

喀斯特地区城市绿地土壤呼吸对降水变化的响应研究

吕文强^{1,2}, 王世杰^{1*}, 刘秀明¹, 容 丽^{1,3}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

摘要: 降水是影响土壤呼吸一个重要的影响因子, 研究降水对土壤呼吸的影响, 对估计和预测陆地生态系统土壤呼吸变化有着重要的意义, 但目前自然降水对喀斯特地区城市绿地土壤呼吸影响的研究目前还鲜有报道。本研究利用静态暗箱法, 对降水后贵阳市绿地土壤呼吸速率变化进行了 24 h 定位监测, 对比研究了不同强度降水后土壤呼吸速率变化, 并分析了水热因子对土壤呼吸速率变化的影响。结果表明: 不同强度降水事件发生后, 土壤呼吸速率具有明显的差异; 引起这种差异的原因主要是较小的降水事件后微生物呼吸速率较快, 而较大的降水后土壤微生物呼吸受到了抑制; 根系呼吸速率的变化则与降雨量有着正反馈作用; 温度和微生物呼吸呈显著负相关, 而湿度和微生物相关性不明显; 而根系呼吸和湿度呈显著正相关, 和土壤温度相关关系不明显。

关键词: 喀斯特城市绿地; 土壤呼吸; 降水强度变化

中图分类号: S151+.23 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2011)02-0174-07

土壤碳库是生态系统中最重要碳库之一, 其中的碳以 CO₂ 的形式释放到大气, 土壤呼吸的微小变化都会对大气碳库产生重要的影响^[1], 同时也是调控全球碳循环和气候变化的关键过程^[2], 是当前全球变化生态学研究热点之一。

由于湿度是土壤呼吸重要的影响因子, 因此全球变化背景下降雨格局的变化对土壤呼吸通量有着重要的影响。IPCC 报告(2007)指出, 全球变化将改变降水的时空格局, 全球降雨量和极端降雨事件也会有所增加^[3]。而降水不仅是土壤水分的直接来源, 并且影响着地下复杂的生态学过程^[4], 进而对土壤呼吸产生显著的影响。近些年, 降水对土壤呼吸的影响已受到广泛的关注^[4-10]。但目前的研究多采用模拟降水和实验室模拟的方法, 而关于自然降水对土壤呼吸影响的系统性研究却鲜有报道。因此, 深入研究自然降水对土壤呼吸的影响意义重大。

随着城镇化的推进, 城市绿地已成为陆地生态

系统重要的组成部分。目前, 已有部分学者开始关注该生态类型, 并对其进行了土壤呼吸通量的监测^[11, 12]。然而对喀斯特地区城市绿地土壤呼吸对大气降水格局变化响应研究基本未见报道。喀斯特城市绿地具有岩溶生态环境的特点, 其生态环境脆弱, 对环境变化十分敏感, 因此展开对喀斯特城市绿地土壤呼吸对降水响应研究显得十分重要。本研究通过对不同自然降水强度下贵阳市绿地雨后 24h 内的土壤呼吸速率、土壤湿度和土壤温度的监测, 分析了不同降水后土壤呼吸(土壤微生物呼吸和根呼吸)的变化规律, 剖析水热因子对土壤呼吸作用的影响, 为估算降水格局改变的背景下岩溶地区城市绿地土壤呼吸通量提供了坚实可靠的数据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究选在贵阳市南明城区内(N26°34'19",

收稿日期: 2010-12-21; 改回日期: 2011-04-11

基金项目: 中国科学院知识创新工程方向性项目(kzcx2-yw-306)、国家自然科学基金创新群体项目(40721002)和贵州省科技基金资助项目(黔科合J字[2008]2014)

第一作者简介: 吕文强(1982-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为环境地球化学。E-mail: lvwenqiang1982@126.com

*通讯作者: 王世杰, 研究员。E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn

E106°43'26"。年平均气温 14.8℃(近十年),全年雨量充沛,一般年平均降雨量在 1200 mm 左右,其中约 80%的降雨集中在雨季(3 月到 9 月),但大雨集中分布在六月和七月。近年来受全球变暖的影响,研究区的雨量无明显的变化,但降雨格局发生了重要的改变,即降雨更为集中、单场降雨强度增大,无雨日数增大。监测点的植被覆盖度达 85%以上,发育乔灌草复合结构,乔木主要女贞和柳杉木为主,伴生朴树、构树等;灌木发育冬青、朴树和软条七蔷薇等;草本植物主要有凤尾蕨和野古草。监测点的土壤层发育较厚,为黄壤,粘性较强,具体的理化性质见表 1。

表 1 监测点的土壤理化性质

Table 1 Soil characteristics of the study area

土壤深度	pH	SOC (g/kg)	N (g/kg)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
0~10 cm	6.89	38.2	2.2	14.8	55.2	29.0
10~20 cm	6.95	22.6	0.9	14.4	49.8	35.8

1.2 土壤呼吸气体样品的采集、分析及土壤呼吸速率的计算

本次研究选取了三次有代表性的降雨来进行雨后 24 h 的土壤呼吸监测,分别为大雨、暴雨和中雨;采样时间处于 2009 年 5 月到 2009 年 8 月之间,该段时间降雨较多,处于雨季,植物处于生长期,月平均气温不大。为了与降雨后的土壤呼吸做比较,并在 2009 年 8 月选取了一个连续几天晴天之后的晴天进行了土壤呼吸的监测。具体的采样时天气情况见表 2。为了方便,以下都简称为 0 mm、16.8 mm、41.6 mm 和 55.5 mm 降雨。

采样按降雨后 1 h、2 h、4 h、6 h、8 h、12 h、16 h、20 h 和 24 h 对土壤呼吸样品采集,并用壕沟法同步采集微生物呼吸样品。采样持续时间为 30 min,分别抽取罩箱内 0 min、10 min、20 min 和 30 min 时的气体样品。每次采样时抽取箱内气体约 500 mL 置于密封气袋中,用于 CO₂ 气体浓度分析。样品带回实验室后使用惠普 6890 气相色谱仪测定。由于气袋泄漏,导致 41.6 mm 降雨后采集的微生物呼吸气体样和 41.6 mm 雨后第 24 h 样品失效。同时,在每次采集土壤呼吸样品时,采集箱内气温、5 cm 地温以及 0~10 cm 土壤

质量含水量。

CO₂ 释放通量(F)的计算公式为:

$$F = [(MPH)/(RT)] \times (dc/dt) \quad (1)$$

式中 F 为释放通量(mg·m⁻²·h⁻¹,以 C 计算),M 为分子量(g·mol⁻¹),P 为箱内压力(mmHg),R 为理想气体常数(0.062364 m³·mmHg·K⁻¹·mol⁻¹),T 为采样温度(K),dc/dt 为罩箱内的单位时间气体浓度变化(μL·L⁻¹·h⁻¹)。

表 2 四场不同降雨的特点和降雨量

Table 2 Characteristics and intensity of four rainfalls

降雨强度	降雨特点	24 h 降雨量 (mm)
中雨	5.18 日凌晨五点持续到早上 8 点半,强度不大	16.8
大雨	从 6.29 日 12 点左右持续到 6.30 日早上 6.30,强度时大时小	41.6
暴雨	从 8.5 日凌晨内持续到 8.5 日下午 3 点,开始强度较大,后面是连绵不断的小雨	55.5
晴天	8.26 日晴天,无降雨.前几日一直晴天	0

2 结果与分析

2.1 不同降雨条件下雨后 24 h 土壤湿度和温度的变化特征

由图 1(a)可以看出,晴天时的土壤 5 cm 地温

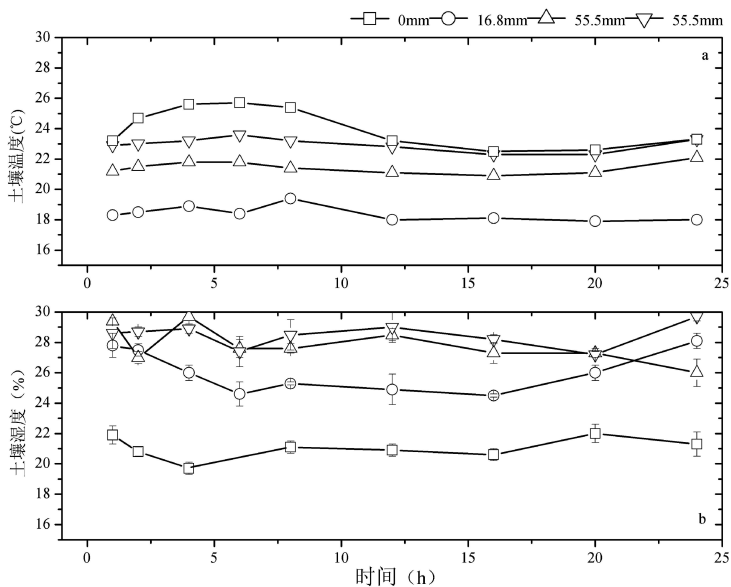


图 1 不同降水条件下地温(a)和土壤含水量(b)随时间的变化

Fig. 1 Variations in soil temperature (a) and soil water contents (b) during different sampling periods

略高于降雨后,但土壤5 cm 地温并无随降雨量增大而减小的态势,即土壤温度主要受控于气温;无论晴天还是不同降雨强度的降雨,雨后24h 内的土壤温度变化并不明显,出现的波动情况主要是昼夜温差所造成的。

与土温不同,晴天的土壤湿度(0~10 cm)与雨后有着明显的差别(图1-b),且土壤湿度随降雨量的增大而增大,但41.6 mm 和55.5 mm 降雨后24 h 内土壤湿度近一致,反映出大雨后土壤含水量可能达到了饱和值。从雨后24 h 内的变化情况来看,土壤湿度变化可能体现了昼夜变化情况,并不能指示不同降雨强度的降雨后土壤的蒸散规律。

2.2 三次不同降雨条件下雨后24 h 土壤呼吸速率变化特征

由图2可知,不同的降水条件下,土壤呼吸速率有较大的差异性。0 mm、16.8 mm、41.6 mm 和55.5 mm 降雨后土壤呼吸速率变化范围分别为237.1~425.5 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、241.9~1162.4 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、932~1594.4 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 和314.7~889.1 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。显然,晴天的土壤呼吸速率相对较慢,3场降雨的雨后土壤呼吸速率明显超过前者;3场降雨的雨后24 h 土壤呼吸速率总体上呈现出55.5 mm < 16.8 mm < 41.6 mm 的规律。从雨后的土壤呼吸变化来看,16.8 mm 和41.6 mm 降雨的变化趋势相似:在雨后10~12 h 内土壤呼吸速率相对快速增大,此后土壤呼吸速率开始慢慢降低;而55.5 mm 降雨后24 h 内土壤呼吸速率呈现出持续相对缓慢的增加态势。

2.3 不同降雨条件下雨后24 h 土壤微生物呼吸和根系呼吸速率变化特征

不同降水事件发生后,土壤微生物呼吸和根系呼吸的有着不同的比变化特征,见图3。0 mm、16.8 mm 和55.5 mm 降雨后微生物呼吸速率变化范围分别为:147.5~358.9 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、228.4~838.8 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 和193~192.1 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$;根系呼吸速率分别为:19.8~169.2 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、13.5~539.9 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 和424.9~755.5 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。55.5 mm 降雨后与晴天时微生物呼吸速率相比,速率相差较小,甚至低于晴天时的土壤微生物呼吸速率;而

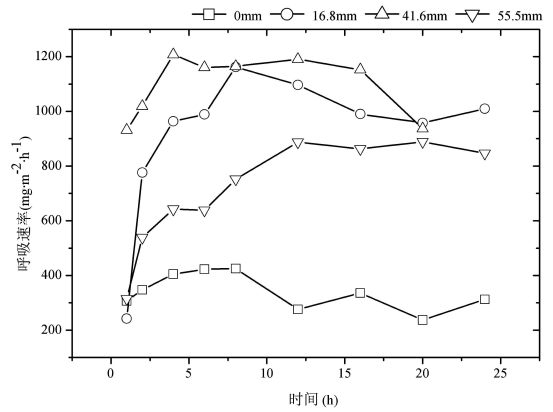


图2 不同降水后土壤呼吸速率随时间的变化
Fig.2 Variations in soil respiration rate during different sampling periods

16.8 mm 降雨后,土壤微生物呼吸速率明显超过了晴天时土壤微生物呼吸速率。随着雨量的增加,雨后24 h 内土壤根系呼吸速率总体上是逐渐增强的。

3 讨论

3.1 降雨量和雨后24 h 土壤呼吸速率的相关性

降水对土壤呼吸的影响是一个极为复杂的过程,生态类型、土壤理化性质、降雨前土壤中湿度情况、微生物种类以及大气降水等因素的微小差异都会造成土壤呼吸的差异^[13]。已有的研究结果表明,在不同的区域,降水对土壤呼吸的影响表现出较大的差异性。Austin等(2004)通过对干旱和半干

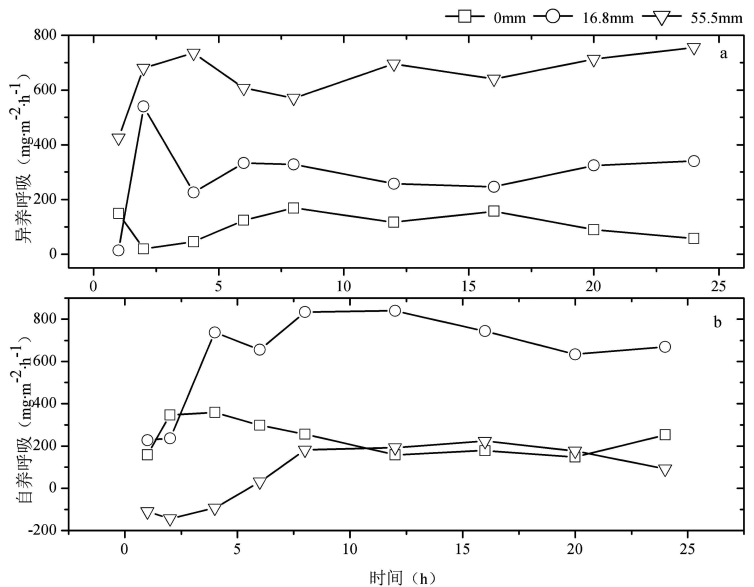


图3 不同降水后24 h 根系呼吸速率(a)和微生物呼吸速率(b)随变化
Fig.3 Variations in root respiration rate and microbial respiration rate during different sampling periods

旱地区土壤呼吸的监测,认为降雨事件激发了土壤呼吸,降水对土壤呼吸有着正反馈作用^[4-8];而 Ball (1999)发现农田土壤呼吸在强降雨后迅速降低^[14];该观点得到不同地区不同学者的认同。Davison 等在研究巴西亚马逊河流域森林土壤呼吸时,发现强降雨后土壤呼吸减弱^[15],中国台湾云雾林(2008)土壤呼吸也在大量的降雨后降低^[16]。与上述研究相比较,本研究区土壤类型为黄壤,具有土壤层发育较厚,粘性较强,土壤有机质含量较低,土壤团粒结构性差,土壤持水能力不强等特点。本文研究结果显示,与晴天时土壤呼吸速率相比,三种不同的降雨事件后,土壤呼吸速率均高于晴天时的土壤呼吸速率,说明降雨后,土壤呼吸作用均得到了加强。研究期间,夏季降水丰富,降水后土壤呼吸作用加强,可能与该地区土壤持水能力不强,容易引起土壤含水量维持在较低水平,降水后土壤含水量迅速增加有关,这也表明了降雨对土壤呼吸的影响受到诸如土壤理化性质、气候等因素的限制。从 0 mm、16.8 mm 和 41.6 mm 的降水来看,雨后 24 h 土壤呼吸速率随降水量的增加而增大,然而 55.5 mm 降雨后 24 h 土壤呼吸速率却小于前二者,说明雨后 24 h 土壤呼吸速率与降水量并不存在简单的关联性,可能存在一个阈值:小于这个阈值,雨后 24 h 土壤呼吸速率与降雨量成正相关;而大于这个阈值,两者可能呈现负相关性。Huxman^[17]在干旱和半干旱的生态系统中的研究中,就指出中等强度的降水和持续时间对土壤呼吸的作用最大。对比本文监测到的土壤微生物分解作用,可以发现 16.8 mm 的降雨过后,微生物的分解作用明显得到了加强,土壤微生物分解有机质的速率明显超过了晴天时其对整个土壤呼吸的贡献。而在较大降雨事件后(暴雨),土壤微生物的分解作用明显受到了抑制,甚至低于了晴天时微生物呼吸对整个土壤呼吸的贡献。因此本文认为,在小雨或者雨量适当的前提下,降雨主要通过刺激土壤微生物的分解作用来增大土壤呼吸^[4,18];而在雨量较大时,过多的水分则抑制了微生物的作用,因此土壤呼吸速率相应也较慢。

值得注意的是,与晴天时土壤呼吸速率相比,大雨后土壤微生物分解有机质的作用虽然被抑制,但整个土壤呼吸的速率却明显增加,说明大的降水事件过后,根系生命活动加强,导致即使在土壤微生物呼吸受抑制的状况下整个土壤呼吸速率仍有显著的增加。根系呼吸在不同的生态系统内占据整个土壤

呼吸的 10%~90%不等^[19,20]。我们通过挖壕沟法计算出来的暴雨后根系呼吸对整个土壤的贡献高达 80%,表明暴雨后根系呼吸对整个土壤呼吸贡献占据了主导地位。有研究指出根系呼吸取决于地上部的光合作用,响应较慢,一般几天到几周的时间^[17,21],而我们的结果则显示降雨后根系呼吸在较短的时间内做出了响应,可能原因是本研究区的土壤和植被特征与以上研究实例有明显的差异,其确切机理需要进一步研究和分析。

3.2 降水事件后水热因子对土壤呼吸的影响

土壤温度和含水量是影响土壤呼吸的两个重要因素^[22,23]。已有研究结果表明用温度和湿度能较好的解释土壤呼吸的变化^[9],在干旱和半干旱地区,水分是整个生态系统的关键的驱动力^[24],水分的变化能很好的解释土壤呼吸速率的变化^[25,26]。本文的监测结果显示(见表 3),雨后 24 h 内土壤呼吸速率与土壤湿度呈现出明显的正相关性,体现出降雨通过对改变土壤湿度而导致土壤呼吸速率增大的总体效应;具体来看,土壤湿度与根系呼吸有着更好的正相关关系,与微生物呼吸相关性不明显,表明降雨是主要通过植物(包括根系)的刺激导致土壤呼吸速率的增大。另一方面,土壤呼吸速率包括微生物呼吸速率与土壤温度有着明显的负相关,根系呼吸与土壤温度无明显的相关性。根系呼吸与土壤温度无明显的相关性,这与王妮等^[27]研究结果一致,分析可能的原因是根系呼吸不仅仅依赖于温度变化,还依赖于生理活力的变化。Högberg 等在研究根系呼吸日变化时,就指出植物根系呼吸的日变化与植物的光合作用相关联,而不依赖于温度的变化^[21]。土壤呼吸速率包括微生物呼吸速率与土壤温度有着明显的负相关,这与传统认识上的土壤呼吸与土壤温度的关系不一致。已有一些研究实例发现土壤呼吸的敏感性(Q10)与温度成负相关性的现象^[28],甚至有发现土壤呼吸速率与土壤温度成负相关性的现象^[29],其给出的解释主要有如下几个方面:根呼吸对温度升高的适应性^[30]、呼吸底物的有限性^[31]、微生物酶活性的下降^[32]、微生物呼吸释放能量用途的变化^[33]、土壤含水量限制^[34]等方面。从本文的监测结果来看,土壤微生物呼吸与土壤温度成负相关性的机理可能是几个方面共同所造成的,一是土壤含水量的限制,降水后,土壤含水量维持在较高的水平,降低了土壤呼吸对温度的敏感性;Dorr 和 Münich 曾指出含水量增加,土壤呼吸对温度的

敏感性降低^[35]；二是温度的升高，土壤微生物活性增加，而供给呼吸的底物有限，从而导致土壤呼吸和微生物呼吸随温度升高反而下降，Giardina 等研究者曾指出，土壤呼吸对温度的不敏感，是由于土壤异养微生物竞争不足的土壤有机质基质引起的^[36]；三则可能是本研究中自然降雨对土壤呼吸影响的对比条件不完全一致。总之，影响土壤呼吸的因子很多，土壤呼吸以及各个组分不仅受温度、湿度等因素的影响，而且受土壤质地、土壤有机质、根系氮含量等因素影响，且这些因子相互作用、相互影响，因此对本研究中出现的土壤呼吸以及微生物呼吸与温度呈负相关的现象，还有待进一步研究。

表3 土壤呼吸与土壤温度和湿度相关性分析

Table 3 Correlations between soil respiration, and soil temperature and soil water contents

土壤呼吸速率	土壤温度(5 cm)	土壤湿度(0~10 cm)
Rs(n=36)	-0.485 **	0.538 **
Rh(n=36)	-0.462 **	0.097
Ra(n=27)	-0.009	0.818 **

注：*表示 $P < 0.05$ 显著相关；**表示 $P < 0.01$ 极显著相关；

Rs: 土壤呼吸；Rh: 微生物呼吸；Ra: 根系呼吸

4 结 论

1) 不同降雨强度的降雨后 24 h 内土壤呼吸速率有很大的差异，其中大雨(41.6 mm)后土壤呼吸速率最快，依次为中雨(16.8 mm)和暴雨(55.5 mm)。雨后 24 h 内土壤呼吸速率晴天 $>$ 中雨 $>$ 大雨，大雨可能是这种正相关性的降雨强度阈值。

2) 雨后 24 h 内根系呼吸速率随降雨强度的增大而增大，微生物呼吸与降雨强度之间有着更为复杂的关系。根系呼吸速率的变化则与降雨量有着正反馈作用；温度和微生物呼吸呈显著负相关，而湿度和微生物相关性不明显；而根系呼吸和湿度呈显著正相关，和土壤温度相关关系不明显。

3) 雨后 24 h 内，土壤呼吸、根系呼吸与土壤湿度有着较明显的正相关性，这体现了降水通过刺激植物本身(包括根系)增强了根系呼吸；而土壤呼吸、微生物呼吸与土壤温度有着较明显的负相关性，可能指示了在土壤水分的限制下微生物呼吸对温度的敏感性降低。

参 考 文 献

- [1] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle[J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 7—20.
- [2] Davidson E A, Savage K, Verdot L V, *et al.* Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 113: 21—37.
- [3] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2007, the Physical Science Basis, Summary for Policymakers*[M]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.
- [4] Austin A T, Yajdian L, Stark J M, *et al.* Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems[J]. *Oecologia*, 2004, 141: 221—235.
- [5] Liu X, Wan S, Su B, *et al.* Response of soil CO₂ efflux to water manipulation in tall grass prairie ecosystem[J]. *Plant and Soil*, 2002, 240: 213—223.
- [6] Sponseller R A. Precipitation pulses and soil CO₂ flux in a Sonoran Desert ecosystem[J]. *Global Change Biology*, 2007, 13: 426—436.
- [7] Chen S P, Lin G H, Huang J H *et al.* Dependence of carbon sequestration on the differential responses of ecosystem photosynthesis and respiration to rain pulses in a semiarid steppe[J]. *Global Change Biology*, 2009, 15(10): 2450—2461.
- [8] Birch H F. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability[J]. *Plant and soil*, 1958, 10: 9—31.
- [9] Chen S P, Lin G H, Huang J H, *et al.* Responses of soil respiration to simulated precipitation pulses in semiarid steppe under different grazing regimes. *Journal of Plant Ecology*[J]. 2008, 1(4): 237—246.
- [10] David R S, Josep P. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation[J]. *Applied Soil Ecology*, 2005, 28: 247—257.
- [11] 张鸽香, 徐娇, 王国兵, 等. 南京城市公园绿地不同植被类型土壤呼吸变化[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(2): 274—280.
- [12] 严俊霞, 汤亿, 李洪健. 城市绿地土壤呼吸与土壤温度土壤水分的关系研究[J]. *干旱区地理*, 2009, 32(4): 604—609.
- [13] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 水分对土壤呼吸的影响及机理[J]. *生态学报*, 2003, 23(5): 972—978.

- [14] Ball B C, Albert S, Jone P P. Field N_2O , CO_2 and CH_4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland[J]. Soil and Tillage Research, 1999, 53(1): 29—39.
- [15] Davidson E A, Verchot L V, Cattanio J H, *et al*. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia[J]. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 53—69.
- [16] Chang S C, Tseng K H, Hsia Y J, *et al*. Soil respiration in a subtropical montane cloud forest in Taiwan[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148: 788—798.
- [17] Huxman T E, Snyder K A, Tissue D, *et al*. Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems[J]. Oecologia, 2004, 141: 254—268.
- [18] Schwinning S, Sale O E. Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semiarid ecosystems[J]. Oecologia, 2004, 141: 194—210.
- [19] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, *et al*. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations[J]. Biogeochemistry, 2000, 48: 115—146.
- [20] Xu M, DeBaise T, Qi Y, *et al*. Ecosystem respiration in a young ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada Mountains[J]. California Tree Physiology, 2001, 21(5): 309—318.
- [21] Höglberg P, Nordgren A, Buchmann N. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration[J]. Nature, 2001, 411: 789—792.
- [22] Davidson E A, Belk E, 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.
- [23] Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems[J]. The Botany Review, 1977, 43(4): 449—528.
- [24] Noy-Meir I. Desert ecosystems: environment and producers[J]. Annu Rev Ecol Syst., 1973, 4: 23—51.
- [25] Sponseller R A. Precipitation pulses and soil CO_2 flux in a Sonoran Desert ecosystem[J]. Global Change Biology, 2007, 13: 426—436.
- [26] Inglima I, Alberti G, Bertolini T, *et al*. Precipitation pulses enhance respiration of Mediterranean Ecosystems: the balance between organic and inorganic components of increased soil CO_2 efflux[J]. Global Change Biology, 2009, 15: 1289—1301.
- [27] 王妮, 郭继勋. 松嫩草甸草地碱茅群落根呼吸对土壤呼吸的贡献[J]. 科学通报, 2006, 51(5): 559—564.
- [28] Chen H, Tian H Q. Does a general temperature-dependent Q_{10} model of soil respiration exist at biome and global scale[J]? Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 47(11): 1288—1302.
- [29] 杨晶, 黄建辉, 詹学明, 等. 农牧交错区不同植物群落土壤呼吸的日动态观测与测定方法比较[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 318—325.
- [30] Atkin O, Tjoelker M. Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature[J]. Trends in Plant Science, 2003, 8(7): 343.
- [31] Atkin O, Bruhn D, Hurry V, *et al*. Evans Review No 2: The hot and the cold: unravelling the variable response of plant respiration to temperature[J]. Functional Plant Biology, 2005, 32(2): 87—105.
- [32] 刘洪升, 刘华杰, 王智平, 等. 土壤呼吸的温度敏感性. 地理科学进展[J], 2008, 27(4): 51—60.
- [33] Chapin F, Matson P, Mooney H. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology[M]. Springer-Verlag, 2002.
- [34] 张丽华, 陈亚宁, 赵锐锋, 等. 温带荒漠中温度和土壤水分对土壤呼吸的影响[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 936—949.
- [35] Dorr H, Münich K O. Annual variation in soil respiration in selected areas of the temperate zone[J]. Tellus, 1987, 39(B): 114—121.
- [36] Giardina C P, Ryan M G. Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature[J]. Nature, 2000, 404: 858—861.

Influence of Rainfall on Soil Respiration in Karst Urban Green Space

LU Wen-qiang^{1,2}, WANG Shi-jie¹, LIU Xiu-ming¹, RONG Li^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Environmental and Geographical Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550003, China)

Abstract: Rainfall is one of the key factors that control soil respiration. Furthermore, studying the relationship between soil respiration and rainfall is an important way to forecast and evaluate the variation of soil respiration in a terrestrial ecosystem. Up to date, the influence of natural rainfall on soil is still limited. To investigate the influence of rainfall on soil respiration, we investigated soil respiration using a closed chamber during 24 hours after the natural rainfall in karst urban green space in Guiyang city, Guizhou Province. Our results showed that the soil respiration rate varied with rainfall intensity. The main reason is that the low intensity of rainfall was favorable for microbial respiration. However, the high intensity of rainfall restrained the microbial activity. A significantly positive correlation between the root respiration rate and the intensity of rainfall was found. An interesting outcome of this study was that different responses were found for the root respiration and microbial respiration on environmental factors. There is significantly negative correlation between temperature and root respiration; while there is a significantly positive correlation between soil water content and microbial respiration.

Key words: karst urban green space; soil respiration; rainfall intensity