

洞庭湖湿地3种植被类型生态系统的碳循环

余蓉¹ 项文化^{1,2}

1.中南林业科技大学生命科学与技术学院,长沙410004;

2.南方林业生态应用技术国家工程实验室,长沙410004

摘要 通过测定洞庭湖湿地3种主要植被类型的生物量及其土壤CO₂和CH₄排放速率,研究湿地3种植被类型生态系统中大气、植物、土壤之间的碳循环过程。结果表明:草丛植被、乔木林植被和水生植被的大气碳流量分别是6.02、6.00、2.01 t/(hm²·a),植物层流向土壤的碳流量分别是2.21、1.04、0.73 t/(hm²·a);土壤流向大气的碳流量分别是2.36、2.14、1.29 t/(hm²·a),3种植被类型生态系统均表现为碳汇,草丛植被、乔木林植被、水生植被净系统生产力分别为5.87、4.90、1.45 t/(hm²·a)。

关键词 碳通量;洞庭湖湿地;草丛植被;水生植被;乔木林植被;净生产力;净固定碳量

中图分类号 X 171.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)03-0066-06

湿地作为陆地生态系统的重要组成部分,虽仅占陆地面积的4%~6%,但湿地生态系统碳储量约占陆地生态系统碳储量的12%~20%^[1],是世界上最大的碳库之一。关于陆地生态系统碳循环的研究过去多集中在农田^[2-3]和森林生态系统^[4-7]。我国学者针对不同类型湿地生态系统碳平衡和碳循环开展了相关研究,如郝庆菊等^[8]报道了三江平原湿地土壤CO₂和CH₄排放,康文星等^[9-10]报道了广州市红树林和滩涂湿地生态系统与大气二氧化碳交换,研究了洞庭湖湿地植被系统碳储量及其分配。上述研究表明,在碳源、碳汇功能方面湿地生态系统仅次于森林,因此,极大地影响着全球范围的碳循环^[11-14]。湿地生态系统碳循环中一些生态过程之间的关系远比农田、森林生态系统要复杂。因此,至今仍不能准确评估湿地生态系统在全球碳平衡和碳循环中的作用和地位。目前有关湿地主要植被类型生态系统碳循环的研究少见报道。笔者通过对洞庭湖湿地3种主要植被类型(乔木林植被、草丛植被、水生植被)生物量及其土壤CO₂和CH₄排放速率的测定,探讨洞庭湖湿地主要植被类型生态系统大气、植物、土壤之间的碳循环过程,为精确评估洞庭湖湿地生态系统的碳源、碳汇功能以及洞庭湖湿地管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

洞庭湖湿地位于东经114°40'~113°10',北纬28°30'~29°40',海拔30~50 m,主要由湖泊洲滩天然湿地和垸区人工湿地两部分组成,面积约2 638 km²,其中植被覆盖的泥沙滩、浅水沼泽和湖州面积约2 000 km²,属于典型亚热带季风湿润气候区,年降雨量1 250~1 380 mm,年平均气温约17.0℃,热量丰富,水、热同季。

洞庭湖湿地植被大致可分为水生植被、草丛植被、乔木林植被3种类型。水生植被主要分布在沼泽化地段,常年积水,主要为苦草(*Vallisneria spiralis* community)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、野菱(*Trapa incise* var. *quadricaudata*)、竹叶眼子菜(*Potamogeton malaianus* Miq.)群落。草丛植被主要分布在地势平坦的低洼地段,每年汛期被洪水淹没,属于季节性淹水的草甸,最具代表性的草丛植被主要有芦苇(*Phragmites communis*)、南荻(*Triarrhena lutarioriparia*)和苔草(*Carex tristachya*)。乔木林植被主要分布在滩涂高地,除汛期为短暂积水外,常年无积水。乔木林植被以枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、旱柳(*Salix matsudana*)、川三蕊柳

收稿日期:2015-09-06

基金项目:国家林业软科学研究项目(2012-R10)

余蓉,博士研究生,研究方向:森林生态学. E-mail: fancyyr@126.com

通信作者:项文化,博士,教授,研究方向:森林生态学. E-mail: Xiangwh2005@163.com

(*Salex triandroides*) 和杨树 (*Populus tomentosa* Carr.) 等。其中,杨树是 1999 年执行“中德财政合作湖南洞庭湖生态造林项目”后营造的。

1.2 研究方法

1) 乔木林植被生物量。乔木林植被生物量的测定采用收割法。2010 年 11 月,在 2005 年营造的杨树林设置面积为 667 m² 固定样地进行每木调查。根据林木平均胸径、平均树高划分为 5 个径级,每个径级选取 1 株标准木,再加 1 株林分平均木,共选取 6 株标准木。标准木伐倒后,用分层切割法测定标准木各层器官鲜质量,同时分别采集各器官的分析样品。在室内将各器官分析样品于 85 °C 恒温下烘干至恒质量,求出各器官的含水率,计算出标准木各器官的干质量,用“相对生长法”建立标准木各器官生物量与测树因子(胸径、树高)的回归方程,最后估算样地林分生物量。

2) 草丛植被生物量。在不同类型草丛植被随机设置 3 个大小为 2 m × 2 m 的小样方,将小样方草本植物种类及生长指标调查完后,采用全部收获法把小样方内所有植物连根系取出,分地上部分和地下部分测定其鲜质量,分别采集 3 个小样方内分析样品,在室内将分析样品置于烘箱内在 85 °C 恒温下烘干至恒质量,再求出 3 个小样方的平均草丛植被干质量。

3) 年凋落、枯死生物量。采用凋落物收集装置每月分 2 次收集凋落物,当场测定凋落物鲜质量。然后采集凋落物样品置于烘箱内,在 85 °C 恒温下烘干至恒质量,求出凋落物干质量。

乔木林植被根枯死量参考张小全等^[15]的研究成果,即在亚热带落叶林的细根枯死量和地上凋落物量之间的比值平均约为 0.842,在得到地上凋落物量后,再以地上凋落物量乘上 0.842 可得细根枯死量。

草丛植被根枯死量,假定草丛每年新生长的根系中有 40% 枯死,按每年根生物量的比例求得根枯死量。乔木林植被林下活地被生物量的测定、水生植被生物量的测定与草丛植被生物量的测定相同。

4) 乔木林、草丛、水生植被净生产力。乔木林植被净生产力依据 2010 年的生物量,与 2005 年同一块样地生物量^[10]之差,再除以相隔的年份求出。由于草丛植被、水生植被每年冬季基本全部枯死,在第 2 年再重新萌发,所以草丛植被、水生植被净生产力即当年的生物量。

5) 植物有机碳含量测定。用重铬酸钾-浓硫酸氧化外加热法测定植物有机碳含量,每样品重复测定 5 次,取 5 次平均值为最终测定结果。

6) 土壤 CO₂ 和 CH₄ 排放通量测定。采用静态箱式方法测定土壤 CO₂ 和 CH₄ 排放通量。分别在乔木林、草丛、水生植被类型中安装静态箱。每月上、中、下旬(2010 年 2 月至 12 月)各选择 1 个晴天进行昼夜观测(白天 2 h/次,晚上 3 h/次)。各箱体同时平行采集 100 mL 气体样品。在实验室用改装后的 HP5890 II 型气相色谱分析仪分析样品气体中的 CH₄ 和 CO₂ 浓度(色谱柱类型为 HP25 mm 毛细管柱)。CO₂ 和 CH₄ 用氢火焰离子化检测器测定(检测器温度为 200 °C),N₂、H₂ 和空气分别为载气、燃气和助燃气,流速分别为 30、30、40 mL/min。由每次 4 个时间观测值经线性回归分析得出气体排放速率。气体排放通量用下式计算:

$$F = \Delta m / (A \Delta t) = \rho \cdot V \Delta c / (A \Delta t) = \rho h \Delta c / \Delta t$$

式中, F 为气体通量,mg/(m² · h); Δm 和 Δc 分别为 Δt 时间内采样箱中气体质量(g)和混合比浓度; ρ 为实验室温度下的气体密度,g/cm³; V 、 A 、 h 分别表示箱的体积(cm³)、底面积(cm²)和箱高(cm)。用 JM624 型便携式数字温度计在每次采样时测定各箱的气温、地下 5 cm 的土壤温度,地表温度,测量准确度为 0.5 °C,读数分辨率为 0.1 °C。

7) 植物净生产力碳吸收量和系统净生产力计算。净生产力固碳量按以下公式估算:

$$C_M = (C_1 M_1 + C_2 M_2 + C_3 M_3 + C_4 M_4) \times A$$

式中, C_M 为净固定碳量,t/(hm² · a); C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 分别为地上生物量、地下生物量、林下植被生物量和枯死物生物量(包括地上凋落物和枯死根)的有机碳含量,mg/g; M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 分别为地上净生产力、地下净生产力、林下植被净生产力、枯死物净生产力,t/(hm² · a), A 为样地面积,hm²。

系统净生产力由下式求出:

$$N_{EP} = M - N - F$$

式中, N_{EP} 为系统净生产力,t/(hm² · a); M 为植物光合总量,t/(hm² · a); N 为植物群落呼吸量,t/(hm² · a); F 为土壤呼吸量(不含根呼吸量),t/(hm² · a)。本研究中,植物光合量采用净增长生物量计算,已考虑了群落呼吸量(包括根系呼吸量),因此,系统净生产力的计算公式为:

$$N_{EP} = M - F \quad (4)$$

8) 非根呼吸释碳通量。本研究是用净生产量而

不是用初级生产量计算植物吸收 CO_2 , 已除去根系呼吸量。因此, 在计量湿地土壤非根呼吸释碳通量时, 从实测的湿地土壤排放 CO_2 量减去根系呼吸部分。考虑到湿地土壤常处在嫌气状态, 实测的 CO_2 排放量中, 估算有 30% 来自根系呼吸, 有 70% 来自土壤动物和微生物呼吸或异养作用。因此, 湿地土壤非根呼吸释碳通量, 包括用实测的 CO_2 排放量乘以 70% 与 CH_4 的排放碳量之和。

1.3 数据处理

所有数据经 Excel 软件处理后, 用 SPSS 13.0 软件进行统计分析, 采用双因素方差分析 (two-way ANOVA)、单因素方差分析 (one-way ANOVA) 和 Duncan's 检验参数间差异。

2 结果与分析

2.1 不同植被类型生态系统净生产力

从表 1 可以看出, 2010 年洞庭湖湿地草丛、水生、乔木林植被净生产力分别为 18.51、5.91 和 15.85 $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。草丛植被地下活生物量占其活生物

总量的 39.47%, 水生植被为 31.88%, 均高于乔木林植被 (23.26%)。

2.2 不同植被类型生态系统净固碳量

从表 2 可以看出, 2010 年洞庭湖湿地草丛、水生、乔木林植被净固定碳量分别为 8.22、7.04、2.74 $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 净固定 CO_2 量分别为 30.17、10.03 和 25.83 $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。草丛植被净固碳量最高, 分别是乔木林植被和水生植被的 1.17、3.00 倍, 主要取决于它们净生产力及其碳含量。

2.3 湿地土壤碳排放量

1) 土壤 CO_2 、 CH_4 排放速率和排放量。从表 3 可以看出, 乔木林植被土壤 CO_2 排放速率明显高于草丛植被、水生植被。相反, 草丛植被土壤 CH_4 排放速率最大, 为 482 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 其次是水生植被, 为 425 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 乔木林植被最低, 为 72 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。从表 3 可以看出, 乔木林植被土壤年排放 CO_2 量分别是草丛植被、水生植被的 1.89 倍和 15.60 倍。相反, 草丛植被、水生植被土壤年排放 CH_4 量分别是乔木林植被的 6.52 倍和 5.74 倍。

表 1 不同植被类型生态系统净生产力

Table 1 Net productivity of different types of plants

$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$

类型 Type	地上部分 Above ground	地下部分 Under ground	林下活地被 Understory vegetation	枯死物 Litterfall	合计 Total
草丛植被 Herb	8.19	5.34	/	4.98	18.51
水生植被 Aquatic	2.87	1.39	/	1.65	5.91
乔木林植被 Arbor forest	8.53	2.78	2.19	2.35	15.85

表 2 不同植被类型生态系统净固定碳量

Table 2 The absorb CO_2 amount by the net productivity of different types of plants

$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$

类型 Type	地上部分 Above ground	地下部分 Under ground	林下活地被 Understory vegetation	枯死物 Litterfall	合计 Total	折算成 CO_2 量 Converted into the amount of CO_2
草丛植被 Herb	3.64	2.37	/	2.21	8.22	30.17
水生植被 Aquatic	1.28	0.73	/	0.73	2.74	10.03
乔木林植被 Arbor forest	3.79	1.24	0.97	1.04	7.04	25.83

表 3 洞庭湖湿地土壤 CH_4 和 CO_2 的排放量

Table 3 CH_4 and CO_2 emission amount from soil of Dongting Lake

类型 Type	CO_2 排放速率/ ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) Discharge rate of CO_2	CO_2 排放量/ ($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) Account of discharged CO_2	折算成 C 量/ ($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) Converted into the amount of C	CH_4 排放速率/ ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) Discharge rate of CH_4	CH_4 排放量/ ($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) Account of discharged CH_4	折算成 C 量/ ($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) Converted into the amount of C	C 总量/ ($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) Total
草丛植被 Herb	1 517	5.54	1.50	482	1.76	1.31	2.81
水生植被 Aquatic	183	0.67	0.18	425	1.55	1.16	1.34
乔木林植被 Arbor forest	2 864	10.45	2.80	72	0.27	0.18	2.98

2)土壤碳排放量。从表 3 可以看出,处于间歇性被洪水淹没的草丛植被土壤碳排放量为 2.81 t/(hm²·a),其中以 CO₂ 形态排放的为 1.50 t/(hm²·a),以 CH₄ 形态排放的为 1.31 t/(hm²·a),分别占草丛植被土壤碳排放总量的 53.38%、46.62%。常年积水的水生植被土壤碳排放量为 1.34 t/(hm²·a),其中有 88.55%以 CH₄ 形式释放,11.45%以 CO₂ 形式释放。无积水乔木林植被土壤碳排放量为 2.98 t/(hm²·a),6.04%以 CH₄ 形式释放,93.96%以 CO₂ 形式释放。上述结果表明,无积水的滩涂高地排放含碳气体以 CO₂ 为主,常年积水湿地以 CH₄ 为主,干湿交替湿地 CH₄ 和 CO₂ 排放量取决于土壤好气或厌气环境的变化

状态。而且,湿地释放的碳量同时受地面上的生物量和不同水淹状态制约,一是因为地上生物量多,其凋落物也多,土壤有机质也多,有机质分解释放的碳量也多;二是水淹状态不同,土壤通气状态也不同,土壤有机质分解的速率与产生的含碳素气体不一样。

2.4 不同植被类型生态系统的碳通量和碳循环

1)不同植被类型生态系统的碳通量。如图 1 所示,2010 年洞庭湖湿地草丛生态系统植被层、水生植被层、乔木林植被层的碳通量分别为 6.02、2.01、6.00 t/(hm²·a)。草丛、水生和乔木林植被的枯死物层碳通量分别是 2.21、0.73、1.04 t/(hm²·a)。草丛、水生和乔木林植被的非根呼吸释放碳通量分别是 2.36、1.29、2.14 t/(hm²·a)。

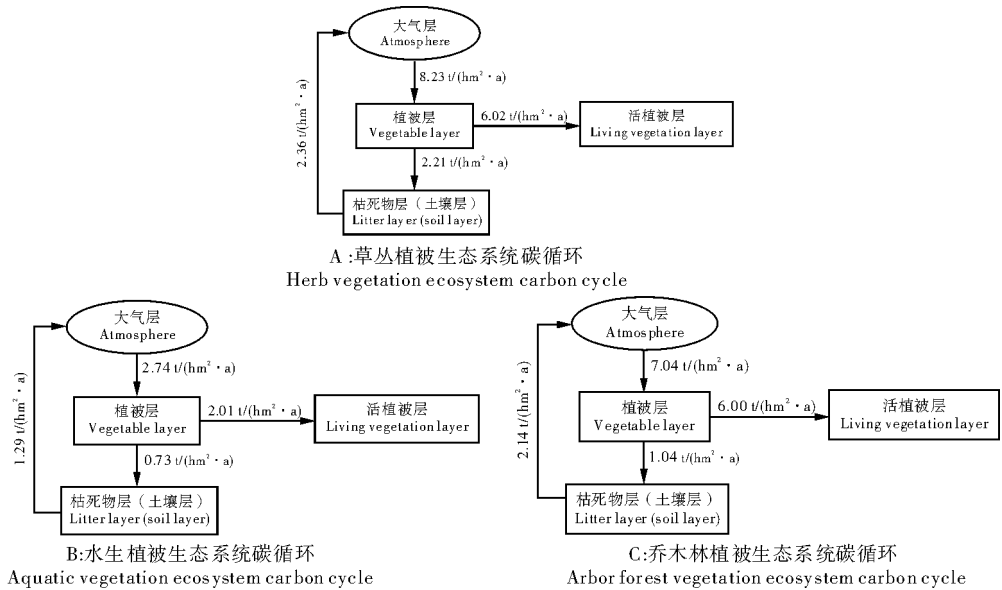


图 1 不同植被类型生态系统的碳循环

Fig.1 Different vegetation types of ecosystem carbon cycle

2)不同植被类型生态系统的碳循环。由图 1A 可知,洞庭湖湿地草丛植被生态系统大气流向植被层的碳流量为 8.23 t/(hm²·a)(没有植被流向大气的碳量,是因为本研究吸存碳量用净生产力估算,这是除去植被自身代谢(自养呼吸)后的碳量,下同)。其中,6.02 t/(hm²·a)的碳量净存于活植被层,2.21 t/(hm²·a)的碳量向土壤的碳流量(由于缺乏枯死物每年究竟有多有机碳输送给土壤碳库的准确资料,因此,本研究假定每年产生的细根枯死物和凋落物中的碳都流向土壤碳库);土壤层通过土壤呼吸向大气的释放碳流量为 2.36 t/(hm²·a)(数据为非根呼吸释碳通量,因为本研究吸存碳量用净生产力估算,这是除去植被自养呼吸后的碳量,即减去了根系

的呼吸量,下同),草丛植被生态系统从大气净吸收碳 5.87 t/(hm²·a)。水生植被生态系统大气流向植被层的碳流量为 2.74 t/(hm²·a)。其中,2.01 t/(hm²·a)的碳量净存于活植被层,0.73 t/(hm²·a)的碳量向土壤的碳流量,土壤层通过土壤呼吸向大气的释放碳流量为 1.29 t/(hm²·a),水生植被生态系统从大气净吸收碳 1.45 t/(hm²·a)(图 1B)。乔木林植被生态系统大气流向植被层的碳流量为 7.04 t/(hm²·a)。其中,6.00 t/(hm²·a)的碳量净存于活植被层,1.04 t/(hm²·a)的碳量向土壤的碳流量,土壤层通过土壤呼吸向大气的释放碳流量为 2.14 t/(hm²·a),水生植被生态系统从大气净吸收碳 4.90 t/(hm²·a)(图 1C)。

3 讨 论

净生产力越大,大气流向植被层的碳通量也越大,植被层吸存碳量多少主要由植被净生产力决定。植被枯死物层碳通量取决植被地上部分的凋落量和枯死根系量以及土壤环境,如草丛植被地上部分大都枯死,其枯死物层碳通量大;水生植被根系长期生长在积水、缺氧的土壤环境中,环境阻碍了其根系正常生长而易死亡,因此,尽管水生植被净初级生产力仅约为乔木林植被的 1/3,但其枯死物层碳通量却为乔木林植被的 70%。非根呼吸释碳通量与土壤的嫌气和好气环境关系极大。一般而言,在缺氧的嫌气环境中非根呼吸释碳通量要大些。这也是处于间歇性或常年积水状态下的草丛植被非根呼吸释碳通量高于乔木林植被非根呼吸释碳通量的原因。

草丛植被生态系统净生产力高于乔木林植被,可能是由于草丛植被地上部分 1 年内全部枯死,第 2 年又重新萌发再生长^[16],而且湿地草丛植被密度较大,这也是在各类生态系统中,湿地系统生产力水平最高的原因之一^[17-18]。由于草丛植被、水生植被大都是草丛植物,不仅地下根系发达,而且大部分草丛植物有地下茎,因而草丛植被、水生植被地下活生物量占总生物量的比例较大,这与文献^[16-18]研究结果相一致。

草丛植被、水生植被、乔木林植被生态系统大气-植被-土壤的碳循环过程中净固定大气碳分别为 5.87、1.45、4.90 t/(hm²·a),表明洞庭湖湿地 3 种植被类型均表现为碳汇功能,湿地植被层在不断积累,是大气 CO₂ 的汇。本研究分析乔木林植被净初级生产力时,仅考虑了生物量的净增量和每年植物的枯死量,忽略了植物挥发和淋溶的有机质、共生有机体输送的、根系分泌物的碳生化合物以及动物消费者采食量等组分,因此,估算结果中系统净生产力和净固定大气碳值可能偏低。

研究表明^[19-21],影响湿地土壤 CO₂ 排放速率的主要因素是湿地水位高度,一般而言,湿地土壤 CO₂ 排放速率与湿地水位呈正相关。同时由于洞庭湖湿地低洼地段常年积水或季节性积水,土壤通气性较差,处于嫌气状态,因此,湿地土壤呼吸过程除排放 CO₂ 外,还排放土壤有机质厌氧分解的最终产物 CH₄。本研究中,草丛植被、水生植被土壤 CH₄ 排放速率高于三江平原苔草湿地^[7],可能是由于洞庭湖地处于亚热带,三江平原地处于温带,两者

之间水热条件不同所致,表明温度也是土壤 CH₄ 排放的主要影响因素之一。与广州市红树林和滩涂湿地的 CH₄ 通量相比^[9],洞庭湖 3 种植被土壤 CH₄ 通量远高于它们。研究表明^[22],沿海湿地存在大量的 SiO₂ 粒子,这些 SiO₂ 粒子能阻碍土壤 CH₄ 的产生。此外,由于乔木林植被处于滩涂高地,除汛期受到短暂的淹没外,常年基本无积水,土壤通气状况较好。而水生植被常年积水,长期处于缺氧状态,草丛植被处于滩涂地势低洼的地段,每年汛期均被洪水淹没,缺氧状态也显著。因此,乔木林植被土壤呼吸过程排放 CO₂ 速率高,CH₄ 排放速率低,而水生植被和草丛植被土壤 CH₄ 排放速率高,CO₂ 排放速率相对低。此外,尽管水生植被土壤嫌气状态比草丛植被明显,但由于草丛植被枯死物量比水生植被多,草丛植被土壤有机物质含量高于水生植物。因此,草丛植被土壤有机质发酵排放 CH₄ 速率高于水生植被,表明湿地土壤 CO₂ 和 CH₄ 排放速率与土壤的积水状态及有机质含量密切相关。

本研究中季节性积水的草丛植被土壤 CO₂ 排放量是常年积水水生植被的 8.27 倍,其原因可能为:一方面,由于单位面积上的水生植被生物量比草本植物少,枯死物进入土壤的有机质量也比草本植物少,土壤有机质的多少是影响土壤 CO₂ 排放量的重要因子;另一方面,“涨水为湖,落水为洲”是洞庭湖滩涂草甸的特点,这种干、湿的经常交替作用不仅对洞庭湖滩涂草甸土壤环境产生影响,而且也影响着土壤微生物活性及种群落的变动,这些都能促进有机碳转化与分解。

参 考 文 献

- [1] SCHELLHASE H U, MAC-ISAAC E A, SMITH H. Carbon budget estimates for reservoirs on the Columbia River in British Columbia[J]. The environmental professional, 1997, 19: 48-57.
- [2] 韩冰, 王效科, 逮非, 等. 中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 612-620.
- [3] 李香兰, 徐华, 李小平, 等. 水分管理影响稻田甲烷排放研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(2): 221-227.
- [4] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.
- [5] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J]. 植物生态学, 2000, 24(5): 518-522.
- [6] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量与碳密度研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13-16.
- [7] 方精云, 刘国华, 朱彪, 等. 北京东灵山三种温带森林生态系统的碳循环[J]. 中国科学, 2006, 36(6): 533-543.

- [8] 郝庆菊,王跃思,乐长春,等.三江平原湿地土壤 CO₂ 和 CH₄ 排放的初步研究[J].农业环境科学学报,2004,23(5):846-851.
- [9] 康文星,赵仲辉,田大伦,等.广州市红树林和滩涂湿地生态系统与大气二氧化碳交换[J].应用生态学报,2008,19(12):2605-2610.
- [10] 康文星,田徽,何介南,等.洞庭湖湿地植被系统的碳贮量及其分配[J].水土保持学报,2009,23(6):129-133.
- [11] GORHAM E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming [J]. Ecological applications, 1991, 1(2): 182-195.
- [12] SUTULA M A, PEREZ B C, REYES E, et al. Factors affecting spatial and temporal variability in material exchange between the Southern Everglades wetlands and Florida Bay (USA) [J]. Estuarine, coastal and shelf science, 2003, 57: 757-781.
- [13] SOVIK A K, KLOVE B. Emission of N₂O and CH₄ from a constructed wetland in southeastern Norway [J]. Science of the total environment, 2007, 380: 28-37.
- [14] 张法伟,刘安花,李英年,等.青藏高原高寒湿地生态系统 CO₂ 通量[J].生态学报,2008,28(2):453-462.
- [15] 张小全,吴可红.森林细根生产和周转研究[J].林业科学,2001,37(3):126-138.
- [16] 王文颖,王启基,王刚,等.高寒草甸土地退化及其恢复重建对植被碳、氮含量的影响[J].植物生态学报,2007,31(6):1073-1078.
- [17] 展争艳,李小刚,张德罡,等.利用方式对高寒牧区土壤有机碳含量及土壤结构性质的影响[J].土壤学报,2005,42(5):777-782.
- [18] 唐明坤,李明富,赵杰,等.四川若尔盖县不同退化程度高寒草地群落比较研究[J].广西植物,2011,31(6):775-781.
- [19] CARROLL P, CRILL P. Carbon balance of a temperate poor fen [J]. Global biogeochemical cycle, 1997, 11(3): 349-356.
- [20] SILVOLA J, ALM J U, NYKANEN H, et al. CO₂ fluxes from peat in boreal mires under varying temperature and moisture conditions [J]. Journal of ecology, 1996, 84(2): 219-228.
- [21] HOGBERG P, NORDGEN A, BUCHMANN N, et al. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration [J]. Nature, 2001, 411(6839): 789-792.
- [22] BOWDEN R D, NADELHORRER K J, BOONE R D, et al. Contributions of above ground litter, below ground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest [J]. Canadian journal of forest research, 1993, 23(7): 1402-1407.

Carbon cycling in three vegetation ecosystems in Dongting Lake wetland

YU Rong¹ XIANG Wenhua^{1,2}

1. College of Life Science and Technology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;

2. National Engineering Laboratory for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha 410004, China

Abstract The plant biomass, soil CO₂ and CH₄ emission rates of wetland were determined and used to analyze the carbon cycling between the atmosphere, plants and soil of three wetland plants ecosystems in Dongting Lake. The results showed that the air traffic flow vegetation carbon of herbs, trees and aquatic plant systems was 6.02, 6.00 and 2.01 t/(hm² · a). The plant layer carbon flux to the soil was 2.21, 1.04 and 0.73 t/(hm² · a). The soil carbon flux to the atmosphere was 2.36, 2.14 and 1.29 t/(hm² · a). There was carbon sink function in the carbon cycle in the atmospheric, vegetation and soil subsystem of three kinds vegetation ecosystem, which the net system productivity was in the order of the herbs (5.87 t/(hm² · a)) > tree plant (4.90 t/(hm² · a)) > aquatic systems (1.45 t/(hm² · a)). The content of this study only involved with the carbon cycle of wetland vegetation systems atmosphere, plants, soil between and did not involve with wetland hydrological geochemical processes in the carbon cycle. The comprehensive analysis of effects of the carbon cycle wetland system of the entire process, wetlands hydrogeochemical process on wetland carbon cycle should be the focus of further studies.

Keywords carbon flux; Dongting Lake wetland; herb vegetation; aquatic vegetation; arbor forest vegetation; net productivity; net fixed carbon

(责任编辑:陆文昌)