

吴夏,潘谋成,曹建华,等. 典型岩溶区土壤呼吸作用的昼夜变化特征及其影响因素[J]. 中国岩溶, 2019, 38(2): 157-163.
DOI: 10. 11932/karst20190202

典型岩溶区土壤呼吸作用的昼夜变化特征及其影响因素

吴夏,潘谋成,曹建华,朱晓燕,张美良,杨会,唐伟,蓝高勇

(中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室,广西桂林 541004)

摘要:为揭示桂林毛村岩溶地区夏季表层土壤呼吸作用昼夜演变规律。本次研究选用静态暗箱/气相色谱法,监测了无降水影响下毛村岩溶区域的表层土壤呼吸通量的昼夜变化规律。同时野外监测表层土壤的温度、大气温度、大气压强等环境参数,以综合分析影响土壤呼吸作用昼夜变化的关键环境因子。结果表明:受到大气温度变化的影响,研究区域土壤表层温度呈现单峰型的昼夜变化规律,表层土壤呼吸作用也存在明显的昼夜变化特征。土壤呼吸最大值出现在 12:40 至 14:40,最小值出现在 4:40—6:40。土壤呼吸作用强度和变幅均是白天大于夜间。大气温度与土壤呼吸作用呈显著正相关关系($P < 0.01$),说明在土壤含水量未超过阈值时,大气温度是影响土壤呼吸作用昼夜变化的关键环境因子。本次研究明确了土壤呼吸作用在昼夜变化上的变异性,对精确估算整个生态系统的碳收支有重要意义。

关键词:岩溶表层带;土壤呼吸作用;昼夜变化;响应滞后

中图分类号: S154

文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2019)02-0157-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》提出的环境重点领域“全球环境变化监测与对策优先主题”。土壤呼吸作用是土壤碳库和大气碳库之间碳流通的最主要途径和方式^[1],在全球碳循环和碳平衡中扮演着十分重要角色^[2]。土壤呼吸作用通过调节大气 CO₂ 浓度进而影响气候变化^[3-4]。目前的研究认为土壤呼吸作用是全球大气 CO₂ 的一个重要来源。据估计,全球土壤 CO₂ 排放量在 68~100 PgCyr⁻¹^[5]。土壤呼吸强度细微的变化都可能引起大气 CO₂ 浓度相对较大的波动^[6]。对土壤呼吸作用影响因素的研究方面,有研究认为土壤呼吸作用受到大气温度等多种因素的协同影响^[7],但大部分研究者认为土壤呼吸昼夜变化与土壤温度的关系为线性或指数关系^[8]。但是在短时间尺度上根系呼吸的昼

夜变化情况更加复杂,对于土壤呼吸作用峰值的时间就存在较大争议,部分研究监测结果指示在中午^[9],部分揭示在夜晚^[10],甚至有的认为根系呼吸不存在明显昼夜变化规律,与土壤温度也并不存在显著的相关性^[11]。因此,针对土壤呼吸作用昼夜变化规律及影响还需要更加深入的研究。现阶段国内针对土壤呼吸作用日变化的研究大部分集中在草原生态系统^[12]及北方森林生态系统^[13],对岩溶区土壤呼吸速率日变化的研究相对较少。我国岩溶地区碳汇效应显著,土壤与矿物固碳潜力巨大,能够为国家 CO₂ 增汇减排和缓解温室气体效应做出重要贡献。而在我国西南岩溶地区,土壤碳库主要是以 CO₂、HCO₃⁻、DOC 等形式存在。其中,土壤 CO₂ 是表层岩溶系统的碳循环过程中的驱动力和制约条件^[14]。因此,土壤呼吸作用也是岩溶碳循环研究的重要方面。岩溶区土壤呼吸作用对温度和含水率的敏感性存在明显

基金项目:国家自然科学基金项目(41501222,41530316,41701235);广西自然科学基金项目(2014GXNSFBA118227,2018GXNSFAA281320)

第一作者简介:吴夏(1984—),男,副研究员,主要研究方向稳定同位素地球化学。E-mail: wuxia@karst. ac. cn。

收稿日期:2018-08-06

差异^[15]。在季节性尺度上岩溶地区土壤温度和土壤含水率是影响土壤呼吸作用十分重要的环境因子^[16]。为阐明西南典型岩溶区土壤呼吸作用短时间尺度的变化特征,以桂林毛村岩溶表层带为研究对象,对其夏季土壤呼吸作用的日变化规律及其驱动因子(大气温度、土壤温度和体积含水量)进行动态监测,旨在揭示由环境因子等驱动的岩溶区土壤呼吸动态变化,为岩溶生态系统碳动态模拟提供基础数据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区域位于桂林市东南 30 km 的潮田乡毛村

野外试验场岩溶区(东经 110°3′~110°33′,北纬 25°10′~25°12′)。该地区属于典型的亚热带季风气候,四季分明,雨量充沛,雨季一般为每年的 3 月至 8 月,枯季一般为 9 月至次年 2 月,该地区多年均气温 19.5 °C,多年平均降水量 1 868 mm。研究区为典型的峰丛洼地和峰丛谷地,其地层主要为上泥盆统融县组(D_{3r})浅灰厚层状石灰岩、白云质灰岩;中泥盆统东岗岭组(D_{2d})灰、深灰色灰岩,中下部灰黑色白云岩;中泥盆统下部应塘组(D_{2y})石英砂岩、粉砂岩夹页岩。研究区广泛分布棕色石灰土,土壤分层明显,pH 为中性偏碱,上覆植被类型主要是以青冈为主的林地和以黄荆、檫木占优势的灌木林。研究点所处地理位置如图 1 所示。

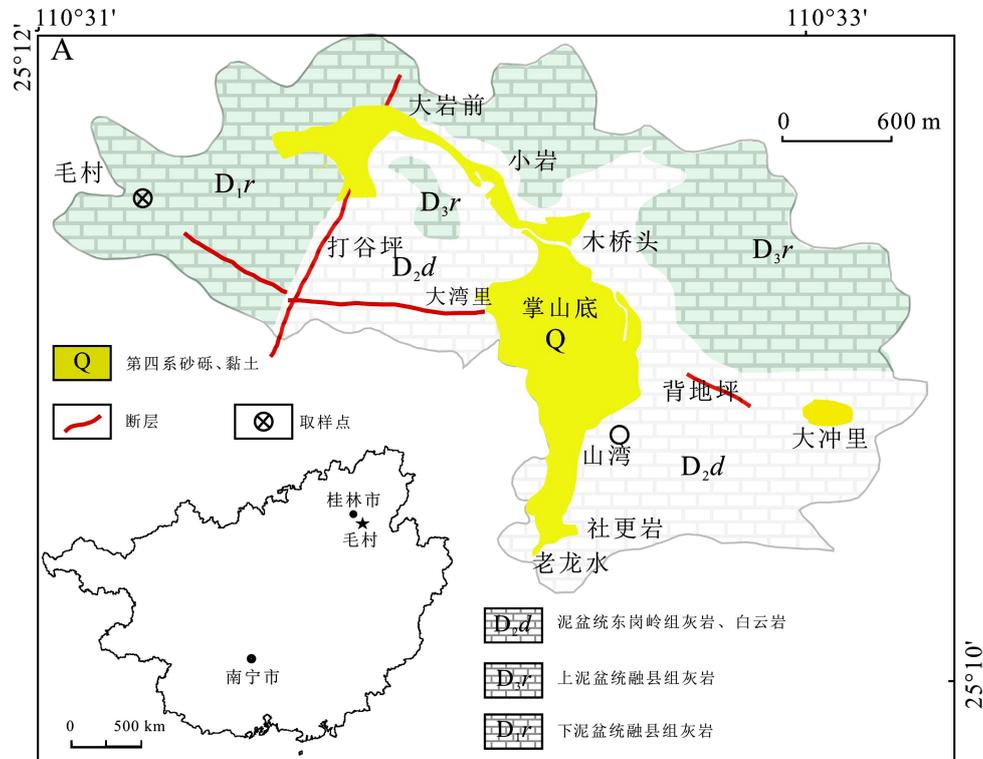


图 1 研究点位置示意图

Fig. 1 Location of the study area

1.2 样品采集和处理

本次研究选择在土壤呼吸速率最高的 8 月开展监测工作^[17],采用静态暗箱/气相色谱法测定表层土壤 CO₂呼吸速率。为了避免由于降水作用所导致的土壤呼吸作用的“激发”或者“抑制”^[17],监测时间选在 2017 年 8 月 30 日下午 14:40 至 2017 年 9 月 1 日 14:50(48 h),监测时段及前 5 天均无降水。采用静态暗箱法监测该时间段内每个小时前十分钟释放的

CO₂。放置监测静态暗箱前,将放置区域边 20 cm 地表所有植物的地上部分全部剪掉,以免植物的光合作用或者呼吸作用对监测结果产生影响。静态暗箱是高 35 cm、直径 20 cm 的密封罐体,罐体边缘埋入土中 5 cm 深以避免漏气。通过事先在室内抽取真空的铝箔气体采样袋采集密封罐体内部气体。与此同时,采集该时间段的大气样品以便计算时扣除密封罐体中大气 CO₂的本底值,并利用 Testo 622 监测取样时

周围环境的大气压强值、温度、湿度等参数, Testo 905-T1 原位测定表层土壤温度, W. E. T 土壤三参数仪测定土壤含水率。

1.3 样品分析

利用自然资源部岩溶动力学重点实验室的 Agilent 7890B 气相色谱仪, FID 检测器测定野外收集的 CO₂ 气体浓度。由于测量结果单位为 10⁻⁶, 为方便计算利用大气温度和压强将实测 CO₂ 单位 10⁻⁶ 转为 mg · m⁻³ 后, 再根据监测箱体积、监测土壤面积、监测时间来计算土壤 CO₂ 的释放速率^[17]。

1.4 数据分析

利用 excel 2010 进行数据处理, 采用 SPSS Statistics 22 软件分析土壤呼吸速率与大气温度、土壤体积含水率之间的线性回归关系。

2 结果与分析

2.1 大气环境参数的变化特征

桂林毛村监测点 2017 年 8 月 30 日 14:40 至 9 月 1 日 14:40 大气温度变化范围为 23.2~31.1 °C, 平均值为 26.2 °C。大气压强为 985.9~991.6 hPa, 平均值为 989.3 hPa。大气湿度 71.6%~99.9%, 平均值为 92.2%。大气 CO₂ 浓度为 405.5 × 10⁻⁶ ~ 593.1 × 10⁻⁶, 平均值为 481.8 × 10⁻⁶。大气温度在白天逐渐升高, 夜晚逐渐降低, 最高值出现在中午 12:40, 最低值在早晨 6:40。大气湿度呈现出白天逐渐降低, 夜晚逐渐升高的特征。两者呈现明显的昼夜变化规律(图 2)。大气 CO₂ 浓度没有呈现出明显的昼夜变化, 主要是因为采样间隔为 1 个小时, 取得的样品为瞬时样品, 而 CO₂ 气体流动性强, 并且监测频率过低从而导致昼夜变化不明显。

监测时段内, 土壤温度范围为 24.2 °C ~ 27.9 °C, 平均值为 25.9 °C。体积含水率 26.4~29.6 m³ · m⁻³, 平均值为 27.8 m³ · m⁻³。土壤温度呈现出单峰型的变化规律, 白天逐渐升高, 夜晚逐渐降低, 最高值出现在中午 14:40, 最低值在早晨 7:40。可见, 土壤温度变化是受到大气温度的升降影响, 两者变化趋势一致。但是由于土壤的热容量较大, 导热率远远小于空气的流动交换, 从而导致了土壤温度变化滞后于大气温度的变化^[18]。大气温度和土壤温度升温分为两个阶段: 缓慢上升阶段, 气温从 6:40 至 9:40 温

度升高 1.9 °C, 平均增幅为 0.6 °C · h⁻¹。而土壤温度从 7:40 至 9:40 温度升高 0.4 °C, 平均增幅为 0.1 °C · h⁻¹; 线性上升阶段, 气温从 9:40 至 12:40 温度升高 5.7 °C, 平均增幅为 1.9 °C · h⁻¹, 此时间段土温升高 1.4 °C, 平均增幅为 0.5 °C · h⁻¹。土温的变幅明显小于气温, 并且滞后于气温变化。

2.2 土壤呼吸作用的昼夜变化特征

土壤呼吸速率用单位时间、单位面积土壤排放出来的 CO₂ 量表示(图 2), 土壤呼吸作用呈现出明显的昼夜变化规律。土壤呼吸作用的变化范围为 105.7 ~ 617.7 mg · m⁻² · h⁻¹, 平均值为 332.1 mg · m⁻² · h⁻¹, 日变化总体表现为单峰型, 土壤呼吸速率也逐渐升高, 最高值出现在 12:40 - 14:40, 之后, 土壤呼吸速率也随之逐渐减小, 最低值出现在 4:40 - 6:40。土壤呼吸作用和大气温度、土壤温度的昼夜变化趋势一致。土壤呼吸作用总体上呈现出白天土壤呼吸速率较大, 变化幅度相对较大; 夜间土壤呼吸速率较小, 变化幅度相对较小的变化规律。并且土壤呼吸速率最大值出现的时段也是土壤温度达最高值之时。由此可见, 在昼夜变化上, 温度是控制土壤呼吸作用的主要因素。温度升高可以增进微生物的活性、加快土壤有机质分解, 进而促进土壤呼吸作用。同时温度的升高也影响植物的生长及其生理活动, 增强根系的呼吸作用^[19]。

2.3 土壤呼吸作用对温度、湿度等响应

监测期间, 土壤有机质、植被等相对变化很小。因此土壤温度和湿度是影响土壤表面呼吸通量的两个重要因素。从土壤呼吸作用的昼夜变化规律可以看出, 监测区域的土壤呼吸作用昼夜变化与土壤温度呈现出正相相关, 直线回归方程 $R_s = 121.2T_s - 2792.2$ ($R=0.838, p<0.01, n=49$), 指数回归方程 $R_s = 0.146e^{0.3849T_s}$ ($R=0.809, p<0.01, n=49$) 和幂函数回归方程 $R_s = 3E^{-12} T_s^{9.948}$ ($R=0.796, p<0.01, n=49$), 从系数决定分析, 直线回归方程拟合效果最佳。土壤呼吸作用与大气温度之间的直线回归方程为 $R_s = 59.296T_a - 1140.1$ ($R=0.849, p<0.01, n=49$), 土壤呼吸作用和气温、土壤温度的相关性达到极显著水平。

但土壤呼吸作用对气温和土温变化的响应却存在差异: 白天, 土壤最高温度相对大气最高温度滞后 2 h, 土壤呼吸作用强度却先于土壤温度 1 h 达到最

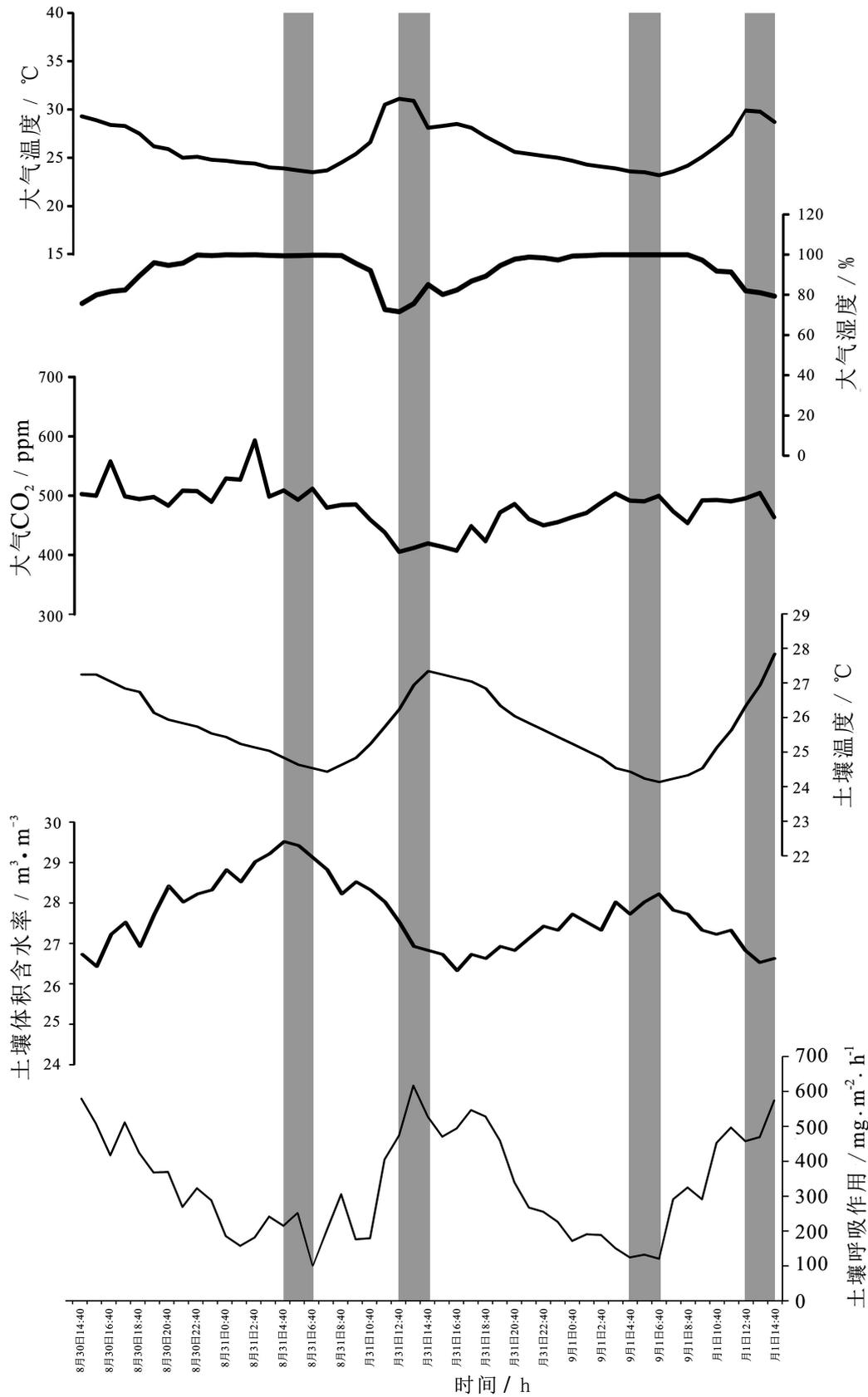


图 2 大气温度、湿度和 CO₂、土壤温湿度和土壤呼吸作用昼夜变化

Fig. 2 Temperature, humidity, and CO₂ of the atmosphere, temperature and humidity of soil, and diurnal variation of soil respiration

高值;夜间,土壤最低温度滞后于大气最低温度 1 h (图 2),土壤呼吸作用同样先于土壤温度 1 h 达到最低值。土壤呼吸作用受到大气温度线性升温而立即响应,而土壤温度升温期需要一个缓慢的热传递过程,从而导致土壤温度呈现出滞后于土壤呼吸速率而变化的趋势^[20]。夏季土壤温度昼夜温差较小制约了土壤呼吸响应土壤温度的敏感性^[21]。在夜间较高的空气湿度吸收太阳辐射,并且抑制了土壤中水分的蒸发作用,使得夜间土温降低也存在滞后。因此,土壤温度变化滞后于大气温度和土壤呼吸作用。并且白天总辐射增大引起大气温度升高,使得土壤中根分泌物快速分解产生较高的 CO₂^[22]。由此说明相对于土壤温度而言,在日变化尺度上大气温度更能够解释土壤呼吸的变异^[23]。这与现阶段研究结果指出土壤呼吸速率日变化与气温有着显著的相关关系,并且受到气温的显著影响^[24]是一致的。

土壤体积含水率的监测结果也呈现明显的昼夜变化规律,与土壤温度的变化趋势大致相反。土壤体积含水率对气温变化非常敏感,大气温度升高阶段土壤体积含水率快速下降,而降温阶段体积含水率上升也较快。总辐射驱动大气和土壤表层温度升高,土壤水分不断受到大气温度热量的影响而汽化,通过土壤空隙向大气释放水分,从而导致白天土壤体积含水率的下降,夜间反之。监测区域的土壤呼吸作用昼夜变化与土壤体积含水率呈现出负相关(如图 2 所示)。一般情况下,土壤含水率对土壤呼吸作用有一定的促进作用^[25-26]。但是在岩溶区土壤体积含水率在超过或低于特定阈值才会对土壤呼吸作用产生激发或者抑制作用^[20]。与此同时,土壤温度的主导性因素权重会相对降低^[15]。本次研究土壤体积含水率虽然呈现出昼夜变化规律,但是并未超过在岩溶区(7.50±2.27)%至(30.17±1.64)%的阈值,对土壤呼吸速率没有明显的影响。由此可见,本次研究区的土壤体积含水量不超过阈值的前提下,气温是影响土壤呼吸作用的关键性因子。

3 讨论

全球气候变化的模型研究认为土壤碳素损失是全球气候变暖的主要原因之一^[27],并且全球变暖也会导致土壤碳损失^[28]。土壤呼吸作用是一个相对复

杂的过程,受到大气环境和土壤环境等多种因素的协同影响。通过对桂林毛村岩溶区表层土壤呼吸作用日监测研究发现,白天土壤呼吸速率和变幅较大;夜间土壤呼吸速率和变幅较小。该研究结果与吴蒙等^[21]对桂林尧山地区和龚斌等^[29]对中亚热带森林地区的土壤呼吸日变化规律的研究结果相同。

该区域的土壤呼吸作用呈现出单峰型的日变化规律。本次研究成果与其他研究者的结果相同^[12,30-31],即大气温度作为影响土壤呼吸作用的重要影响因子^[32],主要通过影响土壤中微生物、植物根系呼吸作用、动植物残体分解及有机碳的氧化分解速率而对土壤呼吸碳释放产生影响。现阶段研究成果发现土壤呼吸速率与大气温度呈显著正相关关系或者指数相关关系^[33],说明大气温度是影响土壤呼吸作用的关键环境因子。本次研究与吴蒙等^[21]在桂林尧山地区开展的监测结果一样都显示了昼夜变化规律,但是日变化中土壤呼吸作用的峰值出现的时间有所差异。这有可能由研究区域的植被类型不同所引起。本次研究只针对在昼夜温差较小的夏季,与其它昼夜温差较大的季节相比,影响土壤呼吸的关键环境因子是否存在差异需要进一步深入研究。

4 结论

本文研究的典型岩溶区土壤呼吸具有明显的昼夜变化特征,总体上呈现出单峰型演变规律。在无降水事件影响下,土壤呼吸作用和变化幅度均为白天强于夜间,土壤呼吸作用在 12:40 至 14:40 达到最大值,在 4:40 至 6:40 达到最小值。土壤呼吸作用昼夜变化对气温变化响应具有延迟效应。在昼夜变化尺度下,岩溶区土壤呼吸作用变化与大气温度变化呈现出显著的正相关关系。可见,无降水影响下,气温是控制土壤呼吸作用昼夜变化的最关键因子。

参考文献

- [1] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 1992, 44(2):81-99.
- [2] 魏书精,罗碧珍,孙龙,等.森林生态系统土壤呼吸时空异质性及影响因子研究进展[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(4):689-704.
- [3] Raich J W, Tufekcioglu A, Rustad L E, et al. Vegetation and

- soil respiration: correlations and controls[J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1):71-90.
- [4] Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems [J]. *Botanical Review*, 1977, 43(4): 449-528.
- [5] Musselman R, Fox D. A Review of the Role of Temperate Forests in the Global CO₂ Balance [J]. *Air Repair*, 1991, 41(6): 798-807.
- [6] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle[J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1):7-20.
- [7] Chapin F S, Matson P A, Mooney H A. Principles of terrestrial ecosystem ecology[M]//Principles of terrestrial ecosystem ecology. New York, NY:Springer New York,2002.
- [8] Jackson R B. Fine-root respiration in a loblolly pine (*Pinus taeda* L.) forest exposed to elevated CO₂ and N fertilization[J]. *Plant Cell & Environment*, 2008, 31(11):1663-1672.
- [9] Lipp C C, Andersen C P. Role of carbohydrate supply in white and brown root respiration of ponderosa pine[J]. *New Phytologist*, 2003, 160(3):523-531.
- [10] Li X, Fu H, Guo D, et al. Partitioning soil respiration and assessing the carbon balance in a *Setaria italica* (L.) Beauv. Cropland on the Loess Plateau, Northern China[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, 42(2):337-346.
- [11] Erica D, Ivana J, Luo Y. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: moving beyond Q₁₀[J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(2):154-164.
- [12] 刘合满, 曹丽花, 马和平. 土壤呼吸日动态特征及其与大气温度、湿度的响应[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(1):193-196.
- [13] 颜学佳, 魏江生, 周梅, 等. 兴安落叶松林土壤呼吸及组分的变化特征[J]. *生态环境学报*, 2013(6):948-954.
- [14] 潘根兴, 曹建华. 表层带岩溶作用:以土壤为媒介的地球表层生态系统过程:以桂林峰丛洼地岩溶系统为例[J]. *中国岩溶*, 1999, 18(4):289-296.
- [15] 唐夫凯, 崔明, 卢琦, 等. 喀斯特峡谷不同植被类型土壤的呼吸及其温度敏感性[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(1):61-68.
- [16] 吴夏, 朱晓燕, 张美良, 等. 岩溶表层带土壤温度和含水率对呼吸作用的影响[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(12):1904-1908.
- [17] 吴夏, 潘谋成, 朱晓燕, 等. 夏季降水对岩溶表层带土壤呼吸作用的影响[J]. *南方农业学报*, 2015, 46(4):575-580.
- [18] Rey A, Pegoraro E, Tedeschi V, et al. Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak forest in Central Italy[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(9):851-866.
- [19] 张燕, 张振华, 姚付启, 等. 土壤温度相对于气象因子的滞后效应分析[J]. *农业现代化研究*, 2008, 29(4):468-470.
- [20] 夏冰, 司志国. 不同园林植物土壤呼吸及影响因子特征[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(5):240-246.
- [21] 吴蒙, 马姜明, 梁士楚, 等. 桂林尧山地区 20 年生桉树林土壤呼吸昼夜变化特征[J]. *生态与农村环境学报*, 2014, 30(5): 620-626.
- [22] Eler K, Plestenjak G, Ferlan M, et al. Soil respiration of karst grasslands subjected to woody-plant encroachment[J]. *European Journal of Soil Science*, 2013, 64(2):210-218.
- [23] 付刚, 周宇庭, 沈振西, 等. 不同海拔高寒放牧草甸的生态系统呼吸与环境因子的关系[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(12): 2789-2794.
- [24] Jia B, Zhou G. Integrated diurnal soil respiration model during growing season of a typical temperate steppe: Effects of temperature, soil water content and biomass production[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, 41(4):681-686.
- [25] Gomez-Casanovas N, Anderson-Teixeira K, Zeri M, et al. Gap filling strategies and error in estimating annual soil respiration[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(6):1941-1952.
- [26] Birge H E, Conant R T, Follett R F, et al. Soil respiration is not limited by reductions in microbial biomass during long-term soil incubations[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2015, 81(81):304-310.
- [27] Mielnick P C, Dugas W A. Soil CO₂ flux in a tallgrass prairie. [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32(2):221-228.
- [28] Mcguire A D, Melillo J M, Kicklighter D W, et al. Equilibrium responses of soil carbon to climate change: empirical and process-based estimates[J]. *Journal of Biogeography*, 1995, 22(4/5):785-796.
- [29] 龚斌, 王风玉, 张继平, 等. 中亚热带森林土壤呼吸日变化及其与土壤温湿度的关系[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(8): 1275-1281
- [30] Asai, Futai. The effects of long-term exposure to simulated acid rain on the development of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*[J]. *Forest Pathology*, 2001, 31(4):241-253.
- [31] 吴建国, 张小全, 徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式土壤呼吸时间格局[J]. *环境科学*, 2003, 24(6): 23-32.
- [32] 肖文发, 徐德应, 刘世荣, 等. 杉木人工林针叶光合与蒸腾作用的时空特征[J]. *林业科学*, 2002, 38(5):38-46.
- [33] 张宏, 黄懿梅, 祁金花, 等. 温度和水分对黄土丘陵区 3 种典型土地利用方式下土壤释放 CO₂ 潜力的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(4):731-737.

Diurnal variation characteristics of soil respiration and influencing factors in the Maocun karst area, Guilin

WU Xia^{1,2}, PAN Moucheng¹, CAO Jianhua¹, ZHU Xiaoyan¹,
ZHANG Meiliang¹, YANG Hui¹, TANG Wei¹, LAN Gaoyong¹

(1. *Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China;*

2. China University of Geosciences, Beijing 10083, China)

Abstract This work aimed to reveal the circadian variation of soil respiration in the karst surface zone during summer in the Maocun karst area, Guilin. Using the static camera obscura/gas chromatography, soil respiration diurnal change in the study area was monitored in the background without precipitation. Meanwhile soil temperature, atmospheric temperature, pressure and other the environmental parameters were measured. By virtue of these data, main controlling factors of soil respiration were analyzed statistically. Results show that diurnal variation of soil surface temperature has a single peak which is affected by the change of atmospheric temperature. Soil respiration also displays obvious diurnal change in the study area. The maximum soil respiration appears at 12:40 to 14:40, and the minimum value appears 4:40 to 6:40. The intensity and amplitude of soil respiration in the day are greater than the night. The diurnal variation of soil respiration is mainly influenced by atmospheric temperature in the condition without precipitation. Therefore, atmospheric temperature is the primary controlling factor of soil respiration on a short-term scale. These results can help accurately estimate the carbon budget of the whole ecosystem.

Key words epikarst, soil respiration, diurnal change, response lag

(编辑 吴华英)