利用方式土壤有机碳与易氧化碳的研究表明,在人为将湖泊生态系统转变成陆地森林生态系统与农田生态系统后,土壤有机碳与易氧化碳的含量因土地利用方式的不同而有不同响应,同一土地利用方式下土壤易氧化碳含量随季节与土层深度变化。

本研究结果表明,0~40 cm土壤有机碳含量毛竹林最高,香樟林高于水杉林,表层(0~10 cm)

土壤有机碳含量农田显著低于3种林地。土壤有机碳是土壤的重要组成部分,是植物所需养分和土壤微生物生命活动的能量来源,保持或提高土壤有机碳含量可以保持土壤物理、化学和生物学性状,还可以降低大气碳库中碳的含量,有利于降低温室效应的影响^[8]。在自然状况下,林地土壤有机碳主要来源于植被凋落物和根系分泌物。一般来说,高养分含量的凋落物分解快些,阔叶凋落物比针叶凋落物易分解^[9-10],这可能是导致香樟林凋落物经分解进入土壤形成土壤有机碳的累积量比水杉林大的主要原因。耿玉清等^[11]的研究结果显示,在0~10 cm和10~20 cm土层内,北京山地阔叶林土壤有机碳含量均显著高于针叶林土壤;Jiang和Xu^[12]的研究结果也表明,阔叶林土壤有机碳含量显著高于针叶林土壤。毛竹林土壤有机碳含量最高是由于毛竹林除地上凋落物输入外,其特有的地下鞭根系统生物量大,分布较浅,并每年都有老鞭死亡、腐烂,从而补充了土壤碳库,使土壤有机碳含量增加^[13]。农田土壤有机碳含量较林地低,一方面是因为地上部分生物量收获使得进入土壤的有机碳减少,另一方面耕作活动导致对土壤团聚体的破坏,降低了土壤有机碳的稳定性,从而促进了土壤有机碳的分解^[14];此外,农田土壤中加入的有机物料(秸秆),其正激发效应更有利于土壤原有有机碳的分解矿化^[15-16]。与围湖地区内的溪流底泥相比,林地和农田表层(0~10 cm)土壤有机碳含量均明显增加;与同属亚热带的山地森林^[17-18]相比,围湖后的林地土壤有机碳含量较低。这说明围湖地区土壤有机碳累积量较旱地发育的土壤小。

本研究结果显示,4种土地利用方式下土壤易氧化碳含量随季节与土层深度的变化而变化,在有显著性差异的月份,3种林地均高于农田。在采样测定的6个月份中,毛竹林、香樟林与农田的差异较为显著,而水杉林与农田的差异仅表现在其中一两个月份。土壤易氧化碳含量的大小差异与土壤有机碳的变化趋势一致。Jobbágy和Jackson认为^[19],植物类型显著影响了土壤有机碳的分布,而易氧化碳是土壤中易被氧化,活性较高的那部分有机碳^[5,20]。树木根系分布比农作物深^[21],土壤表层形成的残体或分泌物多,土壤易氧化碳形成量比农田多。已有研究指出^[22],耕作土壤易氧化碳含量比天然植被土壤中的低。水杉林的凋落物与根系分泌物相较于毛竹林和香樟林少^[9-10],从而使得土壤易氧化碳的累积量比较低。香樟林与毛竹林土壤易氧化碳含量季节变化较大,表现出春夏季节大于冬季。这是因为在春夏季节,植物进入生长期,为土壤微生物提供了足够的易分解的新鲜有机质;适宜

的水热条件,极大地提高了土壤微生物活性和植被的新陈代谢速率,凋落物分解加快,根系分泌物也增多^[23-24]。因此,有利于土壤易氧化碳的累积。水杉林与农田土壤易氧化碳含量季节波动则较小,而农田表层(0~10 cm)土壤易氧化碳含量季节变化不显著,这说明农田表层土壤由于受人为活动影响较大,其易氧化碳含量的变化不再由自然条件控制。与相同气候区低山森林^[17]以及南方山地森林^[25]相比,同一季节围湖后林地土壤易氧化碳含量较高,说明围湖地区土壤有机碳稳定性较旱地森林土壤差。

综上所述,肖甸湖区围湖造田不同土地利用方式对土壤有机碳与易氧化碳的影响,表层(0~10 cm)土壤有机碳含量林地显著高于农田,阔叶林高于针叶林。土壤易氧化碳含量随季节与土层深度的变化而变化,香樟林与毛竹林春夏季节大于冬季。与围湖地区内的溪流底泥相比,林地与农田表层土壤有机碳含量均有明显增加;与旱地发育的植被土壤相比,围湖后的土壤有机碳含量较低,易氧化碳含量较高,土壤有机碳稳定性较差。在研究全球碳循环和全球气候变化时,我们应该对围湖造田对生态系统碳循环的影响给予充分考虑。

参考文献:

- [1] 葛全胜, 赵名茶, 郑景云. 20 世纪中国土地利用变化研究[J]. 地理学报, 2000, 55(6): 698-706.
GE Quansheng, ZHAO Mingcha, ZHENG Jingyun. Land use change of China during the 20th Century[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(6): 698-706.
- [2] JANZEN H H. Carbon cycling in earth systems-a soil science perspective[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004, 104: 399-417.
- [3] 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: 1459-1466.
- [4] SHRESTHA R K, LADHA J K, LEFROY R D B. Carbon management for sustainability of an intensively managed rice-based cropping system[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 36: 215-223.
- [5] SHRESTHA R K, LADHA J K, GAMI S K. Total and organic soil carbon in cropping systems of Nepal[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2006, 75: 257-269.
- [6] MELERO S, LÓPEZ-GARRIDO R, MADEJÓN E, et al. Long-term effects of conservation tillage on organic fractions in two soils in southwest of Spain[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 133: 68-74.
- [7] ROBERTSON G P, COLEMAN D C, BLEDSOE C S, et al. Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research[M]. New York: Oxford University, 1999.
- [8] 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.
ZHANG Jinbo, SONG Changchun. The sensitive evaluation indicators of effects of land-use change on soil carbon pool[J]. Ecology and Environment, 2003, 12(4): 500-504.
- [9] 李志安, 邹碧, 丁永祯, 等. 森林凋落物分解重要影响因子及其研究进展[J]. 生态学报, 2004, 23(6): 77-83.
LI Zhian, ZOU Bi, DING Yongzhen, et al. Key factors of forest litter decomposition and research progress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 23(6): 77-83.
- [10] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 森林凋落物研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 60-64.
LIN Bo, LIU Qing, WU Yan, et al. Advances in the studies of forest litter[J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(1): 60-64.
- [11] 耿玉清, 余新晓, 岳永杰, 等. 北京山地针叶林与阔叶林土壤活性有机碳库的研究[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(5): 19-24.
GENG Yuqing, YU Xinxiao, YUE Yongjie, et al. Soil active organic carbon pool of coniferous and broadleaved forests in the mountainous area of Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(5): 19-24.
- [12] JIANG P K, XU Q F. Abundance and dynamics of soil labile carbon pools under different types of forest vegetation[J]. Pedosphere, 2006, 16: 505-511.
- [13] 肖复明, 范少辉, 汪思龙, 等. 湖南会同毛竹林土壤碳循环特征[J]. 林业科学, 2009, 45(6): 11-15.
XIAO Fuming, FAN Shaohui, WANG Silong, et al. Soil carbon cycle of *Phyllostachy edulis* Plantation in Huitong Region, Hunan Province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(6): 11-15.
- [14] BEATA M, PEDRO L M, ELENIO T, et al. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a rhodic ferralsol from southern Brazil[J]. Soil Tillage Research, 2005, 80: 185-210.
- [15] 杨林章, 徐琪. 土壤生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 70-71.
YANG Linzhang, XU Qi. Soil Ecosystem[M]. Beijing: Science Press, 2005: 70-71.
- [16] 唐国勇, 黄道友, 童成立, 等. 红壤丘陵景观单元土壤有机碳和微生物生物量碳含量特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 429-433.
TANG Guoyong, HUANG Daoyou, TONG Chengli, et al. Characteristics of soil organic carbon and microbial biomass carbon in hilly red soil region[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(3): 429-433.
- [17] 姜培坤. 不同林分下土壤活性有机碳库研究[J]. 林业科学, 2005, 41(1): 10-13.
JIANG Peikun. Soil active carbon pool under different types of vegetation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(1): 10-13.
- [18] 王国兵, 阮宏华, 唐燕飞, 等. 北亚热带次生栎林与火炬松人工林土壤微生物生物量碳的季节动态[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 37-42.
WANG Guobing, RUAN Honghua, TANG Yanfei, et al. Seasonal fluctuation of soil microbial biomass carbon in secondary oak forest and Pinus taeda plantation in north subtropical area of China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(1): 37-42.
- [19] JOBBÁGY E G, JACKSON R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. Ecological Applications, 2000, 10: 423-436.
- [20] CHAN K Y, BOWMAN A, OATES A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys[J]. Soil Science, 2001, 166: 61-67.

- [21] JACKSON R B, CANADELL J, EHLERINGER J R, et al. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes[J]. *Oecologia*, 1996, 108: 389-411.
- [22] CONTEH A, LEFROY R D B, BLAIR G J. Dynamics of organic matter in soil as determined by variations in $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratios and fractionation by ease of oxidation[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1997, 35: 881-890.
- [23] 徐秋芳. 森林土壤活性有机碳库的研究[D]. 杭州:浙江大学, 2003: 43-45.
- XU Qiufang. Study on labile organic carbon pool in forest soils[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003: 43-45.
- [24] 张剑, 汪思龙, 王清奎, 等. 不同森林植被下土壤活性有机碳含量及其季节变化[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(1): 41-47.
- ZHANG Jian, WANG Silong, WANG Qingkui, et al. Content and seasonal change in soil labile organic carbon under different forest covers[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(1): 41-47.
- [25] 徐侠, 王丰, 栾以玲, 等. 武夷山不同海拔植被土壤易氧化碳[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(7): 1115-1121.
- XU Xia, WANG Feng, LUAN Yiling, et al. Soil readily oxidizable carbon along an elevation gradient of Wuyi Mountains in southeastern China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(7): 1115-1121.

Soil organic carbon and readily oxidizable carbon of reclaiming land from lake under different land uses

WANG Ying¹, RUAN Honghua^{1*}, HUANG Liangliang¹, FENG Yuqing², QI Yan³

1. Key Laboratory of Forestry and Ecological Engineering of Jiangsu Province//Wetland Ecology Research Centre, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Suzhou Wetland Protection and Administration Station, Suzhou 215128, Jiangsu, China;

3. Wujiang Agricultural and Forestry Bureau, Wujiang 215200, Jiangsu, China

Abstract: Reclaiming land from a lake area is a kind of human disturbance that has emerged in large numbers since the late 1950s in China. In order to understand the characteristics of soil organic carbon(SOC) and readily oxidizable carbon(ROC) in the reclaiming land from lake under different land uses in the Xiaodian lake area, the concentrations of SOC and ROC, and the seasonal change of ROC concentration in the 0~40 cm soil layer were analyzed. The results showed that at 0~10 cm depth of soil, the concentrations of SOC at cropland site were significantly lower than those in the three kinds of forest sites, and there were significant lower concentrations of SOC at the coniferous forest compared to the broadleaf forest. Taking into account the four land uses, the seasons and the three soil depths, the ROC concentrations at *Cinnamomum camphora* and *Phyllostachys heterocycla* forests in spring and summer were higher than those in winter, while at *Metasequoia glyptostroboides* and cropland sites the seasonal changes were relatively slight. The concentrations of SOC and ROC declined with increasing depths. Compared with the remnant bed sediment of lake in the research area, SOC at the forests and the cropland significantly increased. SOC concentrations were lower and ROC concentrations were higher in the impoldering land relative to the upland of the same climate zone. The stability of SOC in the impoldering land was lower than that in the upland. Thus it is important to note the effect of reclaiming land from a lake on the carbon cycle in terms of global climate change.

Key words: reclaiming land from lake; land uses; soil organic carbon; soil readily oxidizable carbon; seasonal change