

干旱区3种林地生态系统土壤CO₂的排放特征

贾宏涛¹, 朱新萍^{1†}, 盛钰², 赵成义², 许有金¹, K. G. 卡迪罗夫³

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 830052, 乌鲁木齐; 2. 中科院新疆生态与地理研究所, 830011, 乌鲁木齐;
3. 塔吉克斯坦农业大学农学院, 734017, 杜尚别)

摘要:以新疆三工河流域的梭梭、柽柳及云杉3种林地作为监测对象,对3种林地生态系统土壤CO₂排放特征进行对比研究。结果表明:1)梭梭林地土壤呼吸速率的日变化曲线8月份为双峰曲线,而6月和10月份为单峰曲线。梭梭林地土壤CO₂日释放量表现为8月(4.34 g/(m²·d)) > 6月(1.86 g/(m²·d)) > 10月(1.17 g/(m²·d))。6月、10月土壤呼吸速率均白天高于夜间,而8月则正好相反。2)8月份几种林地类型的土壤CO₂日释放量表现为云杉林(21.71 g/(m²·d)) > 梭梭林(4.34 g/(m²·d)) > 柽柳林(1.84 g/(m²·d))。8月份云杉、柽柳土壤呼吸日变化曲线与梭梭林地的双峰曲线不同,均为单峰曲线。云杉林、柽柳林的土壤呼吸速率均白天高于夜间,而梭梭林则正好相反。3)云杉林地土壤CO₂释放速率与土壤温度呈显著正相关,而梭梭林地生态系统土壤CO₂释放速率与空气相对湿度成显著正相关。

关键词:林地; CO₂排放; 日变化; 干旱区

中图分类号: S791.31 文献标志码: A 文章编号: 1672-3007(2013)01-0095-04

Characteristics of soil CO₂ emission of 3 kinds of woodland ecosystems in arid areas

Jia Hongtao¹, Zhu Xinping^{1†}, Sheng Yu², Zhao Chengyi², Xu Youjin¹, K. G. Kadipov³

(1. College of Pratacultural and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, 830052, Urumqi;
2. Xinjiang Ecological Geography Research Institute, CAS, 830011, Urumqi, China;
3. Agricultural College of Tajikistan Agrarian University, 734017, Dushanbe, Tajikistan)

Abstract: The experiment was conducted with *Halaxylon ammodendron*, *Tamarix ramosissima* Ledeb, and *Picea schrenkiana* woodland ecosystems as the subject monitored in Sangong River Basin in Xinjiang, and their soil CO₂ emission characteristics are studied comparatively. The results showed that: 1) the diurnal variation of soil respiration rate in *H. ammodendron* forest during August is a bimodal curve, while it is unimodal curve in June and October. Daily soil CO₂ emission in *H. ammodendron* forest in a descending order was August (4.34 g/(m²·d)) > June (1.86 g/(m²·d)) > October (1.17 g/(m²·d)). Soil respiration rate was higher in the day than that in the night in both June and October but quite the reverse in August. 2) Daily soil CO₂ emission in different forests in a descending order was *P. schrenkiana* forest (21.71 g/(m²·d)) > *H. ammodendron* forest (4.34 g/(m²·d)) > *T. ramosissima* Ledeb forest (1.84 g/(m²·d)) in August. The both curves of soil respiration rate of *P. schrenkiana* forest and *T. ramosissima* Ledeb forest were unimodal curves, which were different from of bimodal curve of *H. ammodendron* forest. The soil respiration rate in both *P. schrenkiana* forest and *T. ramosissima* Ledeb forest were higher in day than that in night, but quite the reverse in *H. ammodendron*

收稿日期: 2012-05-03 修回日期: 2012-11-06

项目名称: 国家国际科技合作计划“气候变化对中亚地区荒漠化的影响”(2010DFA9272013); 新疆土壤学重点学科资助项目

第一作者简介: 贾宏涛(1975—)男,博士,副教授。主要研究方向: 土壤质量演变。E-mail: hongtaojia@126.com

†通信作者简介: 朱新萍(1978—)女,博士研究生,讲师。主要研究方向: 干旱区环境质量演变。E-mail: zhuxinping1978@163.com

forest. 3) Soil CO₂ emission rate has significant positive correlation with soil temperature in *P. schrenkiana* forest, while soil CO₂ emission rate has significant positive correlation with air relative humidity in *H. ammodendron* forest.

Key words: woodland; CO₂ emission; diurnal variation; arid areas

林地生态系统特别是森林生态系统土壤呼吸是森林生态系统土壤碳库向大气中释放 CO₂ 的一个重要过程,是森林生态系统碳循环的重要组成部分,占生态系统总呼吸的 60%~90%^[1]。土壤是陆地生态系统最大的碳库,其碳储量相当于大气碳库的 3.3 倍和植物碳库的 4.5 倍。土壤碳的变化反映了陆地生态系统碳输入和输出之间的平衡关系。由于土壤碳库巨大,土壤碳循环过程的微小变化都将对 CO₂ 等温室气体的释放产生显著影响^[2]。干旱、半干旱区占据了地球表面的 2/5,因此土壤呼吸是土壤中碳损失的主要过程之一,并且由于土壤有机碳含量相对较低,因此土壤呼吸也是干旱、半干旱地区对气候变化最敏感的一个生态系统特征^[3]。土壤呼吸受到多种因素的影响,不同的林地生态系统中,由于所处地理位置、土壤类型、性质及群落组成等不同导致土壤呼吸中各组分对土壤呼吸的贡献不同^[4-5]。

森林作为最重要的陆地生态系统之一,其碳收支对全球变化有着重要的意义。近些年来对林地生态系统土壤 CO₂ 排放进行了大量研究,主要集中在对不同林地生态系统,不同林地管理等条件下 CO₂ 的排放规律,另外土壤 CO₂ 排放与环境因素之间的耦合关系研究也是研究的重点^[6-7]。对于林地生态系统的研究在我国干旱区相对较少,笔者以新疆阜康市的三工河流域为研究区域,选择荒漠植被的主要建群种梭梭(*Halaxylon ammodendron*)、在干旱区对阻截流沙具有重大生态意义的柽柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb)及占新疆天然林育林地总面积 1/2 的云杉(*Picea schrenkiana*)为监测对象,通过对 3 种林地生态系统土壤 CO₂ 排放以及环境因素的实地监测,探讨不同时期林地生态系统土壤 CO₂ 排放特征,研究结果可为进一步研究林地生态系统土壤 CO₂ 排放奠定理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域自然地理概况

新疆三工河流域位于新疆天山北麓中段,准噶尔盆地南缘,位于 E 87°47′~88°17′、N 43°20′~45°29′,南北长 80 km,东西宽 30 km,行政区属阜康市。

新疆三工河发源于天山北坡博格达峰西北部冰川,由南向北流入准噶尔盆地,最后消失在干旱的古尔班通古特沙漠内,三工河平均径流量为 5 022.3 万 m³;地势南高北低,由东南向西北倾斜,海拔在 430~5 445 m 之间。流域内土壤类型和植被的分布从高山到荒漠均具有明显的垂直地带性和水平地带性,从高山寒漠冰雪冰源带、亚高山草甸带、中山森林带、低山荒漠草原带、冲积扇和洪冲积平原区、北沙窝地区,分别发育着高山寒漠土、高山草甸土、亚高山草甸土、草甸土、山地栗钙土和棕钙土、灰漠土、龟裂土和沙质灰漠土、风沙土。天然植被包括云杉、柽柳、梭梭、红砂(*Reaumuria songarica*)等盐柴类半灌木。流域气候属于典型的温带大陆性干旱半干旱气候,特点是冬季寒冷,夏季酷热,降水稀少,蒸发量大,光照充足。昼夜温差大,年平均气温 6.6℃;最高气温 42.6℃,最低气温 -41.6℃;年均降水量 164 mm,年均蒸发量 1 780~2 453 mm。年均日照时间 2 933 h,年均无霜期 176 d。

1.2 试验方案

云杉林样地观测地点选在新疆天山天池西南部原始云杉林内,云杉平均高度为 20~25 m,树龄 60~120 年不等,平均郁闭度 0.75;梭梭林样地观测地点选在距离古尔班通古特沙漠南缘 8 km 的梭梭原始生境,地下水位 5.2~7.9 m 之间,梭梭为建群种,少有伴生种;柽柳林样地位于中国科学院阜康荒漠生态观测站站区东侧,灌木主要为柽柳,高度 2.1~2.5 m,平均冠层覆盖度约为 15%。3 种林地土壤基本情况见表 1。

在典型林地生态系统设置标准样地,在 6—10 月份,选择无风晴朗的典型日,采用英国 PP System 公司生产的 CIRAS-4 土壤呼吸测定仪结合箱式法,以 1 h 为步长,监测土壤呼吸速率,每次监测重复 5~8 次,每个林地每月监测 3~5 个典型土壤 CO₂ 排放日变化(24 h);同时用 TDR 监测土壤湿度,土壤温度和空气湿度等指标采用常规方法进行监测。

1.3 数据处理

对所得数据采用 Excel 2003 和 SPSS17.0 进行数据分析。

表 1 3 种林地土壤基本概况

Tab. 1 Basic profiles for the soil in three kinds of woodland

林地类型 Woodland type	土壤类型 Soil type	土壤有机质 Soil organic matter/ (g·kg ⁻¹)	pH 值 pH value	土壤可溶性盐分 Soil soluble salts/ (g·kg ⁻¹)	质地 Texture
云杉 <i>Picea schrenkiana</i>	灰褐土 Gray cinnamonic soil	18.80	7.25	4.36	中壤土 Medium loam soil
柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb	盐化灰漠土 Saline gray desert soil	9.02	8.86	12.78	轻壤土 Light loam soil
梭梭 <i>Halaxylon ammodendron</i>	固定风沙土 Fixed sand soil	4.77	8.27	4.14	砂质土 Sandy soil

2 结果与分析

2.1 不同时期土壤呼吸速率日变化特征

由图 1 可看出 8 月份的梭梭林土壤呼吸速率明显高于 6 月和 10 月。梭梭林土壤呼吸速率是随着时间的变化而变化的。从 00:00 到 08:00, 由于土壤温度等原因, 梭梭林土壤呼吸速率在一个比较小的范围内波动, 并且相比 6 月和 10 月 8 月的土壤呼吸速率明显较高。6 月和 10 月梭梭林土壤呼吸速率白天高于夜间, 6 月呼吸曲线是一个典型的单峰线, 从 07:00 到 18:00 梭梭林地土壤呼吸速率都在较高水平。最高点在 12:00 达到 0.15 g/(m²·h), 最低点 07:00 只有 0.01 g/(m²·h)。10 月只有 08:00 到 13:00 梭梭林土壤呼吸速率较高, 在 0.09 ~ 0.14 g/(m²·h) 之间, 而其他时间段较低, 在 0.01 ~ 0.04 g/(m²·h) 范围内波动。8 月梭梭林土壤呼吸速率则正好相反, 最低点出现在 18:00、19:00, 达到 0.05 g/(m²·h)。高值有 2 个, 分别是 10:00 和 21:00, 分别为 0.30 和 0.32 g/(m²·h)。6 月、8 月和 10 月其梭梭林地土壤呼吸日 CO₂ 排放量依次是 1.86、4.34 和 1.17 g/(m²·d)。

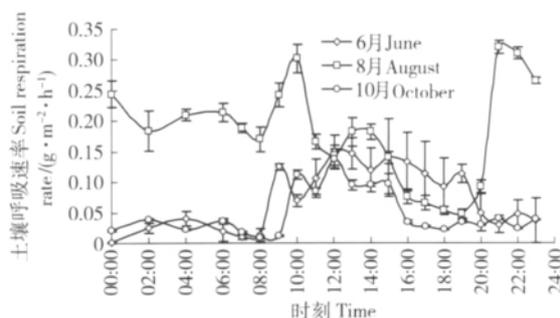


图 1 不同时期梭梭林土壤呼吸速率日变化特征

Fig. 1 Diurnal variation characteristics of soil respiration rate in *H. ammodendron* forest during different periods

在植物生长的高峰期(春季与夏季), 小时间、昼夜和季节尺度上温度与土壤呼吸速率之间的关系有着不同的表现形式。梭梭林土壤呼吸速率的日变

化曲线 8 月份为双峰曲线, 2 个高点分别在 10:00 和 21:00; 6 月和 10 月份为单峰曲线, 其最高点分别为 10:00 (0.15 g/(m²·h)) 和 12:00 (0.14 g/(m²·h)), 原因是因为不同季节中土壤呼吸速率和土壤温度往往不同步发生^[8-9]。

2.2 不同类型林地土壤呼吸速率日变化特征

3 种林地土壤呼吸速率在白天明显高于夜间, 而云杉林地土壤呼吸速率明显高于其他 2 种林地, 24 h 内云杉林地土壤呼吸总的 CO₂ 释放量达到了 21.71 g/(m²·d), 显著高于梭梭林地 (4.34 g/(m²·d)) 和柽柳林地 (1.84 g/(m²·d))。而日出和日落后的约 2 h 之后土壤呼吸速率随着土壤温度的上升或下降呈现规律性变化。

梭梭林地土壤呼吸速率出现了 2 个高点, 一个在 10:00 达到 0.30 g/(m²·h), 另一个出现在 21:00, 达到 0.32 g/(m²·h); 最低点出现在 19:00, 为 0.05 g/(m²·h)。从图 2 可以看出: 00:00 到 08:00 土壤呼吸速率相对稳定, 在 0.17 ~ 0.24 g/(m²·h) 内波动, 平均值为 0.21 g/(m²·h), 而日出和日落后的约 2 h 之后土壤呼吸速率迅速上升; 柽柳林地土壤呼吸速率最高点出现在 09:00—10:00, 达到 0.17 g/(m²·h), 最低值出现在 23:00 到翌日 02:00, 夜间土壤呼吸速率在 0.00 ~ 0.30 g/(m²·h) 之间, 平均值低于 0.02 g/(m²·h); 云杉林地土壤呼吸速率最高点出现在 19:00, 达到 1.42 g/(m²·h), 最低点出现在 22:00, 为 0.48 g/(m²·h)。云杉林地夜间土壤呼吸速率相对稳定, 在 0.56 ~ 0.80 g/(m²·h) 内波动, 平均值为 0.68 g/(m²·h)。

2.3 土壤呼吸与环境因子的关系

土壤呼吸受到多种因素的影响, 不同林地土壤 CO₂ 排放特征不同, 它会受到环境温度和湿度等因素的影响, 具有明显不同的日变化和月变化^[10]。土壤呼吸和温度之间具有显著的相关关系, 主要有线性关系、二次方程关系和指数关系等。温度变化一般可以解释土壤呼吸速率日变化和季节性变化的大

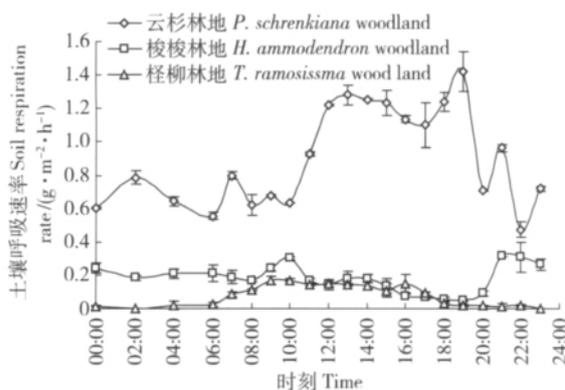


图2 3种林地生态系统土壤呼吸速率日变化特征(8月)

Fig. 2 Diurnal variation characteristics of soil respiration rate in 3 kinds of woodland ecosystems (August)

部分变异,而在干旱条件下,土壤呼吸随气温的升高呈现指数减小^[11-12]的趋势。通过实地监测和相关分析,发现云杉林地土壤呼吸速率(A)与土壤温度(t)呈显著正相关, $A = 0.4678 \ln t - 0.3484$, $R^2 = 0.5754$,与土壤湿度的相关性并不显著;柽柳林地生态系统土壤呼吸速率与土壤温度、土壤湿度、空气湿度之间的相关性不明显;梭梭林地生态系统土壤呼吸速率(A)仅与空气相对湿度(M)成显著正相关 $A = 0.1882M - 0.7659$, $R^2 = 0.5015$,与土壤湿度、气温的相关性不显著。

在干旱区,梭梭土壤呼吸速率的日变化与近地面温度变化动态一致,气温最高值出现的时间滞后于土壤呼吸速率最高值,且有高温抑制现象^[13]。8月份的梭梭林土壤呼吸速率变化曲线,从14:00开始梭梭林地的土壤呼吸速率显著下降,到了19:00又直线上升。我们的研究表明梭梭林地的土壤呼吸和温度相关性并不显著,与湿度呈显著的正相关,土壤呼吸与其他环境影响因素之间的关系还有待于进一步研究。

3 结论

不同月份土壤呼吸速率日变化特征不同,梭梭林地8月份土壤呼吸速率明显高于6月和10月。6月土壤呼吸速率曲线是一个典型的单峰线,而8月则相反,其土壤呼吸曲线呈双峰,高点分别在10:00和21:00,最低点出现在19:00。

不同林地土壤呼吸日 CO_2 释放量不同,由大到小依次为云杉、梭梭、柽柳;土壤呼吸速率均呈现白天高的特点。柽柳林地土壤 CO_2 排放速率具有明显的昼夜变化,06:00—18:00都保持在一个较高的水平,最高可达到 $0.17 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,夜晚土壤呼吸速

率小于 $0.02 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。云杉林地的昼夜变化比较平稳,10:00~21:00土壤呼吸速率较高,在 $0.64 \sim 1.42 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 范围内波动,夜晚其土壤呼吸速率在 $0.48 \sim 0.80 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 之间变化。

云杉林地土壤呼吸速率与土壤温度呈显著正相关,而梭梭林地生态系统土壤呼吸速率与和空气相对湿度成显著正相关。

4 参考文献

- [1] 陆彬,王淑华,毛子军,等.小兴安岭4种原始红松林群落类型生长季土壤呼吸特征[J].生态学报,2010,30(15):4065-4074
- [2] 王清奎.碳输入方式对森林土壤碳库和碳循环影响研究进展[J].应用生态学报,2011,22(4):1075-1081
- [3] 刘冉,李彦,王勤学,等.盐生荒漠生态系统二氧化碳通量的年内、年际变异特征[J].中国沙漠,2011,31(1):108-114
- [4] 张丽华,陈亚宁,李卫红,等.干旱荒漠区不同土地利用/覆盖类型土壤呼吸速率的季节变化[J].中国科学,2006,36(增刊II):68-76
- [5] 王勤学,渡边正孝,欧阳竹,等.不同类型生态系统水热碳通量的监测与研究[J].地理学报,2004,59(1):13-24
- [6] 孙向阳,乔杰,谭笑.温带森林土壤中的 CO_2 排放通量[J].东北林业大学学报,2001,29(1):34-39
- [7] 刘建军,尚廉斌.秦岭火地塘林区油松(*Pinus tabulaeformis*)林休眠期的土壤呼吸[J].生态学报,2008,28(9):4070-4077
- [8] 高辉,杨玉盛,高人,等.杉木林与楠木林土壤呼吸昼夜变化及与土温变化的关系[J].福建师范大学学报:自然科学版,2009,25(2):113-118
- [9] 李玉强,赵学勇,刘新平,等.樟子松固沙林土壤碳截存及土壤呼吸对干湿变化的响应[J].中国沙漠,2011,31(2):282-287
- [10] 林丽莎,韩士杰,王跃思,等.长白山四种林分土壤 CO_2 释放通量的研究[J].生态学杂志,2004,23(5):42-45
- [11] 朱宏,赵成义,李君,等.干旱区荒漠灌木林地土壤呼吸及其影响因素分析[J].干旱区地理,2006,29(6):856-860
- [12] 袁红叶,朱波,王小国,等.紫色土丘陵区不同类型林地土壤呼吸特征[J].东北林业大学学报,2008,36(7):38-46
- [13] 张丽萍,陈亚宁,李学森,等.准噶尔盆地西北梭梭、假木贼、盐穗木群落土壤呼吸特征比较[J].干旱区地理,2009,32(2):188-194

(责任编辑:程云)