

紫色土丘陵区典型林地土壤温室气体释放研究^{*}

孙 凡¹,袁红叶^{1,2},朱 波²,王小国²,于亚军²

(1. 西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室、资源环境学院,重庆 400716 ;

2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所,成都 610041)

摘 要 采用动态-密闭气室法(LI-6400-09)对紫色土丘陵区三种典型林地土壤温室气体释放进行连续测定。结果表明,温度是影响土壤呼吸的关键因子,各林地土壤呼吸速率与土壤温度呈正相关,都随温度呈指数增长。在温度较低的冬春季,土壤湿度对土壤呼吸的影响不明显,温度较高的夏季土壤湿度与林地(桉树、柏树)土壤呼吸速率呈显著性抛物线相关($p < 0.05$);三种林地中,针叶林柏树林地土壤呼吸与土壤湿度相关性最好,当土壤含水量 $< 25\%$ 时,随着湿度的增加,土壤呼吸速率逐渐增大,之后随着湿度的增大,土壤呼吸速率逐渐减小。各季节的日变化规律表现不一致,冬春两季各林地土壤呼吸都和土壤温度的日变化趋势保持一致,表现为先升后减的趋势;夏秋两季,因为较高的土壤温度和表层土壤相对湿度的剧烈波动,各林地土壤呼吸日变化呈现不规则波动。

关键词 林地; 温室气体; 土壤温度; 土壤湿度

中图分类号 S714

文献标识码 :A

文章编号 :1672-6693(2008)04-0016-06

全球变暖是人类面临的最严峻的环境问题之一。研究表明,CO₂ 是最重要的温室气体,它对全球变暖的贡献率超过 60%。土壤是一个巨大的 C 库,土壤 C 库的微小变化都可导致大气 CO₂ 浓度的显著变化^[1]。森林土壤中的碳占全球有机碳的 73%,森林土壤中产生的 CO₂ 是大气 CO₂ 的重要来源之一^[2,3]。可见,准确测定森林土壤与大气之间的 CO₂ 交换,进而通过人工调节来减少其释放或者促进吸收具有重要理论和现实意义。国外从 20 世纪 70 年代开始重视对土壤呼吸释放 CO₂ 的研究,而我国有关土壤呼吸的研究起步较晚,针对农田生态系统的研究较多,近年来对森林生态系统土壤呼吸的研究也逐渐增多,主要集中在温带和热带地区,但是亚热带人工林土壤呼吸研究较少,紫色土丘陵区的人工林地土壤呼吸尚未见报道。青冈、桉木和柏树是紫色土丘陵区三种典型树种,尤其柏树人工林,在当地森林占有非常大的比重,作为土壤 C 库在释放 CO₂ 方面也有重要作用,因此本文通过野外土壤培养结合定位观测研究这三种林地的土壤呼吸,试图阐明川中丘陵区不同林地土壤呼吸的差异及变化规律,不仅为了解森林生态系统的碳收支状况提供基础数

据,也可以为该地区合理的营林措施以提高森林 C 吸存能力提供科学数据,对长江上游、三峡地区的生态环境建设也具有重要的意义。

1 实验区自然概况

试验地位于中国科学院四川盐亭紫色土农业生态试验站森林小气候观测点(E105°28', N31°16'),海拔 560 m,中亚热带季风气候,年均气温 17.3 ℃,大于 0 ℃的积温为 300 ~ 5700 ℃,多年平均降雨量 825.5 mm,无霜期 294 d。本区为典型的川中丘陵地带,自然植被类型为纯柏林(*Cypresses funebris*)、桉木(*Alder cremastogyne*)和柏木(*Cypresses funebris*)混交林,散生乔木及黄茅草(*heteropogon contortus*)等,林下灌木和草本稀疏,灌木主要是黄荆(*Vites negundo*)、马桑(*Coriana sinica*),草本以禾本科(*Gramineae*)、莎草科(*Cyperaceae*)等为主。

2 研究方法

2.1 土壤培养试验

试验开始于 2006 年 11 月,历时 13 个月。分别采集三种林地表层(0 ~ 10 cm)土壤,土壤取出植物

* 收稿日期 2008-07-20 修回日期 2008-08-26

资助项目 国家自然科学基金重大项目(No. 40331014)、国家重点基础研究发展计划(No. 2005CB121108)、重庆气象局课题资助(2007)

作者简介 孙凡(1956-),博士,教授,研究方向为生态学、水土保持及可持续发展等。

根系和凋落物,过3 mm筛,按随机区组设计装入事先埋在实验样地内的PVC管中,并做好标记。取土的同时分别选取5个边长为50 cm的样方,收取林下枯枝落叶,包括半分解凋落物及腐殖质层和未分解凋落物层。根据样方中每平方米的枯枝落叶现存量,和PVC管口面积分别加入与林分土壤相对应的凋落物。PVC管两端开口,长度20 cm,口径100 mm,与LI-6400气室口径标准相同,上端管口高出地面4 cm,管内土壤表面与地面持平。每种林地土壤设置有枯枝落叶(常规处理)和去除枯枝落叶(裸地处理)2种处理,每种处理设3个重复,同时每种处理预留出3个PVC管做水分的测定。

2.2 土壤CO₂排放测定

采用美国LI-COR公司的LI-6400-09光合作用分析仪(配带土壤呼吸室)测定土壤CO₂释放速率,每周连续测定2~3 d,每天测定1次。测定时间为9:00~11:00,当天测定结果作为当天CO₂平均排放速率,日变化的测定从早上7:00至下午19:00,每2 h测定一次林地土壤CO₂排放速率。在观测的同时,用便携式测水仪测定表层0~10 cm土壤体积含水量,土壤5 cm处温度和林中气温由LI-6400-09系统自带温度传感器测定。

2.3 数据分析与处理

用SPSS12.0对所得实验数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 三种林地土壤呼吸的日变化特征

于2007年1月、4月、7月、9月分别选择一个晴天对林地土壤CO₂排放速率的日变化进行测定。结果表明,在1月、4月,不同林地土壤呼吸在同一天内的日变化趋势基本相同,呈现单峰曲线波动,随着一天中气温先升后降而表现为先增后减的趋势,约在13:00~15:00时达到一天当中呼吸最大值。而7月、9月的林地日变化观测中,不同林地土壤呼吸的波动有一定的差异,整体上看在7月和9月,三种林地都是在9:00时出现一个呼吸峰值,然后表现为先下降再缓慢上升的趋势,其中青冈和桉木两种林地表现较为明显,柏树林地土壤呼吸整体趋势表现与1月和4月相类似(图1)。

3.2 三种林地土壤CO₂排放季节特征

在研究期内,三种供试林地二种处理的土壤CO₂排放速率均随温度的升降而呈不规则的多峰波动曲线(图2),图中L+S为有枯枝落叶处理,S为

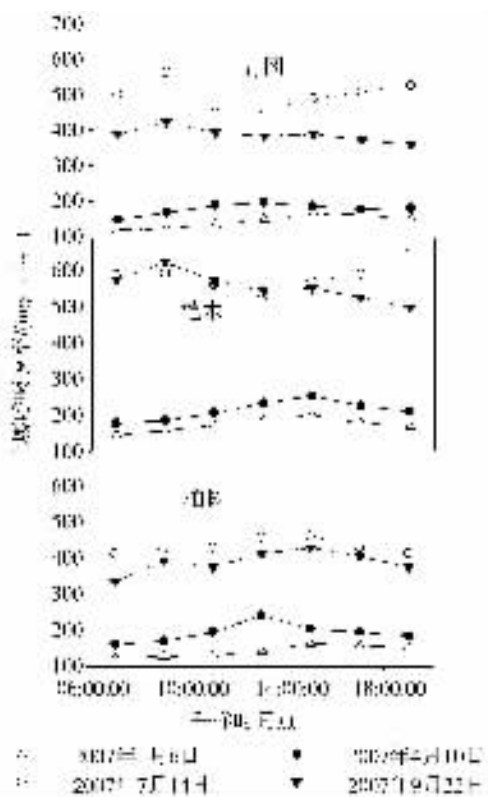


图1 不同季节林地土壤呼吸速率日变化

Fig. 1 The daily change curves of soil respiration in different seasons

无枯枝落叶处理,以下同。土壤呼吸速率整体的趋势从秋季到冬季逐渐降低,整个越冬期,起伏变化不明显,然后到春季随着温度的上升又逐渐升高,至温度最高的夏季达到排放最大值,尔后,随着气温下降逐渐回落到一个较低的水平。在降雨比较丰富的夏季和秋季由于受到降水的影响,土壤呼吸速率变化起伏不定,但整体上其变化趋势大致同温度的变化趋势相同。

3.3 林地土壤呼吸的影响因子

1)土壤呼吸速率的影响因子较多,其中温度和湿度是最主要的因素^[4],国内外许多关于土壤呼吸研究已证实土壤呼吸与土壤温度呈正相关^[5-7]。分别对三种林地两种处理的土壤呼吸速率和地下5 cm温度进行Pearson相关性分析($n=80$),结果表明不同林地,无论是有枯枝落叶还是无枯枝落叶处理的土壤呼吸速率与土壤5 cm温度在0.01水平下呈极显著正相关,与地下5 cm温度的相关性,有枯枝落叶覆盖土壤呼吸速率比无枯枝落叶覆盖的高。林地土壤CO₂排放速率与土壤5 cm温度有较好的指数函数关系(图3),其拟合方程见表1。

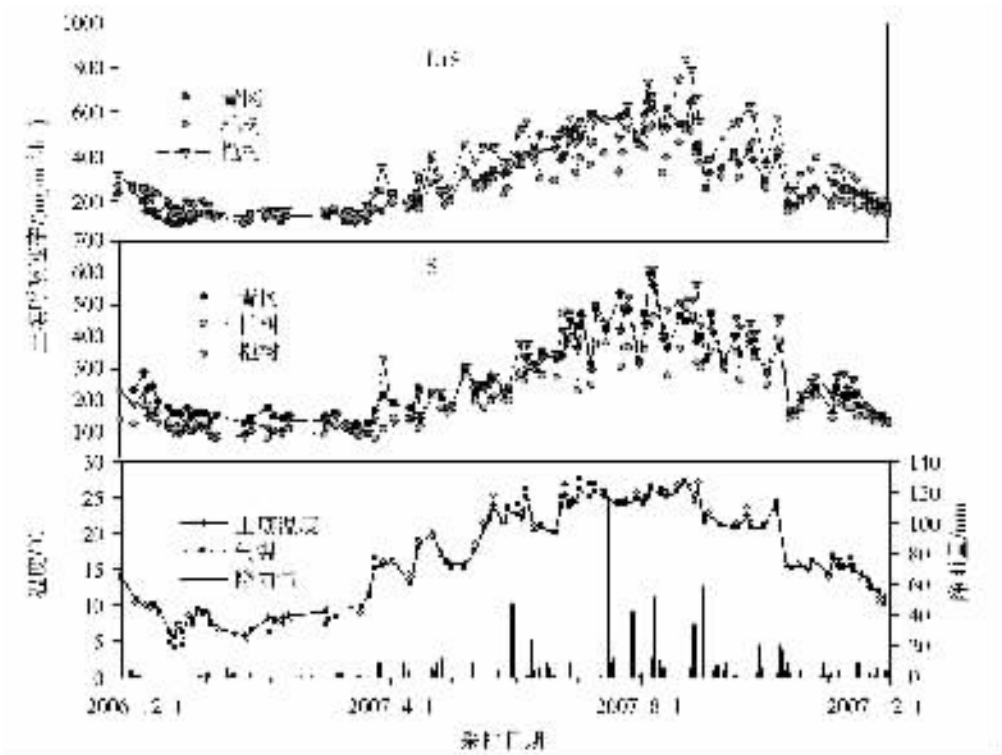


图 2 三种林地土壤 CO₂ 排放速率季节变化
Fig.2 Seasonal changes of soil CO₂ flux in three forestlands

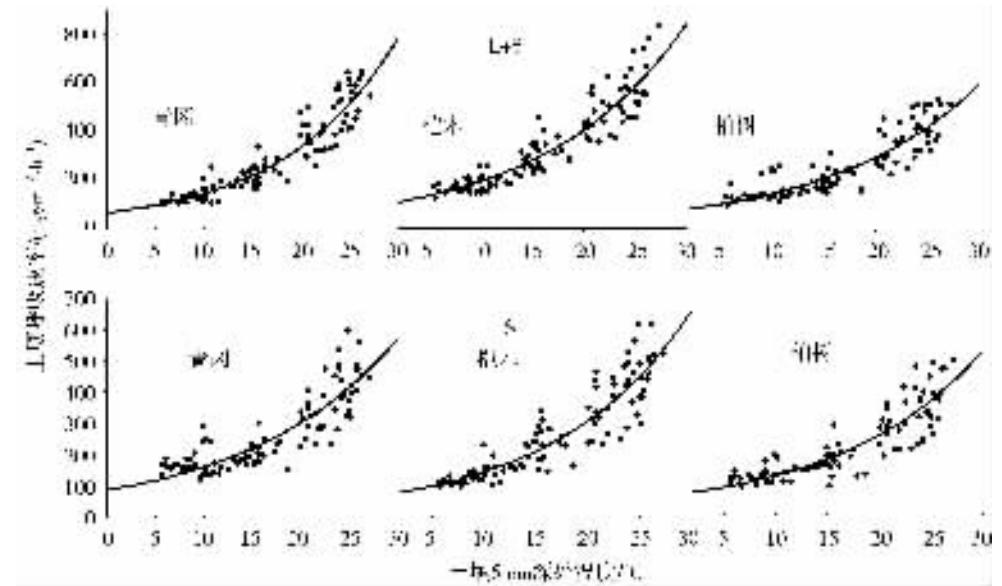


图 3 不同林地土壤呼吸速率与地下温度的关系
Fig.3 Relationship between soil respiration and soil temperature at 5 cm depth

土壤呼吸实际上就是土壤微生物、土壤无脊椎动物和植物根系呼吸的总和^[7]。本研究中去除了林地土壤中植物的根系,所以土壤呼吸释放出的 CO₂ 主要是由土壤动物和土壤微生物的代谢活动产生的,地下 5 cm 左右是土壤微生物主要聚居区,该处的土壤温度能较准确地反映温度对土壤微生物的影

响,在一定温度范围内,温度越高,微生物的代谢活动越旺盛,所以随着温度的升高,土壤呼吸速率会增强。有关土壤呼吸与温度之间的相关性的报道较多,多数研究者认为土壤温度与土壤呼吸呈指数相关,相关性均达到显著或者极显著水平。
2)关于水分对土壤呼吸的影响,也有很多报

表 1 土壤呼吸速率与土壤 5 cm 深处温度拟合方程

Tab.1 Equations fitted by soil respiration and soil temperature at 5 cm depth

处理	林地类型	拟合方程	决定系数(R^2)	p
L + S	青冈	$R_s = 57.248\ 76e^{0.086\ 055t}$	0.902 46	< 0.001
	桉木	$R_s = 90.103\ 91e^{0.073\ 003t}$	0.908 80	< 0.001
	柏树	$R_s = 77.053\ 94e^{0.066\ 965t}$	0.896 72	< 0.001
S	青冈	$R_s = 99.042\ 85e^{0.055\ 103t}$	0.738 38	< 0.001
	桉木	$R_s = 61.942\ 81e^{0.078\ 446t}$	0.854 15	< 0.001
	柏树	$R_s = 65.005\ 52e^{0.086\ 055t}$	0.849 07	< 0.001

R_s 为土壤 CO_2 排放速率($mg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) t 为土壤 5 cm 深处温度($^{\circ}C$)。以上 6 个关系式在 0.01 水平上达到显著正相关。

道,但是不同研究者对此持不同态度,大多数人认为它们之间呈正相关^[4,8,9],也有人认为它们之间呈负相关^[10],还有的研究者认为没有明显相关关系^[11]。描述土壤湿度与土壤呼吸速率的模型也不

象温度与土壤呼吸速率的指数模型那样具有普适性。国内有关土壤水分与土壤呼吸的关系研究的报道中多数认为呈正相关关系,有的认为它们之间呈线型相关^[12-13],有的认为它们之间呈抛物线相关^[14]。

为了尽量减少温度对土壤呼吸速率的影响的干扰,将所测数据按照土壤温度的季节变化(1~3月、3~5月、6~8月)分段进行多元回归分析,结果显示只有在土壤温度变化范围相对较小的夏季(6~8月)土壤含水量和土壤呼吸速率的相关性达到了显著水平。结果表明,三种林型两种处理的土壤(除了青冈林地土壤呼吸与土壤含水量无明显相关关系)呼吸速率与土壤含水量均呈现显著的抛物线相关(图 4)。拟合方程见表 2,其它季节的土壤呼吸速率与土壤含水量之间的相关性不明显。

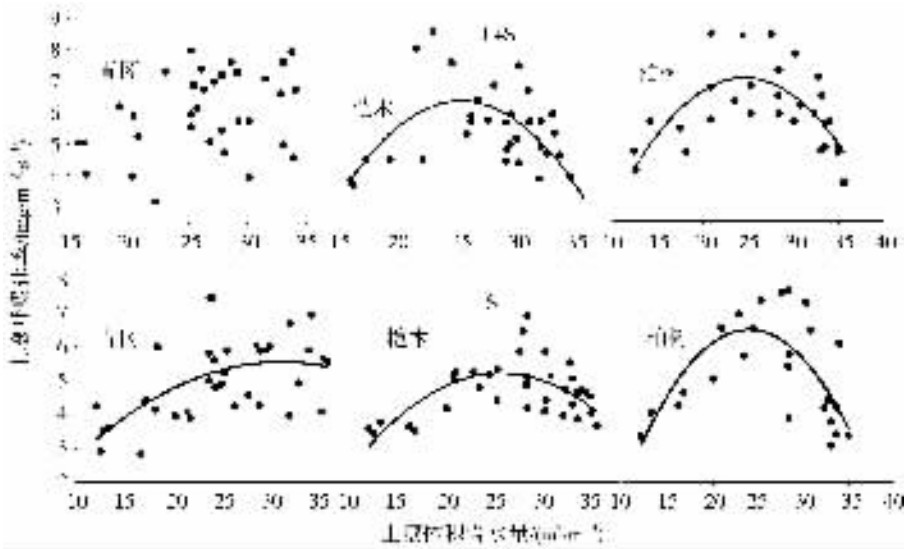


图 4 土壤呼吸与土壤体积含水量的关系

Fig.4 Relationship between soil respiration and soil volumetric content

表 2 土壤湿度与土壤呼吸速率的拟合方程

Tab.2 Equations fitted by soil moisture and soil respiration

处理	林地类型	拟合方程	决定系数(R^2)	p
L + S	青冈	-	-	-
	桉木	$R_s = -2.024\ 064w^2 + 98.913\ 02w - 590.309$	0.294 0	< 0.05
	柏树	$R_s = -29.691\ 65w^2 + 35.892\ 86w - 0.725\ 76$	0.501 4	< 0.05
S	青冈	$R_s = -0.499\ 968w^2 + 31.151\ 23w - 36.481\ 54$	0.331 5	< 0.05
	桉木	$R_s = -1.878\ 912w^2 + 96.251\ 9w - 719.615\ 2$	0.422 3	< 0.05
	柏树	$R_s = -1.612\ 8w^2 + 77.478\ 91w - 465.091\ 2$	0.560 2	< 0.05

注 R_s 为土壤 CO_2 排放速率($mg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) w 为土壤体积含水量($m^3 \cdot m^{-3}$)。

从图中可看出,三种林型土壤两种处理的土壤呼吸速率最大值均出现在土壤体积含水量达到

25%~30%左右,之后随着含水量的增大,土壤呼吸速率逐渐降低,这与王淼^[15]等人的研究结果相类

似。三种林地两种处理的土壤中,有凋落物覆盖的土壤呼吸与土壤湿度的相关性均要比无凋落物覆盖的土壤要高,这是因为没有地表凋落物的覆盖,裸露的土壤对水分的敏感程度大大增加了,湿度的变化范围较有凋落物覆盖的土壤要大(如图3),因而,在炎热的夏季,地下温度变化幅度不大的情况下,土壤水分成了土壤呼吸的限制因子。

比较三种林地土壤呼吸速率与湿度的相关性,其中柏树林地两种处理的相关性均是最好的。因为柏树林地土壤属砂壤土,持水能力差,保水能力差,加之针叶林凋落物层薄,蒸发量大,湿度的变化尺度(12.06%~34.97%)较阔叶林青冈和桉木要大,所以土壤呼吸速率与湿度的相关性要明显高于桉木和青冈林地。同时可以看到,有枯枝落叶处理的青冈林地土壤呼吸受水分影响不明显,这主要是由于青冈林地的凋落物层较厚,表层土壤湿度变化范围不明显,水分可能并没有构成土壤微生物和植物根系代谢活动的制约因子所致,从而没有得到青冈林地土壤呼吸速率与土壤含水量的模拟方程。Kucera^[16]提出,只有在土壤含水量达到土壤微生物永久性萎蔫点或者是超过了田间最大持水量的情况下,土壤CO₂排放量才会减少。如果所观测到的水分的变化没有超出极端范围,不足以影响土壤微生物与植物根系的活动,则难以检测出水分对土壤呼吸的影响。所以,即使在温度变化不大的夏季,得到的土壤呼吸与土壤水分之间的相关性也比较差。以上分析表明,即使表面看来森林生态系统土壤呼吸与土壤水分有密切的关系,但是实际上不同的林型,土壤性质、微环境等因素都会影响到土壤水分状况,因此在土壤水分年变化幅度很小的青冈林地,土壤水分并不构成土壤呼吸的限制因子;而对于桉木和柏树林地,在温度较低且变化幅度较小的冬季和干旱的春季,虽然土壤水分变化幅度比较大,但是也并没有得到较好的土壤呼吸和土壤含水量的相关性。不过在本研究中也观察到,在旱季,一场降雨后的一两天内,土壤呼吸产生的CO₂量有明显的增加,这可能与微生物的活动有关,Orchard和Cook^[17]认为,土壤中的微生物数量会在雨后激增,这是造成雨后土壤中CO₂释放量增加的一个长时效应(1d以内),而在雨季,大的降雨过后,土壤呼吸会受到抑制,这可能是因为土壤含水量过高,降低了土壤孔隙通透性,限制土壤中的O₂的扩散^[18],土壤处于嫌气状态,植物根系和好氧微生物的活动受到抑制,所以

土壤中产生的CO₂就减少。

4 结论和讨论

林地土壤呼吸主要受土壤温度和湿度的共同影响,其中土壤温度是关键因子,土壤温度对各林地的土壤呼吸的影响程度不同,但是都可以用一个指数模型很好地模拟。

土壤湿度对土壤呼吸的影响表现出一定的季节性,本研究中,冬季、春季温度较低时没有得到土壤湿度和土壤呼吸之间的相关关系,夏季温度较高时,土壤呼吸速率与土壤湿度之间呈现抛物线性相关,在土壤体积含水量达到25%左右之前,土壤呼吸逐渐增强,之后随着土壤湿度的增加,土壤呼吸逐渐减弱。

参考文献:

- [1] 王森,姬兰柱,李秋荣,等.土壤温度和水分对长白山不同森林类型土壤呼吸的影响[J].应用生态学报,2003,14(8):1234-1238.
- [2] MOORE T R, DALVA M. The Influence of Temperature and Water Table Position on Carbon Dioxide and Methane Emissions from Laboratory Columns of Peat Land Soil[J]. Journal of Soil Science, 1993, 44: 651-664.
- [3] DIXON R K, SOLOMON A M, HOUGHTON R A et al. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems[J]. Science, 1994, 263: 185-190.
- [4] CHEN S Q, CUI X Y, ZHOU G S, et al. Study on the CO₂ Release Rate of Soil Respiration and Litter Decomposition in Stipa Grandis Steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia[J]. Acta Botanica Sinica, 1999, 41: 645-650.
- [5] 刘绍辉,方精云.土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响[J].生态学报,1997,17(5):469-476.
- [6] WITKAMP M. Rates of Carbon Dioxide Evolution from Litter and Soil[J]. Ecology, 1966, 47: 922-924.
- [7] 骆士寿,陈步峰,李意德,等.海南岛尖峰岭热带山地雨林土壤和凋落物呼吸研究[J].生态学报,2001,21(12):2013-2017.
- [8] WILDUNG R E, GARLAND T R and BUSHOM R L. The Interdependent Effect of Soil Respiration Rate and Plant Root Decomposition in Arid Grassland Soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1975, 7: 373-378.
- [9] KUTESCH W L and KAPPEN L. Aspects of Carbon and Nitrogen Cycling in Soils of Bornhöved Lake District. II. Modelling the Influence of Temperature Increase on Soil Respiration and Organic Carbon Content in Arable Soil Sunder

- Different Managements[J]. Biogeochemistry , 1997 ,39 : 207-224.
- [10] DAVIDSON E A ,VERCHOT L V ,CATTNIO J H ,et al. Effects of Soil Water Content on Soil Respiration in Forestland Cattle Pastures of Eastern Amazonia. Biochemistry , Cattle Pastures of Eastern Amazonia[J]. Biochemistry , 2000 ,48 :53-69.
- [11] THUILLE A ,BUCHMANN N and SCHULZE E. Carbon Stocks and Soil Respiration Rates During Deforestation Grassland Use and Subsequent Norway Spruce Afforestation in Southern Alps ,Italy[J]. Tree Physiology ,2000 ,20 : 849-857.
- [12] 周存宇 ,周国逸 ,张德强 ,等. 鼎湖山森林地表 CO₂ 通量及其影响因子的研究[J]. 中国科学 D 辑 地球科学 , 2004 ,34(增刊 II) :175-182.
- [13] 刘颖 ,韩士杰 ,胡艳玲 ,等. 土壤温度和湿度对长白松林土壤呼吸速率的影响[J]. 应用生态学报 ,2005 ,16(9) :1581-1585.
- [14] 沙丽清 ,郑征 ,唐建维 ,等. 西双版纳热带季节雨林的土壤呼吸研究[J]. 中国科学 D 辑 地球科学 ,2004 ,34(增刊 II) :167-174.
- [15] WANG M ,LI Q R ,XIAO D M ,et al. Effects of Soil Temperature and Soil Water Content on Soil Respiration in Three Forest Types in Changbai Mountain[J]. Journal of Forestry Research ,2004 ,15(2) :113-118.
- [16] KUCERA C L and KIRKHAM D R. Soil Respiration Studies in Tall Grass Prairie in Missouri[J]. Ecology ,1971 ,52 :912-915.
- [17] ORCHARD V A and COOK F J. Relationship Between Soil Respiration and Soil Moisture[J]. Soil Biology and Biochemistry ,1983 ,22 :153-160.
- [18] DAVIDSON E A ,BELK E and BOONE R D. Soil Water Content and Temperature as Independent or Confounded Factors Controlling Soil Respiration in a Temperate Mixed Hardwood Forest[J]. Global Change Biology ,1998 ,4 : 217-227.

A Study of Emission of Greenhouse Gases from Soil in Different Forestland of Hilly Area in Central Sichuan Province

SUN Fan¹ , YUAN Hong-ye^{1 2} , ZHU Bo² , WANG Xiao-guo² , YU Ya-jun²

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education) ,

College of Resource and Environment , Southwest University , Chongqing 400716 ;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment , CAS , Sichuan Chengdu 610041 , China)

Abstract : Soil respiration rate are measured by LI-6400 in three types of forestland in the hilly area of the central Sichuan basin. The mainly researches are focused on the characteristics and influencing factors of soil respiration and the litter fall respiration , organic matter in soil and organic carbon in litter are measured to estimate the quantity of carbon released by litter decomposition. The results and conclusions are as follows : soil respiration in three kinds of woodlands showed remarkably seasonal changes , which were higher in summer and autumn and lower in spring and winter. The soil respiration rate of forestland soil with litter is higher than the non-litter-covered soils. The litter layer on the soil surface of beech land could be low down the emission of CO₂ from soil to atmosphere. soil temperature and soil moisture are primary impact factors of soil respiration. There is a significant correlation between soil respiration rates and soil temperature at 5 cm depth. The impact of soil moisture on soil respiration has a seasonally performance. There are parabola correlations between the soil respiration and the soil moisture in summer. There are not correlations between soil moisture and soil respiration in other seasons. Diurnal changes of soil respiration are accorded with that of the soil temperature in winter and spring but not in summer and autumn , in which irregular peaks are displayed in the diurnal changes because of the high soil temperature and the intense changes of the relative moisture.

Key words : forestland ; soil respiration ; soil temperature ; soil moisture

(责任编辑 李若溪)