

亚热带城郊草坪土壤呼吸对春季天气变化的响应^①

盛 浩¹, 代思汝¹, 周 萍², 张伟畅¹, 常钰浩¹

(1 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; 2 亚热带农业生态过程重点实验室(中国科学院亚热带农业生态研究所), 长沙 410125)

摘 要: 采用静态箱-碱液吸收法, 对亚热带(长沙市)城郊 2 种暖季型草坪(狗牙根和台湾草)2012 年初春典型天气过程下的土壤呼吸进行了连续 28 天的逐日观测, 研究草坪土壤呼吸对春季天气变化的响应规律。结果表明, 在春季的连续阴雨期、寒潮降温期和快速升温期, 土壤呼吸波动较大, 分别介于 $C\ 0.22 \sim 0.53$ 、 $0.51 \sim 0.89$ 和 $0.51 \sim 1.22\ g/(m^2 \cdot d)$, 基本与土温变化一致。在观测期内, 草坪土壤呼吸的表现 Q_{10} 值较高(2.52), 但在寒潮降温期和快速升温期 Q_{10} 值降低(1.70 和 1.96), 反映出草坪土壤微生物和根系活动对初春快速温度变化响应的敏感度降低, 这可能是土壤呼吸长期适应的结果。春季降雨充沛, 草坪土壤呼吸随着土壤质量含水量的升高而降低, 较高的日降雨量明显抑制了土壤呼吸。两种草坪间土壤呼吸速率没有显著性差异, 草种对初春土壤呼吸的影响可能很小。试验结果表明春季水热变化快, 土壤呼吸日值波动大, 在估算土壤呼吸年通量时, 应充分考虑短期天气变化尺度上土壤呼吸的剧烈波动。

关键词: 土壤 CO_2 排放; 碳通量; 春季天气状况; 城市土壤

中图分类号: S153; X142

土壤呼吸是陆地最大的碳源(碳排放速率高达 $(98 \pm 12)\ Pg/a$), 其微小波动都将对大气 CO_2 浓度产生重大影响^[1], 因而准确估算土壤呼吸并探讨其调控因素对于预测未来大气 CO_2 浓度和气候变化趋势具有重要意义。长期以来, 土壤呼吸研究主要集中在森林、草地和农田^[1-2], 对城市土壤呼吸的研究相对较少。城市占陆地面积约 5%, 近年来随着发展中国家的快速城市化进程, 城市土壤环境日益受到重视^[3-4]。有研究表明, 城市绿地是不容忽视的碳库, 具有非常高的土壤呼吸速率, 在区域乃至国家温室气体清单上都具有特殊地位^[5]。因此, 研究城市土壤呼吸对于准确制定城市碳预算, 科学评估城市温室气体排放有重要意义。

目前, 已有土壤呼吸时间动态研究集中在昼夜(24 h)或季节(年内)变化上^[6-7], 而对于季节内短期土壤呼吸动态仍缺乏充分了解。在估算年土壤呼吸量上, 观测时间频率较粗(每周 1 次到每月 1 次), 基于此构建模型估算的年土壤呼吸量因忽略季节内短期天气变化的影响, 很可能高估或低估土壤呼吸年通量。通过研究季节内土壤呼吸逐日变化规律, 有助于提高土壤呼吸年通量估计精度。静态箱-碱液吸收法

(AA)是土壤呼吸最传统的观测方法之一^[8], 该方法虽然存在在低通量值时高估和在高通量值时低估土壤呼吸的不足, 但成本低, 在空间上能充分反映土壤呼吸的空间变异, 而且观测步长为日, 测定结果是一天的平均值, 适宜在中等的土壤呼吸排放速率下进行短期高频次的连续观测^[9]。

气候变化将增加极端天气气候事件的发生频率^[10]。在我国亚热带, 以春季冷暖气团交汇最为剧烈, 天气最为多变, 尤以气温变幅最大(冷暖骤变)。冷空气势力较强时, 常带来突发寒潮(倒春寒), 暖空气势力较强时, 易造成快速的春季气温回升, 而冷暖空气势力敌时, 又出现连续的阴雨天。春季天气变化快速, 气温、土温、降雨和土壤水分往往迅速变化, 同时植物生理活动由休眠状态进入快速生长, 显然将对土壤微生物呼吸活动、根系呼吸产生明显影响。然而, 目前有关土壤呼吸对春季天气变化的响应及控制因素的了解仍相对不足。本研究选择亚热带湘东地区的长沙市城郊草坪(狗牙根 *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers. 和台湾草 *Zoysia tenuifolia* Willd. ex Trin.)为研究对象, 针对春季低温连续阴雨期、寒潮降温期和快速升温期的天气过程, 采用静态箱-碱液吸收法进行长达

基金项目: 国家自然科学基金项目(31100381)和湖南农业大学引进人才项目(11YJ20)资助。

作者简介: 盛浩(1982—), 男, 湖南长沙人, 博士, 副教授, 主要从事土壤碳过程研究。E-mail: shenghao82@163.com

一个月的逐日观测,研究春季天气变化对草坪土壤呼吸的影响规律,试图揭示春季不同天气条件下土壤呼吸的水热控制因子,为深入理解土壤呼吸的影响因素和准确制定城市碳预算提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于湖南省长沙市芙蓉区湖南农业大学校园内(113°08'E, 28°18'N),区域地貌为平缓丘陵,海拔 31.5~47.0 m。区域气候为典型的中亚热带湿润季风气候。据多年气候统计资料,试验地年均气温 18.6℃,年均降水量 1 417.5 mm,年均相对湿度 72%,年均无霜期 296~298 天。最冷月为 1 月,平均温度

为 4.8℃;最热月为 7 月,平均温度为 28.6℃。土壤为发育在第四纪红土母质上的第四纪红土红壤,具有明显的腐殖质层、均质红土层和网纹层,土层深厚,厚度超过 1 m。

样地为两片草种较纯净的狗牙根和台湾草草坪。据调查,草坪在 20 世纪 90 年代为桔园,2000 年前后建坪,建坪时间 11 年。两草坪相距约 100 m,小气候、母质均一,管理措施基本一致。每年春季施有机肥 1 次,每年采用便携式割草机修剪 2~3 次,留茬高度约 5 cm,季节性干旱期采用滴灌进行人工浇水,全年浇水次数视干旱情况而定,一般约 10~20 次。试验地表土层(0~20 cm)基本土壤性状参见表 1。

表 1 试验地 0~20 cm 土壤基本概况
Table 1 The basic soil characteristics of the sampling sites (0-20 cm)

草种	体积质量 (g/cm ³)	pH (土水比 1:2.5)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	速效钾 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)
狗牙根	1.18	4.8	19.1	1.13	0.62	15.2	83.0	12.8
台湾草	1.13	5.8	21.2	0.94	0.72	14.8	203.2	19.4

1.2 观测方法

2011 年 3 月,在所选草坪样地内随机选择 6 个样点。观测前,提前 24 h 安放自制气室,以减少安置气室对土壤的干扰。整个观测期内,气室保留在原地。气室由白色圆柱形 PVC 材料制作,直径 20 cm,顶部带密封性良好的可旋开顶盖,气室整体高度 30 cm,厚度约 1 mm,底部打磨成刀口状,插入土壤中 3~5 cm,以达到良好的气密性。观测前,齐地剪除草坪冠层,排除草叶呼吸的干扰。

从 3 月 2 日 8:00 起开始观测,持续到 3 月 30 日上午 8:00,连续观测 28 天,观测频率 1 天。观测时,将装有 0.5 mol/L 的 NaOH 溶液的广口瓶开口竖直放入密闭气室内的三角架上,记录放入时间(精确到分钟)。24 h 后,将广口瓶取出,用橡胶塞密封,记录取出时间(精确到分钟),带回室内分析。往待测广口瓶中加入过量 BaCl₂ 溶液,加两滴酚酞指示剂,用标定的 HCl 溶液进行滴定。同时采用热电偶温度探针于每日 10:00 和 22:00 分别测定地上 1.2 m 处气温、地下 5、10 和 15 cm 处土温。随机取 5 个样点 0~10 cm 的表土,采用烘干法测土壤质量含水量。基于附近设置的自动气象站,记录逐日的最高气温、最低气温、日均气温和降雨量。

1.3 数据处理和分析

所有的数据统计和分析均在 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件平台下实现。土壤呼吸速率与温度的关系采

用回归分析,用指数函数进行拟合;土壤呼吸速率与土壤含水量的关系采用线性函数拟合;不同草坪间土壤呼吸对温度、水分的响应方程斜率的差异,采用协方差分析进行比较;回归方程的统计显著性水平均设为 5%,极显著性水平设为 1%。

2 结果与分析

2.1 水热状况

亚热带春季天气多变,温度变动剧烈,降雨集中。研究期内,观测到 1 次连续 8 日的典型阴雨天气过程(3 月 2 日到 10 日),其日降雨量变动大(0.6~32.4 mm),土壤含水量高(327~416 g/kg),且变幅相对较小(89 g/kg),日均气温较低且波动小(4.9℃~7.1℃)(图 1)。

观测到 1 次持续 3 日的典型寒潮降温天气过程(3 月 18 日到 20 日),日均气温由 13.9℃降到 4.7℃,降温幅度大(9.2℃),5 cm 处土温由 14.6℃降到 9.6℃,降幅比日均气温低(5℃),伴随着寒潮降温过程,发生了 0.2~2.4 mm 的日降雨量,土壤含水量中等(206~299 g/kg)。

观测到入春后的第一次典型快速升温天气过程(3 月 20 日到 28 日),短短 9 日内,日均气温由 4.7℃上升到 18.0℃,5 cm 处土温由 8.9℃上升到 18.4℃,升温幅度大,升温过程降雨少,土壤水分呈下降趋势,由 318 g/kg 下降到 168 g/kg,降幅较大(150 g/kg)。

观测期内,土温与日均气温变化趋势类似,但变

幅要小。观测到 3 月 12 日前, 表层土温低于底层土温, 而 3 月 12 日后, 表层土温高于底层土温(图 1b)。土壤质量含水量变动剧烈, 变幅介于 178 ~ 416 g/kg(图 2), 与日降雨量呈显著的正相关关系, 而与土温呈极显著的负相关关系。

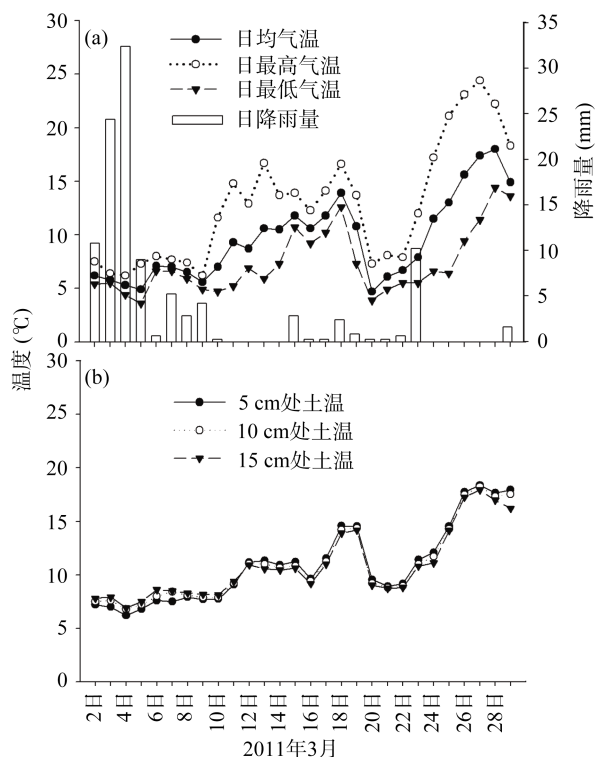


图 1 研究期内草坪样地的气温、降雨(a)和土温(b)

Fig. 1 The variations of the air temperature, precipitation (a) and soil temperature (b) of the sites during the study period

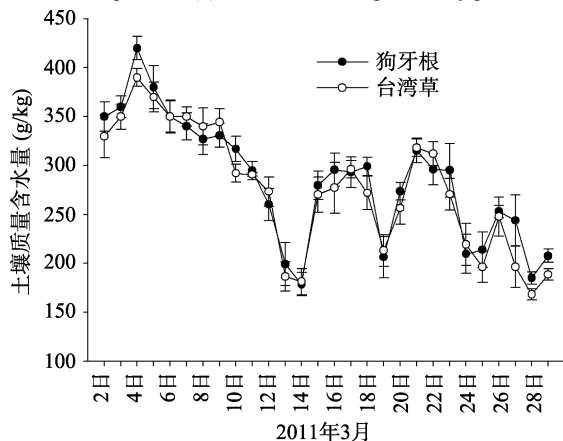


图 2 研究期内草坪样地土壤水分变化

Fig. 2 The variations of the soil gravimetric water content of the sites during the study period

2.2 土壤呼吸

在春季连续阴雨天(3月2日至3月10日)里, 土壤呼吸波动较小(图 3), 波动范围为 $C\ 0.22 \sim 0.53\ g/(m^2 \cdot d)$ 。土壤呼吸的变化趋势基本与温度的变化一致(图 1b), 这可能与连阴雨天土壤水分供应充足, 微生物和根系活动未受水分限制有关。连阴雨天土壤呼吸的表观温

度敏感性很高, Q_{10} 值达 25.0。这可能与较低的观测温度(5 cm 处土温 $6.2^\circ C \sim 7.8^\circ C$)有关, 因为 Q_{10} 值通常在低温时较高, 高温时较低。但较高的日降雨量(3月4日, 32.4 mm), 明显抑制了土壤呼吸, 这可能缘于当日土壤水分含量较高(389 ~ 416 g/kg), 雨水堵塞土壤孔隙, 抑制了土壤呼吸和土壤空气的排出。统计分析表明, 观测期内台湾草和狗牙根草坪间土壤呼吸速率没有显著差异($P > 0.05$)。可能的原因是初春季节土壤呼吸主要是微生物呼吸, 而草根大多处在休眠状态, 草根呼吸所占比例较低。

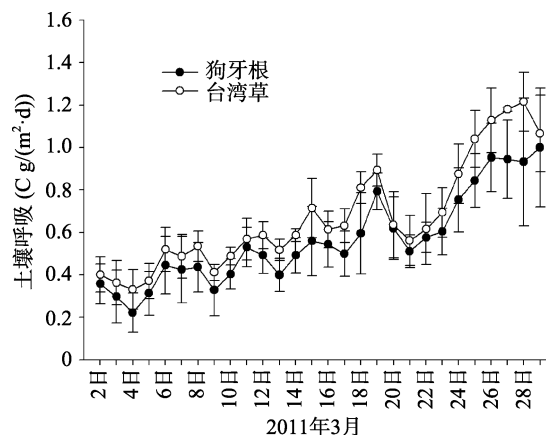


图 3 草坪土壤呼吸速率的时间变化

Fig. 3 The temporal variations of soil respiration for two types of lawn

持续 3 天的寒潮, 土壤呼吸由 $C\ 0.89\ g/(m^2 \cdot d)$ 下降到 $0.51\ g/(m^2 \cdot d)$, 降幅 75%; 持续 9 天的快速升温, 土壤呼吸由 $C\ 0.51\ g/(m^2 \cdot d)$ 上升到 $1.22\ g/(m^2 \cdot d)$, 升幅 139%。回归分析表明, 土壤呼吸与气温、5 cm 处土温、10 cm 处土温和 15 cm 处土温均呈极显著指数正相关关系($P < 0.01$), 其中又以 5 cm 处土温的关系最好(R^2 介于 $0.80 \sim 0.89$, $P < 0.01$)。协方差分析表明, 两种草坪间土壤呼吸速率对温度的依赖性没有显著差异, 故将两种草坪土壤呼吸和温度的数据进行合并。观测期内, 草坪土壤呼吸具有强烈的温度依赖性, 其表观温度敏感性 Q_{10} 值为 2.52。但在快速升温期和寒潮降温期, 草坪土壤呼吸的表观温度敏感性降低, 其 Q_{10} 值分别仅为 1.96 和 1.70。回归分析表明, 草坪土壤呼吸与土壤质量含水量呈极显著的线性负相关关系($R^2 = 0.56$, $P < 0.01$)。

3 讨论

显然, 本研究测定的土壤呼吸主要包括两个组分, 即土壤动物、微生物的异养呼吸和草根自养呼吸。由于草坪草密度较大, 尽管在测定前齐地剪除了气室内的草坪冠层, 但仍无法完全避免气室内草叶暗呼吸

的影响。热带草地研究表明,不剪草处理的土壤呼吸速率比剪草处理的土壤呼吸速率高出52%^[11]。另外,剪草后直接切断了草根的光合产物供应^[12],可能减少草根自养呼吸及根际附近的微生物呼吸,从而低估土壤呼吸速率。

研究样地内,初春时狗牙根和台湾草草坪土壤呼吸速率较低,平均分别仅为 $C\ 0.57\ g/(m^2 \cdot d)$ 和 $0.67\ g/(m^2 \cdot d)$,落入本区域已报道的草坪土壤呼吸速率范围($C\ 0.13 \sim 9.61\ g/(m^2 \cdot d)$)^[13-14];但明显低于上海^[13]、福州^[14]城市草坪冬春季土壤呼吸速率($C\ 1.11 \sim 1.90\ g/(m^2 \cdot d)$),这可能与不同的地理位置、气候年际波动、草种类型、土壤状况和测定方法等有关。首先,较历史时期,2012年3月份,长沙地区气温明显偏低、日照偏少、降水偏多,出现了罕见的持续低温连阴雨天气^[15],这很可能抑制了草根呼吸和微生物呼吸速率。其次,不同草种的草坪下土壤呼吸速率亦差异显著^[13]。再次,本研究草坪土壤为发育在第四纪红土母质上的第四纪红土红壤,土壤有机质含量相对偏低(表1),草坪土壤有机质分解速率也很可能较低。最后,本区域也有研究表明,采用碱液吸收法在测定土壤呼吸时存在低估现象(平均低估约24%)^[16]。

初春3月,天气变化快速,土壤水热多变,但草坪土壤呼吸基本与温度变化一致。在观测期内,草坪土壤呼吸的 Q_{10} 值较高,达到2.52。这与许多研究报道的冬春季低温时土壤呼吸 Q_{10} 值较高的结果一致。然而,在快速升温期和寒潮降温期,草坪土壤呼吸对温度变化的响应似乎不太敏感,其 Q_{10} 值分别仅为1.96和1.70。这又与先前报道的结果有所不同^[12]。在快速升温的短短9天内,日平均气温由4.7℃升高到18.0℃,短期内植物根系和微生物由休眠状态转入快速生长状态可能存在困难,从而降低其对温度敏感性。在寒潮降温的3天内,日平均气温由13.9℃降低到4.7℃,微生物和草根在低温环境下可能休眠;而温度骤降甚至可能致使细胞发生低温休克^[17],极大限制了草根和土壤微生物的代谢活动,从而降低温度敏感性。在亚热带杉木人工林中,也观察到春季异常降温促使土壤呼吸的日变化幅度降低,土壤微生物和根系保持较稳定状态以应对超出其生态幅的环境条件^[18]。由此看来,草坪土壤呼吸似乎对温度快速变化的天气条件形成了一定的适应能力。

草坪土壤呼吸随着土壤质量含水量的增加而降低。春季降雨充沛,草坪土壤水分总体充足。春季连续降雨在提高土壤质量含水量同时,也会堵塞土壤孔隙,降低土壤透气性,抑制土壤呼吸速率。有研究表明,在土壤含水量较高时,降水增加会使土壤呼吸降

低至少50%^[19]。尽管有研究报道,在全年尺度上,本区年降水量高,土壤水分充足,土壤水分不是根系呼吸和微生物代谢的限制因子^[6]。但在季节性的干旱和滞水期,土壤水分却是土壤呼吸的关键限制因子之一^[20]。

新近证据表明,植物新近的光合产物的输入很可能是土壤呼吸的主控因素,而温度和水分仅是间接影响因子^[7,21]。草地植物 ^{14}C 同位素原位标记试验表明,草叶同化的光合产物只需2h即可传输到地下根系并分泌进入土壤^[12]。天气变化能迅速改变水汽压差、温度、太阳辐射。在几天时间尺度上,天气变化通过快速影响地上草叶的光合作用和光合产物分配,直接调节地下根系和微生物的有机物供应,控制着草坪土壤呼吸的变化。在观测后期,随着温度升高,观察到草坪逐步进入返青期,这也反映出草坪的地上光合作用开始增强。此外,也有研究表明,草地根系的生长和呼吸与太阳辐射具有强烈的相关性^[22],而太阳辐射又与草叶光合作用密切相关。

4 结论

在中亚热带初春的连续阴雨期、寒潮降温期和快速升温期,所选2种城市草坪的土壤呼吸波动较大,基本与土温变化一致。草坪土壤呼吸在初春的表现温度敏感性较高(Q_{10} 值为2.52),但在快速升温期和寒潮降温期,表现温度敏感性明显降低(Q_{10} 值为1.96和1.70),这可能是草坪土壤微生物和草根通过减缓代谢活动,以适应初春快速的温度变化。由于初春的降水充沛,草坪土壤呼吸随着土壤水分升高反而降低,较高的日降雨量明显抑制了土壤呼吸。中亚热带草坪土壤呼吸逐日波动较大,在精确估计土壤呼吸年通量时,应充分考虑短期天气变化尺度上土壤呼吸的变动。

参考文献:

- [1] Bond-Lamberty B, Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record[J]. *Nature*, 2010, 464: 579-582
- [2] 陈书涛, 黄耀, 邹建文, 史艳姝, 卢燕宇, 张稳, 胡正华. 中国陆地生态系统土壤呼吸的年际间变异及其对气候变化的响应[J]. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42(8): 1 273-1 281
- [3] 章家恩, 徐琪. 城市土壤的形成特征及其保护[J]. *土壤*, 1997, 29(4): 189-193
- [4] 张甘霖, 赵玉国, 杨金玲, 赵文君, 龚子同. 城市土壤环境问题及其研究进展[J]. *土壤学报*, 2007, 44(5): 925-933
- [5] Davies ZG, Edmondson JL, Heinemeyer A, Leake JR, Gaston KJ. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(5): 1 125-1 134

- [6] Sheng H, Yang Y, Yang Z, Chen G, Xie J, Guo J, Zou S. The dynamic response of soil respiration to land-use changes in subtropical China[J]. *Global Change Biology*, 2010, 16(3): 1 107–1 121
- [7] Savage K, Davidson EA, Tang J. Diel patterns of autotrophic and heterotrophic respiration among phenological stages[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(4): 1 151–1 159
- [8] Lundegårdh H. Carbon dioxide evolution of soil and crop growth[J]. *Soil Science*, 1927, 23(6): 417–453
- [9] Keith H, Wong SC. Measurement of soil CO₂ efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(5): 1 121–1 131
- [10] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007
- [11] Salimon CI, Davidson EA, Victoria RL, Melo AWF. CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia[J]. *Global Change Biology*, 2004, 10(5): 833–843
- [12] Jones DL, Nguyen C, Finlay RD. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil-root interface[J]. *Plant and Soil*, 2009, 321(1–2): 5–33
- [13] 孙倩, 方海兰, 刘鸣达, 梁晶, 郝瑞军. 上海典型植物群落冬季土壤呼吸特征及其影响因子[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2009, 27(3): 231–234
- [14] 李熙波, 曾文静, 李金全, 黄向华, 钟羨芳, 杨玉盛. 短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(19): 5 728–5 738
- [15] 李细生, 汪坚胜, 张华, 肖妙妮, 周伟. 2012 年 1~3 月湖南低温连阴雨天气过程成因和影响[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(32): 15 818–15 821
- [16] 谢锦升, 杨玉盛, 曾宏达, 杨智杰, 黄石德, 岳辉. 侵蚀红壤植被恢复后土壤呼吸日动态及日呼吸速率测定方法比较[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2006, 1(4): 21–29
- [17] 张伟锋, 陈平, 姬承东. 广州地区几种草坪草低温胁迫效应研究[J]. *草业科学*, 2006, 23(8): 85–88
- [18] 汪娜, 黄义雄, 叶功富, 孙月, 王亮. 杉木人工林土壤呼吸速率对水热条件变化的响应[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(10): 2 461–2 465
- [19] Ruehr NK, Knohl A, Buchmann N. Environmental variables controlling soil respiration on diurnal, seasonal and annual time scales in a mixed mountain forest in Switzerland[J]. *Biogeochemistry*, 2010, 98(1/3): 153–170
- [20] 张容娟, 布乃顺, 崔军, 方长明. 土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(24), 6 698–6 706
- [21] Ekblad A, Höglberg P. Natural abundance of ¹³C in CO₂ respired from forest soils reveals speed of link between tree photosynthesis and root respiration[J]. *Oecologia*, 2001, 127(3): 305–308
- [22] Fitter AH, Graves JD, Self GK, Brown TK, Bogie DS, Taylor K. Root production, turnover and respiration under two grassland types along an altitudinal gradient: influence of temperature and radiation[J]. *Oecologia* 1998, 114(1): 20–30

Response of Soil Respiration to Changes of Spring Weather Under Subtropical Urban Lawns

SHENG Hao¹, DAI Si-ru¹, ZHOU Ping², ZHANG Wei-chang¹, CHANG Yu-hao¹

(1 College of Resources & Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2 Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: The daily response of soil respiration to changes of spring weather under two subtropical urban lawns (*Cynodon dactylon* (Linn.) Pers. and *Zoysia tenuifolia* Willd. ex Trin.) were investigated through 28 days *in situ* measurements using static chamber with alkali absorption technology. Results showed that the soil respiration fluctuated greatly and primarily consisted with the fluctuation of soil temperature during the period of continuous rain, the period of rapid warming and the period of cold-air outbreak. The apparent Q_{10} value of soil respiration across the study period was 2.52, but it decreased to 1.96 and 1.70 during the period of rapid warming and the period of cold-air outbreak, respectively. It seemed that the microbial respiration and root activity were relatively insensitive to rapid daily changes of temperature in early spring. Owing to the abundant spring rainfall, the soil respiration of lawns was decreased with the rising of soil gravimetric water content and was inhibited by the saturation of soil water. No difference of soil respiration rate was found between the two types of lawns. This study suggested that the spring daily soil respiration of urban lawns varied greatly and it should incorporate changes of soil respiration at weather scales into the annual model of soil respiration.

Key words: Soil CO₂ efflux, Carbon flux, Spring weather conditions, Urban soil