

# 淮北平原四种土地利用类型非生长季土壤呼吸速率

高东<sup>1</sup>, 鲁绍伟<sup>1,2</sup>, 饶良懿<sup>1\*</sup>, 李佳<sup>1</sup>, 张滕<sup>1</sup>, 靳阿亮<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;  
2. 北京市农林科学院, 北京 100093)

**摘要:** 为了探讨杨树人工林撂荒地、农耕地、农林复合模式的林地和农林复合小麦地的 4 种土地利用方式对温室气体 CO<sub>2</sub> 增长及其通量的影响, 利用 Licor-8100 土壤碳通量测定系统对以上 4 种不同土地利用的土壤呼吸速率变化进行了研究。结果表明: 4 种土地利用类型的土壤呼吸速率在非生长季冬季的月内变化和日变化不明显, 都保持在低的 CO<sub>2</sub> 释放水平; 不同土地利用类型土壤呼吸速率表现出明显的空间异质性; 农林复合小麦地土壤呼吸速率在非生长季与其影响因素的关系在 2009 年 12 月份的关系不明显, 2010 年 1 月份和 2 月份随着气温的升高, 土壤呼吸速率与温度的相关性逐渐增大, 与其他因子的相关性也变大, 但增加的幅度较小; 4 种土地利用类型中, 农林复合冬小麦地的 CO<sub>2</sub> 平均通量为最小, CO<sub>2</sub> 的释放量比例最小, 为 22.55%, 比农田小麦地、撂荒地和农林复合隔离带林地分别减少 3.02%、0.85% 和 6.00% 的 CO<sub>2</sub> 释放。农林复合模式的 CO<sub>2</sub> 释放量比农田小麦地多释放 2.85%, 与人工林撂荒地的土壤呼吸速率相同。

**关键词:** 土壤, 试验, 二氧化碳, 淮北平原, 土地利用类型, 冬小麦, 农林复合, 土壤呼吸速率

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.04.016

中图分类号: S154.1, S181

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-04-0094-06

高东, 鲁绍伟, 饶良懿, 等. 淮北平原四种土地利用类型非生长季土壤呼吸速率[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 94-99.

Gao Dong, Lu Shaowei, Rao Liangyi, et al. Soil respiration flux of four land-use types in non-growing season in North Plain of Huai River [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 94-99. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

自欧洲工业革命以来, 大气 CO<sub>2</sub> 浓度持续增加, 已经从 20 世纪 80 年代的 280 μmol/mol, 增加到 1998 年的 358 μmol/mol<sup>[1]</sup>, 并以每年 1.8 μmol/mol 左右的速度增加<sup>[2]</sup>, 预计 21 世纪末将达到 650~700 μmol/mol<sup>[3-4]</sup>。CO<sub>2</sub> 浓度的增加, 导致温室效应, 气温上升, 造成气候灾害越来越多, 带来巨大的损失。土壤表层 CO<sub>2</sub> 的释放是陆地生态系统碳循环中关键部分, 其排放到大气中的 CO<sub>2</sub> 量仅次于植被冠层光和作用所固定的量<sup>[5]</sup>, 土壤中含碳量的微小变化将使大气 CO<sub>2</sub> 浓度发生很大的变化。

自上个世纪 80 年代以来, 国外对不同土地利用方式和森林碳生态系统的碳储量、碳循环等进行了大量研究, 代表性的科学家有 Shuttleworth, Grace 等, 他们对水汽通量<sup>[6-8]</sup>、CO<sub>2</sub> 通量进行了观测<sup>[9]</sup>, 为量化森林是作为全球的碳源还是作为碳汇提供了有效的途径<sup>[10]</sup>。20 世纪 80 年代末, 中国科学家们开始应用涡度相关方法对热带森

林的碳通量进行观测并深入研究。进入 21 世纪后, 有关森林生态系统碳通量的研究大量涌现, 大多针对整个生态系统碳汇与碳库的动态变化规律, 以及温度、土壤含水率、光照强度等环境影响因子对森林土壤碳的影响机制<sup>[11-15]</sup>, 之后对草原生态系统和高山草甸等生态系统的碳储量以及土壤呼吸进行了研究, 尤其对 CO<sub>2</sub> 释放起主要作用的土壤的碳通量进行测定和分析<sup>[12,16-17]</sup>, 研究显示高山草甸不同土地利用格局的 CO<sub>2</sub> 释放量在生长季和非生长季不同。目前关于生态系统碳的研究已经由森林领域扩展至高寒、干旱等极端气候地区, 土壤的 CO<sub>2</sub> 释放量和土壤呼吸速率在高寒区和干旱区的表现不同于平原、温带森林等的表现, 受影响的主要因子有所改变<sup>[12,17]</sup>。对于不同林分、不同植被覆盖、不同土地利用方式和生物群落的土壤呼吸对比研究也逐渐增多, 对各自的类型特点进行了详细的研究<sup>[13,15,18-19]</sup>。同时对农耕地, 尤其是小麦地和水稻在正常和施肥等条件下的土壤呼吸也有较多的研究<sup>[14,20-21]</sup>。但在相同地域条件下平原农耕地、农林复合地和人工林撂荒地土壤呼吸速率的研究进行的相对较少。

以河南省西平县为例, 对农耕地、杨树人工林撂荒地、农林复合模式的林地和农林复合小麦地的 4 种土地利用方式非生长季节冬季的土壤呼吸速率进行连续观测, 探讨土壤呼吸速率冬季的月变化和日变化特征及其机理, 分析比较它们之间的差异和影响其变化的主要原因。探索和认清土壤 CO<sub>2</sub> 释放规律和对控制和缓解整个系统 CO<sub>2</sub> 的释放具有重要的指导意义。为丰富淮北平原杨树人工林土壤呼吸速率基础数据, 科学评估中国温带

收稿日期: 2010-04-18 修订日期: 2011-02-15

基金项目: 林业公益性行业科研专项“华北平原杨树人工林碳通量测算技术研究(200804013)”

作者简介: 高东(1983-), 男, 陕西榆林, 主要从事森林土壤碳通量和生态水文研究。北京 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 100083。

Email: gaodong\_xianshannxi@126.com

\*通信作者: 饶良懿(1976-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 从事森林生态水文和水土保持等研究。北京 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 100083。Email: raoliangyi@bjfu.edu.cn

森林土壤碳库的动态提供支撑。

## 1 研究区概况

淮北平原农林复合生态系统定位研究站位于河南省西平县东, 地处淮河流域上游, 亦属于淮北平原, 是北亚热带和暖温带的过渡区, 属湿润大陆性季风气候。

试验区包括农耕地和农林复合模式的林地隔离带和耕地以及纯人工林撂荒地。农耕地为一年两收模式, 从6月至10月种植玉米、大豆, 玉米等; 从10月到次年6月则种植小麦。农林复合隔离带林地隔离带树种和人工林撂荒地的树种以欧美杨为主, 树龄为7 a。农林复合模式的规格为, 隔离带之间的距离为10 m左右, 隔离带林地宽为2 m左右。人工林自然撂荒地地表植被种类不多, 且生长量小, 种类稀少, 生态系统结构简单, 抗性较弱。

## 2 试验设计和研究方法

根据土地利用方式不同, 确定4种土地利用类型, 分别为农耕地、人工林撂荒地、农林复合小麦地和隔离带林地。

农田试验区面积3 600 m<sup>2</sup>, 规格为60 m×60 m。其种植的冬小麦和农林复合模式的冬小麦品种以及耕作方式一致, 按照正常的传统种植管理, 尽量保持不干扰正常的耕作管理, 该地设立样方, 样方内分别设立采样点。

农林复合模式试验区面积为5 000 m<sup>2</sup>, 规格为100

m×50 m, 分为隔离带林地和冬小麦地, 试验时间处于小麦的分蘖期和越冬期, 在小麦地的不同位置设立样方; 隔离带林地设样方, 分别设置测量点。

人工林撂荒地试验区面积为7 200 m<sup>2</sup>, 规格为120 m×60 m, 在各典型植被覆盖类型的样地中分别设立测量点。以上各土地利用类型的数值均取其平均值。

在选择好各测量点后, 将环刀水平放置, 然后用恒力将环刀垂直缓慢打入, 环刀上面用软木或朽木作为缓冲垫, 以免环刀受损。打入土部分在4~6 cm为宜。在安放好之后约12 h后方可进行测定, 测定时采用美国Licor-8100土壤碳通量测定仪进行定时连续测定。试验测定时间为每月7日, 13日, 21日, 29日共4次, 全天24 h测定, 测定频率为8次, 每3 h循环测定一次, 试验从2009年12月开始。

## 3 结果与分析

### 3.1 4种土地利用方式的土壤呼吸速率

由于撂荒地植被覆盖不同, 为使数据结果具有代表性, 对农耕地和农林复合模式小麦地、隔离带林地和人工林撂荒地12月份到次年2月份的土壤呼吸速率进行了测定分析, 结果表明: 隔离带林地的土壤平均呼吸速率在所有的4种土地利用类型中最高, 为133.58 mg/(m<sup>2</sup>·h), 农林复合耕地的土壤平均呼吸速率最低, 为99.79 mg/(m<sup>2</sup>·h) (表1)。

表1 4种类型植被的土壤呼吸速率及多重比较  
Table 1 Multiple comparison of respiration flux of soil with four land-use types in North Plain of Huai River

土地利用类型	植被类型	平均呼吸速率 (mg·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	通量变化范围 (mg·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	X <sub>i</sub> -99.79	X <sub>i</sub> -127.25	X <sub>i</sub> -127.25
农林复合隔离带林地	苍耳等	133.58	89.5~286.8	33.79**	6.33	6.33
人工林撂荒地	小藜、牛筋草、水蓼、灰灰菜等	127.25	100.8~237.2	27.49**	0	
农耕地	冬小麦	127.25	27.6~408.3	27.49**		
农林复合耕地	冬小麦	99.79	76.1~250.4			

注: 2009年12月-2010年2月测定; \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ ,  $n = 290$

从土壤呼吸速率平均值所释放CO<sub>2</sub>总量来看, 4种土地利用类型在非生长季的CO<sub>2</sub>释放量大小顺序为农林复合隔离带林地>人工林撂荒地>农耕地>农林复合耕地。但是其最大值和最小值的大小顺序并不和其平均值大小排列一致, 其中波动最大的农耕地, 波动最小的为人工林撂荒地的土壤呼吸。

土壤植物根密度较大的撂荒地呼吸较活跃的土壤呼吸速率的不稳定, 小麦地因为小麦的种植, 根密度大, 且都为活根, 其呼吸速率也很不稳定; 人工林撂荒地因为根密度小, 呼吸不强烈且土壤密度较大而CO<sub>2</sub>释放变化较小(表1)。各种植被类型覆盖下总体的土壤呼吸速率值有极显著的差异, 多重比较知, 农林复合耕地和其他3类型相差均为极显著, 其他类型之间的差异均为不显著。

由于植被可以通过影响土壤微生物、土壤结构、土壤含水率、土壤营养物质的含量和质量以及不同植物根系的差异性来影响土壤呼吸速率<sup>[22]</sup>, 地表植被覆盖不同的杨树人工林在生长季也表现出不同的土壤呼吸速率<sup>[23]</sup>, 但此4种土地类型的差异在冬季并未有明显的表现,

即在低温的非生长季不同土地类型的差异不明显。

农林复合耕地由于土壤中人为干扰较大, 土壤间隙大, 原来土壤的结构被破坏, 虽然有较多的小麦根, 但是小麦进入了越冬期, 根部呼吸强度弱, 在4个类型中最小; 农耕地同样由于人为干扰较大, 因为没有受杨树林的影响, 其土壤呼吸速率与有植被生长, 土壤结构稳定, 微生物数量较多人工林撂荒地接近; 农林复合隔离带林地因为有杨树根的存在, 其呼吸强度较大, 其土壤呼吸速率最大。

### 3.2 农林复合地小麦非生长季土壤呼吸速率变化及其主因子分析

非生长季内, 小麦的分蘖期和越冬期的土壤平均呼吸速率和其总量都存在着不同变化。2010-02-15的土壤呼吸速率值最大, 为112.5 mg/(m<sup>2</sup>·h), 2010-01-15的土壤呼吸速率最小, 为60.2 mg/(m<sup>2</sup>·h)。显著性检验得: 非生长季内6个时期的土壤呼吸速率总体呈极显著差异, 多重比较知, 1月份和其他2个月的土壤呼吸速率有极显著或显著差异(表2)。说明非生长季冬季土壤呼吸速率总体

较小, 但 6 个日期的土壤呼吸速率差异较大, 其变化趋势和温度的变化趋势一致。

表 2 不同日期土壤呼吸速率及多重比较  
Table 2 Multiple comparison of respiration flux of soil in different period in North Plain of Huai River

测量日期	土壤呼吸总量 ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )	呼吸速率/ ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )		平均呼吸速率 ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )	$X_{T-60.2}$	$X_{T-71.3}$	$X_{T-85.5}$	$X_{T-107.7}$	$X_{T-109.3}$
		最小值	最大值						
2009-12-01	2.6	48.5	180.9	109.3	49.1**	38.0**	23.8*	1.6	
2009-12-15	2.1	49.3	176.5	85.5	25.3**	14.2			
2010-01-01	1.7	52.7	120.1	71.3	11.1				
2010-01-15	1.4	45.5	133.9	60.2					
2010-02-01	2.6	55.9	150.2	107.7	47.5**	36.4**	22.2*		
2010-02-15	2.7	53.8	177.3	112.5	52.3**	41.2**	27.0*	4.8	3.2

注: \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ ,  $n=549$ 。

试验中测定的因子有土壤体积含水率 (vwc)、土壤温度 ( $T_s$ )、空气温度 ( $T_a$ )、空气相对湿度 (RH)、空气压强 (Pa)、空气含水率 ( $C_{H_2O}$ ) 和空气  $CO_2$  含量 ( $C_{CO_2}$ )，由于地表温度和土壤温度 (5 cm 处) 相关性非常好, 相关系数为 0.83, 所以二者合为一个因子, 用地表温度代替。空气含水率和空气相对湿度是同一现象的 2 种表示, 也将它们合为一个因子, 用空气水分子浓度表示, 运用 Pearson 方法分别对所进行测定的环境因子进行双尾相关性检验, 得土壤呼吸速率与各因子在非生长季内的相关关系 (表 3)。

表 3 不同日期影响土壤呼吸速率的主要因子

Table 3 Main factors that influence the respiration flux of soil in different period

影响因素	决定系数 $R^2$ 及相关性		
	2009-12	2010-01	2010-02
温度/ $^{\circ}\text{C}$	0.163	0.913**	0.843**
气压/kPa	0.240	0.005	0.255
土壤含水率/%	0.086	0.081	0.213
空气相对湿度/%	0.107	0.192	0.267
空气 $CO_2$ 含量 ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	0.010	0.169	0.228

注: \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ 。

对以上 5 个因子和土壤呼吸速率进行相关性分析得: 除温度外其他因素与土壤呼吸速率的关系在非生长季节内均为表现为不明显, 作图分析知, 土壤呼吸速率与气压的关系基本表现为不相关; 与土壤含水率、空气相对湿度和空气  $CO_2$  含量的相关度逐渐变大, 其中与空气  $CO_2$  含量表现出较明显的负相关关系, 即空气相对湿度越大, 以及  $CO_2$  含量越大越不利于土壤的呼吸作用。空气中  $CO_2$  浓度越大, 由于  $CO_2$  气压差的减少, 不利于土壤中的  $CO_2$  气体排放。

和杨树人工林 5 种植被类型土壤呼吸速率在秋季与各影响因素的相关关系不同<sup>[23]</sup>, 在非生长季节的 3 个月内影响土壤呼吸速率的主要因子很少且单一, 在温度较低的 12 月份土壤呼吸速率和各个影响因子的相关性均表现为不相关, 即在温度较低条件下, 土壤呼吸速率基本不受其他因子影响; 随着温度的上升, 1 月和 2 月中,

也只和温度表现出显著的相关关系 (表 3)。其他因子随着温度的上升, 与土壤呼吸速率的相关度也有所增加, 但不明显, 即温度的升高, 其他因子的变化也开始逐渐影响土壤呼吸速率强度。

### 3.3 4 种土地利用方式土壤呼吸速率在非生长季日变化和差异分析

12 月份 4 种土地利用方式的土壤呼吸速率日变化趋势基本一致, 都较小且波动不大, 与温度变化没有明显的一致性, 但是它们  $CO_2$  的释放速率的大小变化趋势却不同 (图 1a)。4 种类型的差异都较小; 整条曲线没有典型的峰值, 只要在中午 2:00 左右有个微小的峰值, 但不明显; 最大最小之间差值较小; 1 月份除了农林复合的日变化的数值较大之外, 4 种的变化趋势一致, 各自之间的差异也比较小, 与温度的变化的相关性开始变大 (图 1b); 2 月份土壤呼吸速率逐渐变大, 有 2 个明显的特征, 一个是 4 种类型之间的差异开始变大, 另一个是他们的变化趋势一致, 与温度的日变化的相关性在 3 个月中最大 (图 1c)。3 个月中 1 月份和 2 月份有明显的峰值, 最高峰值出现在中午 1 点和 2 点左右, 两者呈典型的单峰曲线。

距离杨树最近的农林复合隔离带林地因为杨树根的呼吸作用, 其呼吸速率大于撂荒撂荒地的土壤呼吸速率。农林复合小麦地的呼吸速率均小于撂荒地和农林复合隔离带林地的土壤呼吸速率。说明农林复合小麦地活根的呼吸速率小于自然撂荒地枯落物和死根的土壤呼吸速率, 即撂荒地的土壤  $CO_2$  的释放显著高与农林复合小麦地的释放量。农田小麦地的土壤呼吸速率值大于撂荒地的呼吸速率小于农林复合隔离带林地的呼吸速率, 与农林复合隔离带林地差异显著, 与撂荒地差异不显著, 说明农田小麦地活根的呼吸速率大于撂荒地枯落物和死根的呼吸速率而小于农林复合隔离带林地杨树根、枯落物和死草根的呼吸速率。

农林复合生态系统大的 4 种土地利用方式中农林复合隔离带林地土壤呼吸速率最大, 农田小麦地次之, 农林复合小麦地最小, LSD 多重分析比较得, 农林复合隔离带林地与其他土地的土壤呼吸速率差异显著; 农林复合小麦地, 农田小麦地和撂荒地之间的土壤呼吸速率没有明显差异。

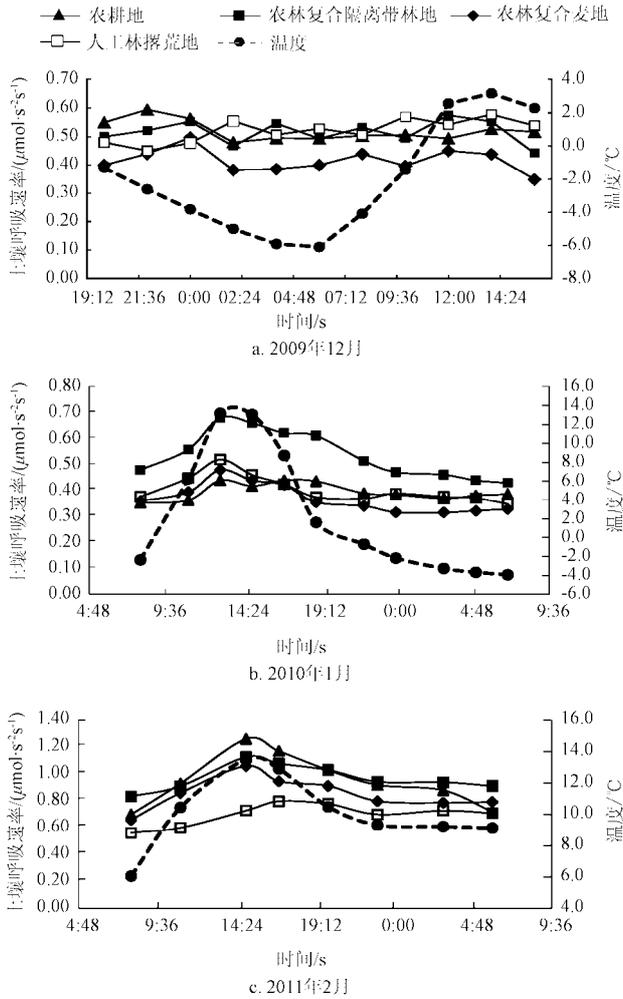


图 1 4 种土地利用类型非生长季月平均日变化

Fig.1 Diurnal variation of  $R_s$  of four land-use types non-growing season

### 4 讨论

造成不同土地利用非生长季节土壤呼吸速率差异的因素有土壤稳定性，地表空气的流通性，与杨树距离及竞争关系。土壤稳定性较小，即人为干扰少土壤（人工林撂荒地、农林复合隔离带林地）的土壤呼吸速率较农田小麦地和农林复合小麦地受人为扰动大的土壤呼吸速率大；空气流通性好的农田麦地的土壤呼吸速率较空气流动性差的农林复合小麦地土壤呼吸速率大；而与杨树较远（大于 5 m）、杨树根呼吸对土壤呼吸速率影响小的撂荒地的土壤呼吸速率则小于距离杨树较近（小于 0.5 m）、受杨树根呼吸影响较大的农林复合隔离带林地。此影响因素可以归结为土壤内植物根密度对土壤呼吸速率的影响。可以粗略的确定根有杨树根密度较大的农林复合隔离带林地的土壤呼吸速率比没有杨树根的根密度较小的林内撂荒地的土壤呼吸速率大。

试验中根密度大小测定的标准存在差异，根的数目、长度、直径和所处的土层深度都影响土壤呼吸速率的大小，在今后的试验和研究中需定性和定量的描述其对土壤呼吸速率的影响。与杨树距离的描述也存在缺陷，到底多远土壤呼吸速率才受到杨树的影响，土壤呼吸速

率与距离杨树距离的具体关系是什么，还没有定量的数据描述，本文只是对 0.5 m 距离和 4~5 m 距离的影响差异进行了比较。再者，由于试验条件和环境的限制，没能对整个非生长季节的不同土地利用类型的土壤呼吸速率进行详细的分析处理，势必对非生长季节的土壤呼吸速率数据的代表性造成了一定的影响。

今后的试验和研究中从以下几个方面进行进一步的研究：完善不同天气状况下、不同季节的土壤呼吸速率数据的全部采集，使得数据的统一性、整体性更加完善，掌握各种环境情况下土壤呼吸速率的变化情况；完成土壤呼吸速率同杨树距离的关系分析，进一步明确杨树对土壤呼吸速率的影响范围，完成不同树龄的杨树的土壤呼吸速率影响范围变化趋势；对产生  $CO_2$ 、影响土壤呼吸速率主要因素——土壤根，从密度、直径、长度、表面积以及根的深度等方面进行分析，明确植物根对土壤呼吸速率的具体影响方式，最终尝试确定杨树根对土壤呼吸速率影响程度的衡量标准。

### 5 结论

1) 4 种土地利用类型在非生长季的  $CO_2$  释放量大小顺序为农林复合隔离带林地 > 人工林撂荒地 > 农耕地 > 农林复合耕地。农林复合隔离带林地的土壤平均呼吸速率最高，为  $133.58 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，农林复合耕地的土壤平均呼吸速率最低，为  $99.79 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。但他们的波动性大小有不同，最大的农耕地，最小的为人工林撂荒地的土壤呼吸。

2) 冬小麦在非生长季的 3 个月份里土壤的呼吸速率变化趋势先变小后变大的趋势，1 月份的最小。2 月份大于 12 月份。在温度较低的 12 月份土壤呼吸速率和各影响因素的相关性很小，即在温度较低条件下，土壤呼吸速率基本不受气体因子影响；1 月和 2 月的温度与土壤呼吸速率表现出极显著的相关关系。其他因素随着温度的上升，与土壤呼吸速率的相关度有所增加。

3) 在 4 种不同土地利用方式中，12 月份的土壤呼吸速率的日波动曲线没有典型的峰值，与温度变化没有明显的一致性；1 月份和 2 月份的平均日变化为典型的单峰曲线，最大极值出现在中午 1 点到 2 点之间。4 种土地利用的土壤  $CO_2$  贡献率分别为：复合农林模式的小麦地最小为 22.55%，农林复合隔离带林地最大为 28.53%，撂荒地 23.40%，农田小麦地为 25.53%。

从农田小麦地到农林复合小麦地，土壤  $CO_2$  释放量减少，人工林撂荒地土壤  $CO_2$  的释放速率大于农林复合小麦地，说明农林复合小麦地能降低  $CO_2$  的释放，经计算得农林复合小麦地比农田小麦地减少 3.02% 的释放量，而比农林复合隔离带林地和人工林撂荒地分别减少 6.00% 和 0.85% 的  $CO_2$  释放。即淮北平原农林复合模式在非生长季节从土壤向大气释放的  $CO_2$  气体比农耕地和撂荒的土地利用方式少。由农林复合隔离带林地和小麦地形成的农林复合模式的  $CO_2$  释放量比农田小麦地多释放 2.85%，和人工林撂荒地基本相同。

## [参 考 文 献]

- [1] Raich J W, Schlesinger W H. The carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. *Tellus*, 1992, 44(B): 81—99.
- [2] Neftel A, Moor E, Oeschger H, et al. Evidence from polar ice cores for the increase in atmospheric CO<sub>2</sub> in the past two centuries[J]. *Nature*, 1985, 315(2): 45—47.
- [3] 叶笃正, 陈泮勤. 中国的全球变化预研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992: 1—21.
- [4] Tegart W J McG, Sheldon G W and Griffiths D C. Climate Change[R]. Canberra: Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990.
- [5] 郑泽梅, 张弥, 温学发, 等. 长白山温带混交林林冠下层 CO<sub>2</sub> 通量对生态系统收支的贡献[J]. *生态学报*, 2009, 29(1): 1—8.  
Zheng Zemei, Zhang Mi, Wen Xuefa, et al. Contributions of below-canopy CO<sub>2</sub> fluxes to ecosystem carbon budget of a temperate mixed forest in Changbai Mountain[J]. *Acta Ecologica Sin*, 2009, 29(1): 1—8. (in Chinese with English abstract)
- [6] Shuttleworth W J, Gash J H C, Lloyd C R, et al. Eddy correction measurements of energy partition for Amazonian forest[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1984, 110(a): 1143—1162.
- [7] Shuttleworth W J, Gash J H C, Lloyd C R, et al. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1984, 110(b): 1163—1169.
- [8] Grace J, Malhi Y, Lloyd J. The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake of Brazilian rain forest [J]. *Global Change Biology*, 1996, (2): 209—217.
- [9] Fan S M, Wofsy S C, Bakwin P S, et al. Atmosphere-biosphere exchange of CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in the central Amazon forest[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1990, 95(D10): 16851—16864.
- [10] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. *Science*, 1994, 263 (14): 185—190.
- [11] 彭镇华, 王妍, 任海青, 等. 安庆杨树人工林生态系统碳通量及其影响因子研究[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(2): 237—242.  
Peng Zhenhua, Wang Yan, Ren Haiqing, et al. Research on the variation of carbon flux and the relationship of environmental factors and carbon flux of populus forest ecosystem in the reaches of Yangtze River in Anqing[J]. *Forest research*, 2009, 22(2): 237—242. (in Chinese with English abstract)
- [12] 黄湘, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河中下游胡杨群落土壤碳通量日变化研究[J]. *自然科学进展*, 2006, 16(11): 1405—1410.
- [13] 王国兵, 唐燕飞, 阮宏华, 等. 次生栎林与火炬松人工林土壤呼吸的季节变异及其主要影响因子[J]. *生态学报*, 2009, 29(2): 965—975.  
Wang Guobing, Tang Yanfei, Ruan Honghua, et al. Seasonal variation of soil respiration and its main regulating factors in a secondary oak forest a pine plantation in north-subtropical in China[J]. *Journal of Ecology*, 2009, 29(2): 965—975. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李俊, 于强, 孙晓敏, 等. 华北平原农田生态系统碳交换及其环境调控机制[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2006, 36: 210—223.
- [15] 史广松, 刘艳红, 康峰峰. 暖温带森林土壤呼吸随林分类型及其微生境因子的变异规律[J]. *江西农业大学学报*, 2009, 31(3): 408—415.  
Shi Guangsong, Liu Yanhong, Kang Fengfeng. Law of variation of soil respiration rates in Warm Temperate Forests with forest types[J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 2009, 31(3): 408—415. (in Chinese with English abstract)
- [16] 陶贞, 沈承德, 高全州, 等. 高寒草甸土壤有机碳储量和 CO<sub>2</sub> 通量研究[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(4): 553—563.
- [17] 曹广民, 李英年, 张金霞, 等. 高寒草甸不同土地利用格局土壤 CO<sub>2</sub> 的释放量[J]. *环境科学*, 2001, 22(6): 14—19.
- [18] 冯朝阳, 吕世海, 高吉喜, 等. 华北山地不同植被类型土壤呼吸特征研究[J]. *北京林业大学学报*, 2008, 30(2): 20—26.  
Feng Chaoyang, Lü Shihai, Gao Jixi, et al. Soil respiration characteristics of different vegetation types in the mountain areas of North China[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(2): 20—26. (in Chinese with English abstract)
- [19] 刘尚华, 吕世海, 冯朝阳, 等. 京西百花山区六种植物群落凋落物及土壤呼吸特征研究[J]. *中国草地学报*, 2008, 30(1): 78—86.  
Liu Shanghua, Lü Shihai, Feng Chaoyang, et al. Study on soil and litter respiration characteristics of six communities in Baihua Mountainous Area in West Beijing[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2008, 30(1): 78—86. (in Chinese with English abstract)
- [20] 刘合明, 刘树庆. 不同施氮水平对华北平原冬小麦土壤呼吸速率的影响[J]. *生态环境*, 2008, 17(3): 1125—1129.  
Liu Heming, Liu Shuqing. Effect of different nitrogen levels on soil CO<sub>2</sub> fluxes of winter wheat in North China Plain[J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(3): 1125—1129. (in Chinese with English abstract)
- [21] 毕建杰, 王琦, 张衍华, 等. 施肥对不同品种麦田 CO<sub>2</sub> 通量的影响[J]. *中国农业通报*, 2006, 22(6): 459—463.  
Bi Jianjie, Wang Qi, Zhang Yanhua, et al. Effects of fertilizer application on CO<sub>2</sub> flux from wheat[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(6): 459—463. (in Chinese with English abstract)
- [22] 谭笑, 乔杰, 孙向阳. 温带森林土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 29(1): 34—39.  
Tan Xiao, Qiao Jie, Sun Xiangyang. Flux of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in temperate forest soil[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 29(1): 34—39. (in Chinese with English abstract)
- [23] 高东, 鲁绍伟, 饶良懿, 等. 华北平原杨树人工林五种植被类型土壤 CO<sub>2</sub> 通量研究[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(4): 203—212.

Gao Dong, Lu Shaowei, Rao Liangyi, et al. Soil CO<sub>2</sub> flux of five types of vegetation in poplar plantation of Chinese North

Plain Region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(4): 203—212. (in Chinese with English abstract)

## Soil respiration flux of four land-use types in non-growing season in North Plain of Huai River

Gao Dong<sup>1</sup>, Lu Shaowei<sup>1, 2</sup>, Rao Liangyi<sup>1\*</sup>, Li Jia<sup>1</sup>, Zhang Teng<sup>1</sup>, Jin Aliang<sup>1</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation of Beijing Forestry University, Key Laboratory for Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences 100093, China)

**Abstract:** To probe the effects of four land-use types, i.e. wood land and wheat land of agro-forestry model, poplar plantation abandoned land and wheat land, on the increase and the flux of CO<sub>2</sub>, the Licor-8100 Automated Soil CO<sub>2</sub> Flux System was used to monitor the change of carbon flux of soil from the four land-use types. The soil respiration (Rs) of them was studied systematically. The results showed that the monthly variation and diurnal variation of Rs of four land-use types were lower and had no significant change. The average soil respiration flux of wheat land of agro-forestry model was the smallest and the contribution rate of respiration flux of soil was 22.55%, which was 3.02% less than that of crop land, 6.00% less than that of wood land of agro-forestry model and 0.85% less than that of the plantation abandoned land. The soil respiration flux of agro-forestry model was 2.85% less than that of the plantation abandoned land and was the same with that of wheat land. The relationship of soil respiration and the factors was not significant in October, but became significant with temperature increasing and other factors in January and February.

**Key words:** soils, experiments, carbon dioxide, north plain of huai river, land-use type, winter wheat, agro-forestry model, respiration flux of soil