

文章编号: 10026301 (2003) 02201707

土壤 CO₂ 浓度昼夜变化及其对 土壤 CO₂ 排放量的影响

梁福源, 宋林华, 王 静

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 对石林地区两个研究点土下 20、40 和 60cm 土壤 CO₂ 浓度和土壤 CO₂ 排放量的昼夜变化进行的研究表明二者之间具有一定的正相关关系, 因此土壤 CO₂ 排放量除受环境因子影响之外, 还受土壤 CO₂ 浓度所控制。土壤 CO₂ 浓度和土壤 CO₂ 排放量之间的相关关系可以用来解释土壤有机碳含量及温度对土壤 CO₂ 排放量的影响, 即土壤有机碳含量高和温度升高是通过影响土壤空气中 CO₂ 的形成速率, 导致土壤 CO₂ 浓度升高, 从而促进土壤 CO₂ 的排放。

关 键 词: 土壤 CO₂ 浓度; 土壤 CO₂ 排放; 相关关系

中图分类号: S159

植物根系呼吸和土壤微生物对有机质的氧化分解是土壤空气中 CO₂ 的主要来源^[1, 2]。土壤 CO₂ 形成之后, 部分通过土壤呼吸作用排放到大气中, 部分则参与土壤化学反应或者向下扩散到地下水中^[3]。全球碳循环的研究表明土壤呼吸是土壤碳库和大气碳库之间碳流通的最主要的方式^[4], 据估计全球土壤 CO₂ 排放量在 68PgCyr⁻¹~ 100PgCyr⁻¹之间^[5, 6]。研究表明影响土壤 CO₂ 排放量的因素包括温度^[7, 8]、湿度^[7, 9]、植被类型^[10]、地表植被和地下微生物种群^[5]、土地利用方式变化或者外因(比如火灾)对土地利用方式的扰动^[11]和土壤有机碳含量^[12, 13]。土壤 CO₂ 排放是 CO₂ 气体在土壤中形成后通过扩散作用向大气运移的过程, 其排放通量除了受环境因子的影响之外, 同样会受到土壤 CO₂ 气体浓度分布的影响。但目前对土壤 CO₂ 浓度变化和土壤 CO₂ 排放量变化之间的关系研究报导尚少。因此本文选择石林喀斯特地区红壤作为研究对象, 对土壤中不同深度 CO₂ 浓度变化和土壤 CO₂ 排放量的昼夜变化进行观测, 以探求二者之间的联系。

1 研究区概况

路南石林地区地处云南高原之滇东喀斯特中部, 属中亚热带高原气候。自 1965 年以

收稿日期: 200211; 修订日期: 200301

基金项目: 国家自然科学基金(90202017, 410071017)和石林研究基金(199903)资助1

作者简介: 梁福源(1972), 男, 博士研究生。1997年毕业于长春地质学院地质系。主要从事喀斯特地貌和风景地学研究。Email: liangfy@gsnrrl.ac.cn

来年均气温为 1516 e, 最高月均气温 2513 e, 最低月均气温 812 e。石林地区多年平均降雨量在 96719 毫米, 全年分为干湿两季, 夏秋半年为雨季 (每年 5~10 月), 冬春半年为旱季 (11 月~次年 4 月)。雨季降水量占全年降水量的 80~88%, 旱季降水量仅占 12~20%。境内平均湿度为 75%。石林地区的成土母岩主要为石灰岩、白云质灰岩、白云岩、泥质灰岩、砂岩、页岩、泥岩和玄武岩等。主要土壤类型是红壤、紫色土和水稻土, 但以红壤分布最为广泛。石林地区的植被类型为松栎混交林、云南松针叶林、荒山草被、稀疏灌木及后来人工培育的草坪等。研究点位于石林精舍宾馆附近, 土壤为红壤, 植被类型为桉树林, 林下灌丛、草被发育。该处土壤层厚仅为 1m。

2 研究方法

土壤 CO₂ 观测采用 / 埋管法⁰ 测量。2002 年 4 月份在石林精舍宾馆附近选定的研究点开挖土坑。在土下 20、40 和 60cm 分别埋设内径 8mm, 外径 10mm, 长 500mm 的铜管。铜管两侧每隔 1cm 钻上直径约 2mm 的小孔。将铜管插入土壤后, 用内径 8mm, 外径 10mm 的橡胶管接出地面。橡胶管出口用铁夹子夹住, 测量时将夹子解开, 测量完后将夹子夹紧, 以防漏气。开挖的土方按原来的层位回填。未扰动过土壤计为 A 点, 回填土坑记为 A₁ 点。分别对两个研究点土壤空气中 CO₂ 浓度值和地表土壤 CO₂ 排放量进行了观测。

土壤 CO₂ 排放量采用 / 静态箱式法⁰ 测定^[12]。采样箱为塑料桶改装而成, 桶高 25cm, 桶口直径 24cm, 桶顶直径 18cm。桶内设有温度计, 进气口和出气口。底座用白铁皮制作, 高 3cm, 内径 23cm, 外径 24cm。观测时, 先将地表植被剪除, 将底座埋入土壤中, 外围用土壤压实。底座环内注入自来水, 以防漏气。观测时将采样箱倒扣在底座内即可。A 点和 A₁ 点土壤 CO₂ 排放量观测箱均为 2 个, 取均值作为该点的排放量。

不同深度土壤 CO₂ 浓度和不同时间采样箱内 CO₂ 浓度测量均在野外利用北京分析仪器厂生产的 GXH2305A 红外 CO₂ 分析仪直接进行。测定 CO₂ 排放量时, 开动仪器内的气泵, 采样箱内气体通过 CO₂ 分析仪完成浓度分析后回流到采样箱内。土壤 CO₂ 排放量用以下公式进行计算^[12]:

$$F = D @ \$m/ \$t @(V/ A)$$

式中 F 为气体通量 (mmol#m⁻²#h⁻¹), D 为观测箱内气体密度, $D = P / RT$, P 为箱内气压增加 (由于测量时间间隔为 5 分钟, 因此 P 值变化不大, 用一标准大气压进行计算), T 为箱内气体绝对温度, R 为气体常数, \$m/ \$t 是气体在观测时间浓度随时间的变化, V 为观测箱的体积, A 为所包括的土壤的面积。

3 研究结果和讨论

3.1 土壤 CO₂ 浓度昼夜变化

2002 年 6 月 26 日 18: 00 到 27 日 18: 00 对 A 点和 A₁ 点土下不同深度 CO₂ 浓度的昼夜变化进行了观测, 结果如图 1 和图 2 所示。

A 点和 A₁ 点土下 20cm、40cm 和 60cm CO₂ 浓度的昼夜变化变化规律基本一致。26 日 18: 00 到 22: 00, 土壤 CO₂ 浓度逐渐降低; 22: 00 到 27 日零点, 土壤 CO₂ 浓度略有升

高, 而后呈降低趋势, 到凌晨 6: 00 出现当日最低值; 随后土壤 CO₂ 浓度开始大幅度上升, 直到 27 日 16: 00 出现最大值, 此后土壤 CO₂ 浓度开始回落。和其他地区的研究结果一样^[14, 15], 土壤 CO₂ 浓度的昼夜变化表明, 夜间温度低时, 土壤 CO₂ 浓度保持一个较低值, 而当白天温度逐渐增加时, 土壤 CO₂ 浓度也开始逐渐增加。随气温升高, 土壤温度也会逐渐升高, 导致植被根系呼吸作用和土壤微生物活性加强^[16], 土壤 CO₂ 产生速率增大, 使不同深度土壤 CO₂ 浓度增大。

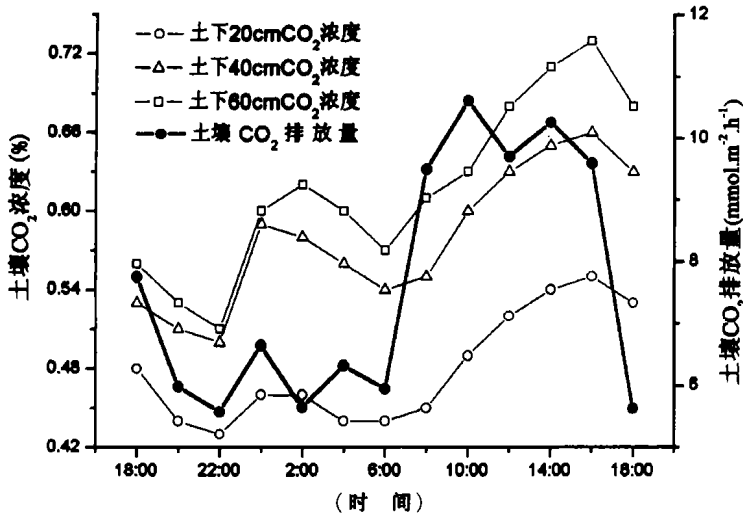


图 1 A 点土壤 CO₂ 浓度与土壤 CO₂ 排放量昼夜变化

Fig 1 Diurnal variation of soil CO₂ concentration and soil CO₂ flux at site A

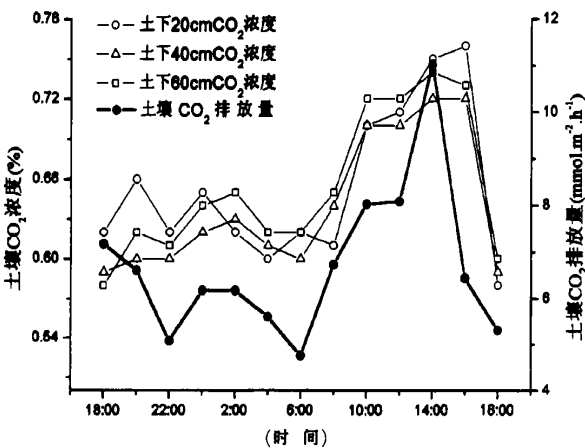


图 2 A 点土壤 CO₂ 浓度与土壤 CO₂排放量昼夜变化

Fig 2 Diurnal variation of soil CO₂ concentration and soil CO₂ flux at site A

两个研究点土壤 CO₂ 浓度随土壤深度的增大而表现出不同的变化规律。同一测量时间, A 点土壤 CO₂ 浓度随土壤深度增加而增大, 其土下 20cm CO₂ 浓度在 0143~ 0155%, 40cm 则为 0150~ 0166%, 土下 60cm CO₂ 浓度则增加到 0151~ 0173%。但 A. 点不同深度土壤 CO₂ 浓度变化幅度基本一致, 保持在 0158~ 0176% 之间。不同时段土壤 CO₂ 最大值出现的土壤深度各不相同。26 日 18: 00 到 27 日零点, 土壤 CO₂ 浓度最大值出现在土下 20cm; 而在 27 日 2: 00 到 12: 00 之间, 土壤 CO₂ 浓度最大值出现在土下 60cm; 14: 00 到 16: 00 土壤 CO₂ 浓度最大值出现在土下 20cm。土壤表层 (0~ 20cm) 结构疏松, 孔隙度大^[16], 有利于土壤空气和大气气体的自由交换, 因此土壤表层 CO₂ 浓度较低。随土壤深度增加, 土壤气体交换受阻, 而且部分微生物活动不断消耗土壤中 O₂ 并释放出 CO₂^[3], 导致随土壤深度增加土壤 CO₂ 浓度逐渐增大。A. 点由于是回填土坑, 土壤结构遭受破坏, 有效孔隙度增大^[16], 促进土壤气体和大气的交换, 因此在 A. 点土壤 CO₂ 浓度并没有表现出随土壤深度增加而增大的趋势。

312 土壤 CO₂ 排放量昼夜变化

A 点和 A. 点土壤 CO₂ 排放量昼夜变化规律十分明显 (图 1、图 2)。两点土壤 CO₂ 排放量在 26 日 18: 00 到 22: 00 之间呈下降趋势, 22: 00 到次日 0: 00 点之间则略有增加, 而后排放量稍有波动 (A 点) 或者再次呈现下降趋势 (A. 点); 27 日凌晨 6: 00 之后, 排放量开始逐渐增大直到出现当日最大值。白天 A 点土壤 CO₂ 排放量的最大值出现在 10: 00, 而 A. 点则出现在 14: 00, 14: 00 之后土壤 CO₂ 排放均开始逐渐减少。石林地区土壤 CO₂ 排放量的昼夜变化与高寒草甸^[17] 和内蒙古羊草草地 CO₂ 通量日变化规律^[12] 基本一致, 均表现出昼高夜低的特点, 只是最大值最小值出现的时间段有所不同。研究表明土壤 CO₂ 排放量受气温所控制^[12]。

313 土壤 CO₂ 排放量与土壤 CO₂ 浓度变化之间的关系

A 点和 A. 点土下 20cm、40cm 与 60cm CO₂ 浓度的昼夜变化与土壤 CO₂ 排放量的变化趋势基本一致 (图 2 和图 3)。土壤 CO₂ 浓度从 26 日 18: 00 到 22: 00 开始逐渐减少时, 土壤 CO₂ 的排放量也开始减少; 26 日 22: 00 到次日 4: 00 土壤 CO₂ 浓度稍有增加而后开始减少时, 土壤 CO₂ 排放量也开始增加而后略有波动 (A 点) 或保持减少 (A. 点) 的趋势; 27 日 6: 00 到 16: 00 土壤 CO₂ 浓度迅速增加, 土壤 CO₂ 排放量也迅速增大; 土壤 CO₂ 浓度在 16: 00 以后开始下降, 但是土壤 CO₂ 排放量 14: 00 以后则开始迅速减少。

对土壤 CO₂ 平均浓度 (即同一时刻不同深度土壤空气中 CO₂ 浓度的平均值) 和土壤 CO₂ 排放量之间的相关分析 (图 3, 图 4) 表明 6 月份 A 和 A. 两个研究点中二者具有一定的正相关关系, 其相关系数分别可以达到 $R^2 = 0149$ 和 $R^2 = 0136$ 。因此土壤 CO₂ 排放量在一定程度上与土壤中 CO₂ 浓度的分布有关之外, 还受其他因素 (比如土壤结构、温度、湿度) 的影响。

耿元波等^[13] 对内蒙草原的研究表明土壤 CO₂ 排放量与土壤中有机碳含量显著正相关, 同时 Macnald 等^[18] 对不同碳含量的土壤的室内试验证明在相同温度下有机碳含量高的土壤 CO₂ 形成速率大。因此有机碳含量对土壤 CO₂ 排放的影响是因为有机碳含量高的土壤中可供土壤微生物分解的有机质多, 不断分解产生的 CO₂ 导致土壤 CO₂ 浓度升高, 促进土壤 CO₂ 的排放。同样, 气温升高有利于土壤 CO₂ 排放^[12], 也是因为气温升高, 促使植被根

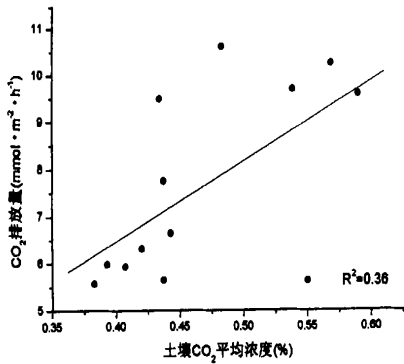


图 3 A 点土壤 CO₂ 平均浓度与土壤 CO₂ 排放量
Fig13 Soil CO₂ content and soil CO₂ flux at site A

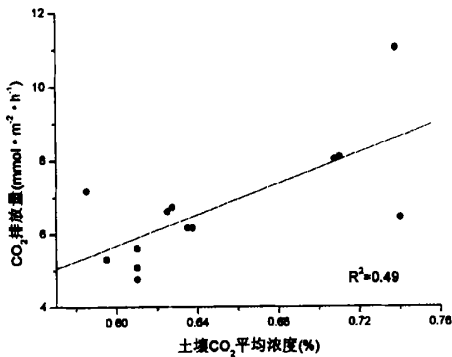


图 4 A 点土壤 CO₂ 平均浓度与土壤 CO₂ 排放量
Fig14 Soil CO₂ content and soil CO₂ flux at site A

系呼吸活动增强、土壤微生物活性增大，CO₂ 形成速率增大^[19]，导致土壤中 CO₂ 浓度不断升高、土壤 CO₂ 排放量不断增大。

4 结论

土壤中 CO₂ 浓度的昼夜变化规律与土壤 CO₂ 排放的昼夜变化规律相一致，表明土壤 CO₂ 排放量受土壤空气中 CO₂ 浓度所控制。土壤 CO₂ 排放量与土壤有机碳含量、气温之间的正相关关系可以从土壤 CO₂ 浓度和土壤 CO₂ 排放量之间的关系得到解释，即土壤中有机碳含量高或者温度升高，有利于土壤 CO₂ 的形成，导致土壤中 CO₂ 浓度升高，促进土壤 CO₂ 的排放。

致谢：感谢石林风景名胜区管理局提供野外工作条件

参考文献

- [1] Wilkamp Ml and Frank Ml L., Evolution of CO₂ from litter, humus and subsoil of a pine stand. *Pedobiologia*, 1969, 9: 358~ 365l
- [2] Fritz P, Reardon E. J. and Barker J. et al., The carbon isotope geochemistry of a small groundwater system in Northeastern Ontario. *Water Resour. Res.*, 1978, 14: 1059~ 1067l
- [3] Hendry M. J., Lawrence J. R., Zaryk B. N. et al., Microbial production of CO₂ in the unsaturated geologic media in a mesoscale model. *Water Resour. Res.*, 1993, 29: 973~ 984l
- [5] Raich J. W. & Schlesinger W.H., The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*. 1992, 44: 81~ 89l
- [6] Musselman R.C. & Fox D. G., A review of the role of temperature forests in the global CO₂ balance. *J. Air Waster Manage. As2 soc.* 1991, 41: 798~ 807l
- [7] Singh J. S. & Gupta S. R., Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Botanical Rev.* 1977, 43: 449~ 528l
- [8] Rustad L.E.& Fernandez I. J., Experimental soil warming effects on CO₂ and CH₄ flux from a low elevation spruce&fir forest soil in Maine, U. S.A. *Global Change Biol.* 1998, 4: 597~ 605l
- [9] Davidson E. A., Belk E., Boone R. D., Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperature mixed hardwood forest. *Global Change Biol.* 1998, 4: 217~ 227l
- [10] Tewary C.K. Pandey U. & Singh J.S., Soil and litter respiration rates in different microhabitats of a mixed oak&conifer forest and their control by edaphic conditions and substrate quality. *Plant Soil.* 1982, 65: 233~ 238l
- [11] Weber M. G. Forest soil respiration after cutting and burning in immature aspen ecosystems. *For. Ecol. Mange.* 1990, 31: 1~ 14l
- [12] 董云社, 章申, 齐玉春等. 内蒙古典型草地 CO₂、N₂O、CH₄ 通量的同时观测及其日变化. *科学通报*. 2000, 45(3): 318~ 322 1
- [13] 耿元波, 章申, 董云社等. 草原土壤的碳氮含量及其与温室气体通量的相关性. *地理学报*, 2001, 56(1): 44~ 53l
- [14] 蒋忠诚. 表层岩溶带的岩溶动力学特征及其环境和资源意义. *热带地理*. 1999, 20(3): 302~ 308l
- [15] 俞锦标, 李春华, 赵培道等. 贵州普定县岩溶地区土壤空气中 CO₂ 含量分布及溶蚀作用的研究. *中国岩溶*. 1985, 4(4): 325~ 331l
- [16] 姚贤良, 程云生等著. 土壤物理学. 北京: 农业出版社, 1986l
- [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 CO₂ 的释放量. *环境科学*. 2001, 22(6): 15~ 20l
- [18] Macdonald N. W., Zak D. R. and Pregitzer K. S., Temperature effects on kinetics of microbial respiration and net nitrogen and sulfur mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1995, 59: 233~ 240l
- [19] Anja L., Thomas K. and Olof A., Carbon dioxide evolution from top& subsoil as affected by moisture and constant and fluctu& ating temperature. *Soil Biol. Biochem.* 1998, 30(14): 2017~ 2022.

Diurnal Variation of Soil CO₂ Concentration and Its Relationship with Soil CO₂ Flux

LIANG Fuyuan, SONG Linhua, WANG Jing

(Institute of geographic sciences and natural resources research, CAS, Beijing 100101)

Abstract: Diurnal variation of soil CO₂ concentration and flux of red soil and their relationship were studied in June of 2002 in Shilin national park, Yunnan province. Study shows that in different depth,

soil CO_2 shows fluctuation during 24 hours. From 18:00 to 22:00, concentration of soil CO_2 decreases (for example, at subsoil 20cm, soil CO_2 concentration decreases from 0.48% at 18:00 to 0.43% at 22:00). From 22:00 o. clock to next 6:00 o. clock, soil CO_2 concentration shows a minor fluctuation, and reaches the minimum at 6:00 o. clock. During daytime, from 6:00 to 18:00, soil CO_2 concentration increases steadily and at 16:00 o. clock, it reaches the maximum of the whole day. Then it begins to fall down. In site A, soil CO_2 concentration increases with soil depth. But it is a different case in site B. because of the disruption of the soil, which doesn't show the same variation. Sometimes soil CO_2 concentration at 20cm depth is greater than that of at 60cm depth.

Study result also shows that soil CO_2 flux coincides with soil CO_2 concentration at 20cm, 40cm and 60cm. Soil CO_2 concentration and flux is higher during daytime than that of night. The positive relationship between soil CO_2 content and soil CO_2 flux gives good explanation to the relationship between the soil organic carbon content, temperature with soil CO_2 flux. Soil CO_2 concentration in different soil depth increase with higher production of soil CO_2 because of higher soil organic carbon content and increasing temperature. As this study shows, Soil CO_2 flux will increase when soil CO_2 concentration increases.

Key words: Soil CO_2 concentration; Soil CO_2 flux; Relationship