

湘西洛塔旱地土壤 CO₂ 释放研究

苏春田, 唐建生, 梁彬, 李兆林, 关碧珠

中国地质科学院岩溶地质研究所, 国土资源部广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林, 541004

土壤环境是岩溶发育最为活跃的部位, 而 CO₂ 又是岩溶作用重要的驱动力(刘再华等, 1998), 因此, 土壤环境中 CO₂ 的释放研究一直是岩溶动力系统研究关注的焦点之一。目前, 国内外已经对森林、草地、农田土壤呼吸进行了较为长期的观测与研究(戴万宏等, 2004; 肖复明等, 2005), 而对岩溶区旱地土壤呼吸速率的研究则较少。本文以湘西洛塔为例, 研究了岩溶区土壤呼吸速率的季节变化及影响因素, 以期为该区土壤生态系统以及岩溶动力系统的研究提供科学依据。

1 研究区自然概况

洛塔位于湘、鄂、黔、渝四省市交界的湘西岩溶山区, 是我国西南岩溶山区的典型代表, 岩溶面积占全区面积的 55.6%。构造上为一北东向斜构造盆地, 盆地总的地势是北西高, 南东低, 并从周边向洛塔—猛西河形成了三级缓坡平台面。本区出露地层主要有泥盆—志留系、二叠系、三叠系及第四系。岩性上部主要为碳酸盐岩, 其下为巨厚的古生代砂页岩。

洛塔属于亚热带季风湿润气候区, 主要特征: (1) 气温低、日照短、夏凉冬冷、冰冻期长。年平均气温 13.3℃, 极端最低气温低于 -10℃, 极端最高气温 37℃, 冰冻期 5 个月以上, 无霜期为 3-10 月。(2) 云雾多、湿度大、雨量充沛、雨季较长。相对湿度 71%-89%, 多年平均降水量为 1649.7mm, 丰水期为 5-9 月, 平水期为 3、4、10 月, 枯水期为 1、2、11、12 月, 最大降水量一般出现在 6 月。测定样地选择在位于洛塔东北部的阿亏屯, 属于旱地, 土壤为石灰土, 土层较深, 以种植玉米、豆类为主。

2 实验处理与研究方法

土壤呼吸作用中 CO₂ 向大气的释放量 (速

率) 是采用碱吸收法进行测定, 即在待测处地面放置一定浓度的碱液, 用白口铁桶 (Φ 25cm) 罩住 (密封), 并将铁桶开口端埋入土层 2cm 深处, 边缘用土掩埋并压实, 勿使周围气体进入, 当 CO₂ 从土壤表面释放出来之后, 被保持在圆桶内直到扩散被碱液吸收, 24 小时后取出碱液, 加入 BaCl₂ 和酚酞指示剂, 再用盐酸滴定, 根据滴定所需盐酸的体积, 就可以算出与碱液相结合的 CO₂ 释放量。同时做空白对比实

验, 即在同一地点用同一方法测定大气中的 CO₂, 用下列公式求出土壤 CO₂ 的释放量 (速率)。

$$CO_2 = E[C_1(V_1 - V_2) + C_2(V_4 - V_3)]/F$$

式中: CO₂ 为土壤 CO₂ 释放量 (速率) (mg/m²·d);

E 为当量 (CO₂=22) ;

C₁、C₂ 分别为碱液 (NaOH)、酸液 (HCl) 浓度 (mol/l);

V₁、V₂ 分别为加入释放筒、对比筒碱液体积 (ml);

V₃、V₄ 分别为滴定释放筒、对比筒酸液体积 (ml);

F 为筒的截面积 (m²)。

土壤呼吸测定的同时, 分别采用地温计、负压计对土壤地表温度 (0cm)、5cm、10cm、15cm 处的土壤温度和对土壤地表 (0cm)、10cm、20cm、30cm、40cm、50cm 的土壤水势进行为期一年 (从 2000 年 4 月至 2001 年 3 月) 每隔 5 日一次的监测 (由于人为因素和仪器因素而有个别间断)。

土壤呼吸速率的动态曲线及土壤温度、土壤水势的动态曲线均采用 Microsoft Office Excel 2003 完成, 土壤呼吸速率与土壤温度、土壤水势的相关性分析是采用 SPSS 统计软件完成, 多元回归分析采用的是 SPSS 统计软件中的 Enter 方法完成。

3 实验结果与分析

3.1 土壤呼吸速率的季节动态

通过一年的观测,结果表明土壤呼吸速率具有一定的季节节律变化,但其变化要复杂的多,表现为不规则的多峰波动曲线。春季土壤呼吸速率总体呈上升的趋势,变幅为 $452.67 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$ - $3808.31 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$,与此时温度的逐渐升高,土壤微生物活动加强和植物根系呼吸逐渐增大有关。夏季土壤呼吸速率波动性较大,变幅为 $1003.89 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$ - $5818.46 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$,8月中旬达到一年的最高值 $5818.46 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$ 。秋季总体呈下降的趋势,变幅为 $564.45 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$ - $5639.60 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$,在10月下旬出现一个峰值 $5639.60 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$,与全年最大值接近。冬季土壤呼吸速率则持续偏低,变幅为 $50.23 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$ - $1279.89 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$,并且降到一年的最低值 $50.23 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$ 。春季土壤呼吸速率平均为 $1687.182 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$,夏季为 $3898.725 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$,秋季为 $2531.912 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$,冬季为 $551.678 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$,由此可见,土壤呼吸速率季节的动态变化与对应的土壤温度的动态变化大体保持一致,而与土壤水势之间无明显的一致性。(见图1、图2、图3)。

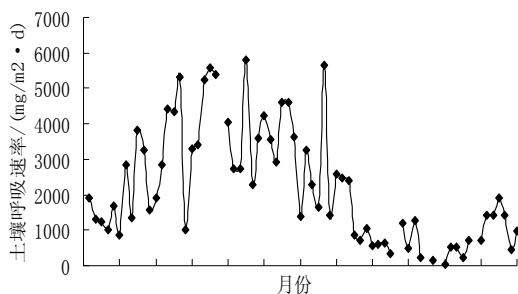


图1. 土壤呼吸速率的季节动态变化

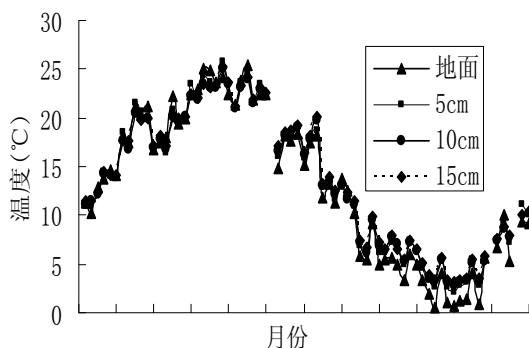


图2. 土壤温度的季节动态变化

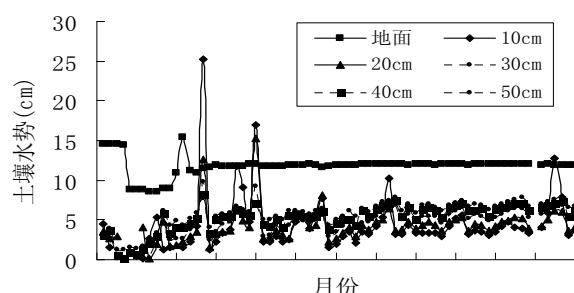


图3. 土壤水势的季节动态变化

3.2 土壤呼吸速率与土壤温度的关系

观测期间,土壤呼吸速率出现全年最大值的时间是8月15日,对应的土壤温度地表(0cm)、5cm、10cm、15cm处分别为 25.4°C 、 24.5°C 、 24°C 、 24.2°C ,地表和5cm均处于全年对应土壤温度的最高值,10cm和15cm处分别与全年对应土壤温度最高值(25.1°C 、 25.2°C)相接近;土壤呼吸速率出现全年最小值的时间是1月30日,对应的土壤温度地表(0cm)、5cm、10cm、15cm处分别为 0.7°C 、 2.2°C 、 2.8°C 、 3.2°C ,均处于全年对应土壤温度的最低值,说明土壤温度的全年变化与土壤呼吸速率之间的变化规律基本保持一致。土壤温度在一定程度上是影响土壤呼吸速率的主要因子,它主要是通过通过对土壤微生物呼吸和植物根系呼吸的影响来调控土壤呼吸作用(孟凡乔,2006),土壤中约有60%的 CO_2 是通过土壤微生物呼吸所产生,约有17%-40%的 CO_2 是由植物根系呼吸所释放(AD,麦克拉伦等,1984; Raich,j.w,2000)。

以往研究表明,土壤温度与土壤呼吸速率之间存在显著的指数关系(韩广轩,2006; 林丽莎,2006)。在本研究中,通过对样地土壤呼吸速率与土壤温度连续一年67次同步实测数据的回归分析表明,各土层的温度同土壤呼吸速率之间存在显著的幂函数关系($P < 0.01$),且它们之间的相关性显著(见图4),土壤呼吸速率与土壤0cm、5cm、10cm、15cm相关系数 R^2 分别为0.6728、0.6945、0.7032、0.6996,其中以土壤呼吸速率与10cm处土壤温度相关性最好, $R^2=0.7032$,说明10cm处土壤温度的变化可解释土壤呼吸速率70%的变化情况,与戴万宏等对农田生态系统土壤 CO_2 释放研究相一致(戴万宏,2004)。

陈全胜等在研究锡林河流域典型草原退化群落时指出,土壤温度较低时($< 15^\circ\text{C}$),土壤温度与土壤呼吸速率之间的相关性非常高,土壤温度对

土壤呼吸速率的影响也较突出,温度较高时候,相关性较弱,这时需要综合考虑其它因素对土壤呼吸

速率的影响(陈全胜,2003)。在本研究中,也进一步证实了这一理论(见图4)。

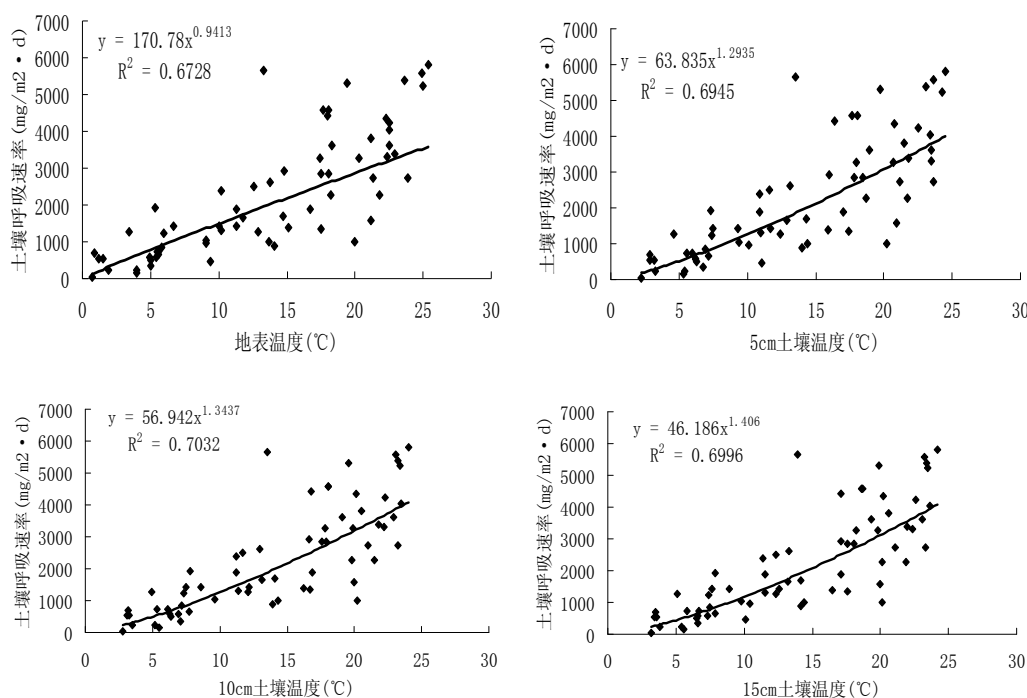


图4 地表温度及各土层温度与土壤呼吸之间的关系

Q_{10} 值是指温度每增加 10℃ 引起土壤呼吸的变化比率,它是反映土壤呼吸温度敏感性的有效参数(陈全胜,2003), Q_{10} 值在时间和空间上都存在一定的差异,热带和温带土壤的 Q_{10} 值分别为 2.1-2.7 和 2.0-2.8 (Davidson E A et al,2000)。在本实验中,根据各土层温度与土壤呼吸速率之间存在的幂函数关系,可知 Q_{10} 依次为 1.9206、2.4512、2.5380、2.6500,高于全球范围的 Q_{10} 值 1.57(刘绍辉,1997),说明温度对土壤呼吸速率的影响十分显著。

3.3 土壤呼吸速率与土壤水势的关系

土壤水势是决定土壤水分运动状态的基本要素,土壤剖面上水势的分布和特征,集中反映了自然因素和人为因素对土壤水分运动的影响,而土壤水势梯度是土壤水分运动的驱动力,并决定土壤水势运动方向,因此,土壤水势可以更好的反映土壤中水分的状况。

土壤呼吸速率与土壤含水量之间的关系国内外一些学者已经进行了相应的研究,Wagai R 等在研究牧场草原群落时指出土壤呼吸与水分之间呈正相关,但不显著(Wagai R, 1998),常宗强等在研

究黑河流域山区牧坡草地时认为土壤呼吸速率与土壤含水量之间存在显著的乘幂关系(常宗强,2005),国内外大部分比较的是土壤呼吸速率与土壤质量含水量、体积含水量和相对含水量之间的关系,而对土壤呼吸速率与土壤水势之间的关系报道较少。本研究比较了这两者之间的关系,回归分析表明,土壤呼吸速率与土壤水势之间的相关性不明显甚至不表现相关性,其中土壤呼吸速率与 10cm 处土壤水势相关性最大 $R^2=0.122$,其它均小于此值(见表1),与 Davidson E A 等对森林的研究结果不同,Davidson E A 等指出土壤呼吸速率与土壤水势之间呈现负相关。

3.4 多元回归分析

鉴于土壤呼吸速率与土壤温度之间存在幂函数关系,并且相关性很好,而与土壤水势之间相关性不明显。我们采用多元线性回归中的 enter 方法,分析土壤呼吸速率与土壤温度、水势两者之间的关系,分析结果可知,地面处(0cm)、地下 10cm 处土壤呼吸速率与土壤温度、土壤水势的回归模型分别为:

$$y = -1457.404 + 180.011x_1 + 107.116x_2$$

$$y = -778.134 + 185.977x_1 + 116.143x_2$$

式中 x_1 为土壤温度, x_2 为土壤水势, y 为土壤呼吸速率, 地面处相关系数 $R^2=0.640$, 土壤温度显著性概率为 $0.000<0.05$, 说明回归系数具有显著性。而土壤水势显著性概率为 $0.281>0.05$, 说明回归系数不具有显著性; 地下 10cm 处相关系数 $R^2=0.715$, 土壤温度和土壤水势的显著性概率均为 $0.000<0.05$, 说明地下 10cm 处土壤呼吸速率与土壤温度、土壤水势回归系数具有显著性, 相关性较好, 此时表明约有 70% 的土壤呼吸速率变化情况是由土壤温度和土壤水势共同影响的, 由此可知, 土壤水势与土壤呼吸速率之间关系较为复杂, 往往同时取决于土壤水势与土壤温度之间的相互协调与共同调控。

4 结论与讨论

(1) 1 年的观测结果表明土壤呼吸速率具有一定的季节节律变化, 表现为不规则的多峰波动曲线, 不同季节的土壤呼吸速率的大小顺序为夏季>

秋季>春季>冬季。

(2) 样地土壤温度的全年变化情况与土壤呼吸速率全年变化情况基本保持一致, 土壤呼吸速率的最大值和最小值分别对应土壤温度的最大值和最小值, 体现了土壤呼吸速率与土壤温度之间具有显著的正相关关系, 而土壤水势的全年变化幅度不太明显, 土壤呼吸速率也没有随着土壤水势的增加而增加或减少, 随着土壤水势的减少而减少或增加, 可见土壤水势对土壤呼吸速率的影响不太显著。

(3) 样地土壤呼吸速率变化相对于气温变化和月降雨量变化具有滞后性, 全年气温最高值出现在 7 月份, 全年月降雨量最高值出现在 6 月份, 而土壤呼吸速率的最大值却出现在 8 月份, 与该地区最高气温滞后 1 个月, 最大月降雨量滞后 2 个月。滞后原因除了气温向土壤的传递需要一定的时间之外, 还可能与岩溶地区特殊的地质和生态环境等因素有关。

表 1 呼吸速率与土壤水势的相关性

深度	0cm	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
R^2	0.011	0.122	0.054	0.000	0.000	0.001