

黄土高原四种人工植物群落土壤呼吸 季节变化及其影响因子

李红生¹, 刘广全^{1,2,*}, 王鸿喆¹, 李文华¹, 陈存根¹

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2 国际泥沙研究培训中心, 北京 100044)

摘要:以黄土高原侧柏、柠条、沙棘和油松人工植物群落为对象, 土壤呼吸日动态和季节变化及其与环境因子之间的关系, 结果表明: 4 种植物群落土壤呼吸速率具有典型的日变化和季节变化模式, 4 种群落中, 以侧柏 6 月土壤呼吸日变幅最大, 沙棘 6 月土壤呼吸日变幅最小, 大部分群落不同月份最大土壤呼吸与最小土壤呼吸倍数在 1.1 ~ 1.6 之间。4 种群落中, 以柠条土壤呼吸季节变幅最大, 侧柏最小, 最大土壤呼吸与最小土壤呼吸的倍数为 1.5 ~ 2.2 倍之间。同一植物类型土壤呼吸具有明显的季节变化特征, 其具体变化趋势因植物类型而异。4 种植物群落土壤呼吸速率与土壤和大气温度以及土壤含水量的关系在不同季节表现为不同的关系, 其中侧柏和柠条土壤呼吸与土壤温度均呈乘幂关系, 与大气温度为指数关系。沙棘土壤呼吸与土壤温度和大气温度均为乘幂关系, 油松土壤呼吸与土壤温度和大气温度均为线性关系。这表明土壤呼吸与土壤和大气温度之间的关系及其紧密程度因植被类型而异。综合分析表明, 同一气候区相同环境因子对不同植物群落土壤呼吸的影响作用不同, 且因其自身具有明显的季节变化, 从而导致对土壤呼吸的调控作用也具有明显的季节变异模式。

关键词: 土壤呼吸; 土壤温度; 土壤水分; 人工植物; 黄土高原

文章编号: 1000-0933(2008)09-4099-08 中图分类号: Q143, Q945, Q948 文献标识码: A

Seasonal changes in soil respiration and the driving factors of four woody plant communities in the Loess Plateau

LI Hong-Sheng¹, LIU Guang-Quan^{1,2,*}, WANG Hong-Zhe¹, LI Wen-Hua¹, CHEN Cun-Gen¹

1 Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China

2 International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, Beijing 100044, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4099 ~ 4106.

Abstract: Soil respiration is one of the most important components in global carbon cycles. Soil respiration is a sensitive integrator of many soil processes that control soil metabolism and reflects human influences on carbon cycles. In order to quantify soil respiration dynamics and its controlling factors, we conducted a set of relevant experiments in four woody plant communities in Wu Qi, Shaanxi Province, a Loess Plateau region in Northwestern China. We measured soil respiration, soil water content, soil temperature, and air temperature from June to September in 2006. Soil respiration of the four plant communities all displayed typical diurnal and seasonal dynamic patterns. The *Hippophae rhamnoides* community had the

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD03A0308); 国际泥沙研究培训中心重大资助项目(05-01-02); 国家水利部“948”资助项目

收稿日期:2007-06-05; **修订日期:**2008-05-13

作者简介:李红生(1981~), 男, 河南新乡人, 博士生, 主要从事植物生理生态学研究. E-mail: lihongsheng521@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gqliu@iwhr.com

Foundation item: The project was financially supported by the National Science and Technology Support Project (No. 2006BAD03A0308), the key program of The International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation (IRTCS) (No. 05-01-02) and the “948” program of Ministry of Water Resources of China (No. 200207)

Received date:2007-06-05; **Accepted date:**2008-05-13

Biography: LI Hong-Sheng, Ph. D. candidate, mainly engaged in plant physiology. E-mail: lihongsheng521@163.com

minimum diurnal range while the *Platycladus orientalis* community had the maximum range in soil respiration. We found a large seasonal variability for all the four communities with a high to low ratio of 1.1 ~ 1.6. The seasonal range of soil respiration was highest in *Caragana korshinskii* community and lowest in *Platycladus orientalis* community. The relation between soil respiration and soil temperature can be described as a power function for *Platycladus orientalis* and *Caragana korshinskii* communities, but the relation between soil respiration and air temperature can be described as an exponential function. The relationships between soil respiration rates and soil or air temperature were described as a power function in *Hippophae rhamnoides* community but a liner function for *Pinus tabulaeformis* community. The close relationships between soil respiration and temperature were community-dependent, and the environmental effects on soil respiration differed among plant community types. We concluded that environmental changes would alter the seasonal soil respiration patterns for different plant communities.

Key Words: soil respiration; soil temperature; soil water; the Loess Plateau

人类活动和全球变化一定程度上改变了地球植被分布和全球碳循环^[1]。土壤呼吸是全球碳循环的重要组成部分,也是陆生植物固定的 CO₂ 返回大气的主要途径^[2],大气中近 10% 的 C 由土壤产生,其微小变化就有可能对全球碳平衡产生重要的影响^[3,4]。因此,研究不同植被类型土壤呼吸速率及其时空波动特征,阐明其影响因子和调控机制是目前生态学研究的重点内容之一^[3,5]。

土壤呼吸主要由气候条件决定^[6],但同一气候区域土壤呼吸常因植被状况的不同而存在差异^[3,7-9]。植被类型的差异一定程度上反映了土壤温度、水分等环境要素在时空上的分异,而这些都是影响土壤呼吸变化范围和季节动态的重要因子^[8]。由于植被类型的差异,土壤微气候环境条件也显著不同,因此植被和土壤微气候环境的相互作用使得土壤呼吸的时空变异模式也因植被类型不同而存在差异。由于土壤呼吸不仅对环境因子变化敏感,而且具有高度的时空变异性^[10],因此探明同一气候区不同植被类型土壤呼吸的变化范围、季节动态及其影响因子,可为区域土壤碳估计和不同时间尺度植被作为碳源或汇的作用的准确预测提供一定的参考依据。

黄土高原在我国占据重要的地理位置,随着国家退耕还林(草)政策的实施,区域生态环境正在发生显著变化,为了探明该区域不同植被类型土壤呼吸的时间变异模式以及不同植被类型土壤呼吸的差异及产生这种差异的原因,本研究选择了黄土高原较为典型的 4 种人工植物群落为研究对象,从 2005 年 5 月到 9 月选择典型晴朗天气对土壤呼吸及其相关的环境因子进行测定,主要是分析土壤呼吸及其相关环境因子(土壤水分,土壤温度和大气温度)的时间变异模式以及不同植被类型土壤呼吸之间的差异,阐明不同植被类型土壤呼吸与温度和土壤水分之间的关系,开展这一研究对于了解其它相似植被类型的土壤呼吸可提供一定的参考依据,也可为准确估测黄土高原地区土壤碳收支提供一定的数据积累。

1 研究区自然条件和研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于陕西省吴起县境内,地处东经 107°38'57" ~ 108°32'49",北纬 36°33'33" ~ 37°24'27"。该区属黄土高原典型梁状丘陵沟壑区,海拔 1233 ~ 1809 m。该区属温带大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季旱涝相间,秋季温凉湿润,冬季寒冷干燥,年平均气温 7.8℃,极端最高气温 37.1℃,极端最低气温 -25.1℃。年平均降水量 478 mm,7 ~ 9 月份降水量占年降水量的 62%,年平均无霜期 146 d。雨热同季,常有大风、暴雨、冰雹等灾害天气发生。土壤为淡灰绵土,质地为砂质壤土,石灰反应强烈,碳酸钙含量 13% 左右,土壤 pH 值 8.5 左右。沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)、柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)、侧柏[*Platycladus orientalis* (L.) Franco]和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr)群落均为 1993 年人工栽植的实生苗,整地方式为水平阶,株行距为 2m × 50cm,位于山地东南坡(半阳坡),地理位置为 E 108°10'50"和 N 36°55'26",海拔 1283.6 m,群落基本特征如表 1 所示。

表 1 4 种人工植物群落基本概况

Table 1 Status of the *P. orientalis*, *C. korshinskii*, *H. rhamnoides*, *P. tabulaeformis* communities

植物群落 Plant communities	坡向 Aspect	坡度 Slope (°)	坡位 Slope location	胸径或地径 Breast diameter(cm)	树高 Tree height (m)	主要伴生植物 Main plant species of the vegetation composition
侧柏 <i>P. orientalis</i>	东南 ES	12	中下部	1.87	1.9	山杏 <i>Prunus armeniaca</i> , 油松 <i>P. tabulaeformis</i> , 萎陵菜 <i>Potentilla chinensis</i> Ser, 胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz
柠条 <i>C. korshinskii</i>	东南 ES	12	中下部	2.82	3.8	紫菀 <i>Aster tataricus</i> Linn. f., 冰草 <i>Agropyron cristatum</i> (L.) Gaertn, 铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i> , 茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i> Thunb. 长芒草 <i>Stipa bungeana</i> Trin
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	东南 ES	12	中下部	1.34	1.9	山杏 <i>Prunus armeniaca</i> , 山桃 <i>P. davidian</i> , 冰草 <i>Agropyron cristatum</i> (L.) Gaertn, 百里香 <i>Thymus mongolicu</i> , 针茅 <i>Stipa breviflora</i> , 胡枝子 <i>L. bicolor</i> Turcz
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	东南 ES	12	中下部	4.22	3.96	小叶杨 <i>Populus simonii</i> , 冷蒿 <i>A. frigida</i> Comm, 长芒草 <i>S. bungeana</i> Trin, 甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>

1.2 研究方法

在每一个人工群落内选择典型样地(5m×5m),采用美国 LI-cor 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用测量系统和 LI6400-09 土壤呼吸室采集和储存数据。在样地内随机放置 5 个土壤隔离圈(0.008m²),为了减小安放土壤隔离圈对土壤呼吸速率的影响,在土壤呼吸速率测定的前一周将土壤隔离圈埋入土壤约 2cm,并且在每次测定前 1 天,将测定点土壤隔离圈内的地表植被自土壤表层彻底剪除,但尽量不破坏土壤,以减少因土壤扰动及根系损伤对测量结果的影响。从 2005 年 6 月到 9 月每月选择天气状况比较稳定日进行土壤呼吸测量,每 2h 测定 1 次,每个测点记录 5 个观测数据,每一月测定 3d。在测定土壤呼吸速率的同时,利用便携式光合作用测量系统的温度探针同步测定地表土壤温度。大气温度由光合仪器自动测定记录。在测定土壤呼吸的同时,在各样地内随机打 3 个土钻用小铝盒取土样,测定 0~100cm 土层土壤含水量,每 20cm 测定一次,3 次重复。土壤含水量采用烘干法测定。

1.3 数据分析

采用 SPSS 统计分析软件包(SPSS 12.0 for Windows, Chicago, USA)对数据进行相关分析、回归分析和 One-Way ANOVA 方差分析,并用 LSD 法进行多重比较。

2 结果分析

2.1 不同植被类型土壤呼吸日变化动态

本研究中,不同群落类型土壤呼吸速率的日变化曲线存在差异,日变化幅度大小因群落类型而异(图 1)。4 种群落中,以侧柏 6 月份土壤呼吸日变幅最大(0.83~2.05μmol·m⁻²·s⁻¹),以沙棘 6 月土壤呼吸日变幅最小(1.24~1.39μmol·m⁻²·s⁻¹)。大部分群落不同月份最大土壤呼吸与最小土壤呼吸倍数在 1.1~1.6 之间,土壤呼吸日变化较为平缓,表明不同植物群落土壤呼吸日变化对同一气候区不同季节相似环境条件下差异不大。

4 种植物群落土壤温度和大气温度具有较为明显的日变化规律,基本表现为单峰曲线。大气温度一般在 12:00 出现最大值,土壤温度最高值出现的时间为 14:00 以后,滞后于大气温度。4 种群落 6~9 月份土壤呼吸日变化与气温和大气温度的变化趋势不太一致,表明可能存在其它因子调控土壤呼吸的日变化。

2.2 不同植被类型土壤呼吸以及环境因子的季节变化动态

2.2.1 同一植被类型不同月份土壤呼吸以及环境因子的变化动态

4 种群落不同月份之间的土壤呼吸具有显著差异($P < 0.05$),变化范围各不同相同。侧柏土壤呼吸的季节变幅为 1.34~2.31μmol·m⁻²·s⁻¹,平均值为 1.67μmol·m⁻²·s⁻¹,柠条土壤呼吸季节变化幅度为 2.69~4.68μmol·m⁻²·s⁻¹,平均值为 3.48μmol·m⁻²·s⁻¹,沙棘土壤呼吸变化幅度为 1.36~3.03μmol·m⁻²·s⁻¹,平均值为 2.19μmol·m⁻²·s⁻¹,油松土壤呼吸季节变化幅度为 2.67~3.90μmol·m⁻²·s⁻¹,平均值为 3.26μmol·m⁻²·s⁻¹。其

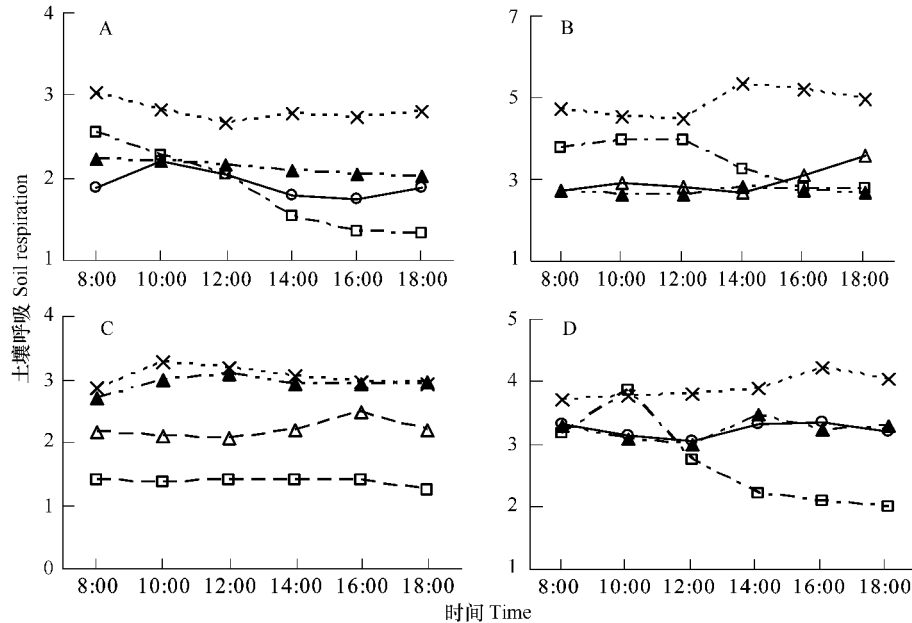


图1 不同植被类型土壤呼吸不同月份日变化动态

Fig. 1 The diurnal variation of soil respiration for different vegetations in different months

A, B, C, D 分别代表侧柏、柠条、沙棘和油松群落; $\square$ $\blacktriangle$ $\times$ $\circ$ 分别代表 6 月、7 月、8 月和 9 月 A, B, C, D represent *P. orientalis*, *C. korshinskii*, *H. rhamnoides*, *P. tabulaeformis* respectively; $\square$ $\blacktriangle$ $\times$ $\circ$ represent soil respiration of June, July, August and September, respectively

中,以柠条土壤呼吸季节变幅最大,侧柏的最小,最大土壤呼吸与最小土壤呼吸的倍数为 1.5~2.2 倍之间。

不同植物群落土壤温度一般小于同期大气温度,且存在显著差异($P < 0.05$),表明不同植被类型土壤温度和大气温度的季节差异较大,即使是同一植物群落,不同月份的土壤温度和大气温度也存在显著差异。

2.2.2 不同植被类型土壤呼吸以及环境因子的变化动态比较

侧柏、柠条、沙棘和油松群落 6~9 月份土壤呼吸具有显著差异($P < 0.05$) (图 2)。6 月柠条土壤呼吸速率显著大于侧柏、沙棘和油松,侧柏和沙棘土壤呼吸速率无显著差异,但均显著低于油松,排序为柠条 > 油松 > 沙棘 > 侧柏。7 月侧柏土壤呼吸显著低于柠条、沙棘和油松,后 3 种植物群落土壤呼吸无显著差异,排序为油松 > 柠条 > 沙棘 > 侧柏。8 月和 9 月不同植物群落两两之间土壤呼吸速率均存在显著差异,土壤呼吸速率变化趋势分别为柠条 > 油松 > 沙棘 > 侧柏和油松 > 柠条 > 沙棘 > 侧柏。6 月和 8 月份、7 月和 9 月份土壤呼吸速率变化趋势一致,分别为柠条 > 油松 > 沙棘 > 侧柏和油松 > 柠条 > 沙棘 > 侧柏。表明不同植物群落土壤呼吸不同月份之间的差异以及变化趋势不一致。

4 种植物群落除了 7 月份大气温度无显著差异外($P < 0.05$),其余月份大气温度、土壤温度和土壤水分在不同植被类型间均存在显著差异($P < 0.05$),表明植被类型对自身环境条件影响较大,并且具有季节变化。

2.3 不同植被类型土壤呼吸与环境因子之间的相关性分析

2.3.1 不同植物群落土壤呼吸速率与土壤温度和大气温度的相关性

4 种植物群落中,侧柏、柠条、沙棘土壤呼吸速率对土壤温度和大气温度的响应较为一致,均随土壤温度和大气温度的增加而减少。油松群落土壤呼吸速率随土壤温度和大气温度的增加而增加,但关系不明显,可以用不同回归方程反映它们之间的关系(图 3)。其中,侧柏群落土壤呼吸与土壤温度和大气温度,柠条土壤呼吸和大气温度的相关性都达到极显著水平($P < 0.01$)。大气温度和土壤温度变化规律表现出较好的一致性,二者为正相关关系($R^2 = 0.81$)。

2.3.2 不同植物群落土壤呼吸速率与不同土层土壤含水量之间的相关性

4 种植物群落土壤呼吸与不同土层土壤含水量的关系因土层深度而异,均随含水量的增加而增加(图

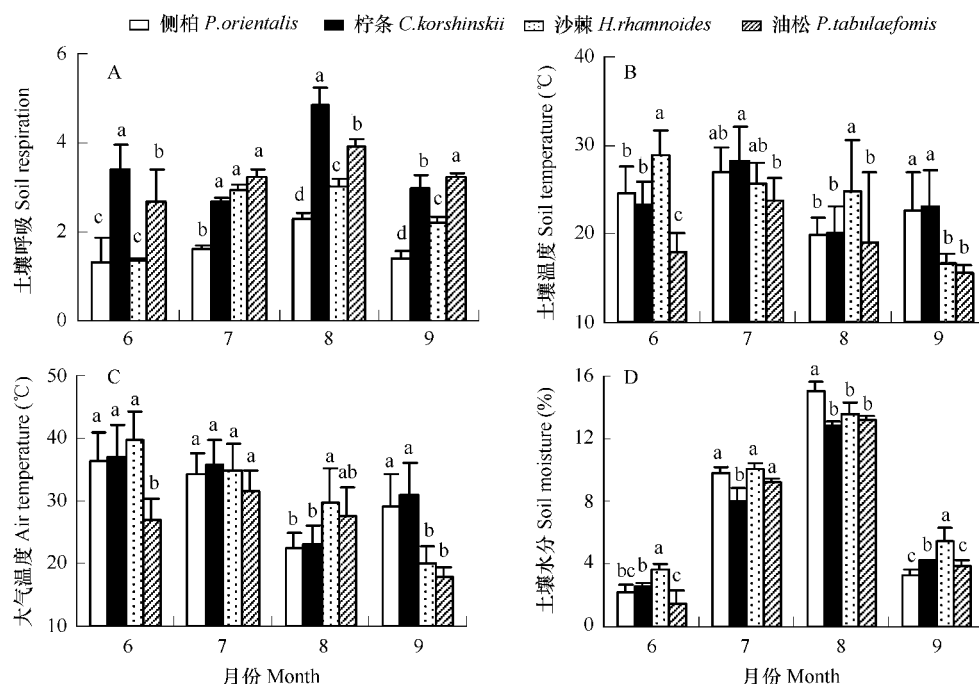


图2 4种植被土壤呼吸和环境因子的季节变化动态比较

Fig. 2 The seasonal variation of soil respiration and the environmental factors of four different vegetations

4)。土壤呼吸速率与0~20cm和40~60cm为线性关系,与20~40cm为乘幂关系。4种群落中,侧柏林与20~40cm土层深度的土壤水分的相关性达显著水平($P < 0.01$),其余群落相关性未到显著水平($P > 0.05$)。

3 讨论

本研究表明,4种群落土壤呼吸速率日变化范围和最大最小土壤呼吸速率出现的时间因群落类型而异,土壤温度和大气温度具有较为明显的日变化规律,基本表现为单峰曲线。不同群落土壤温度和大气温度出现峰值的时间不同,土壤温度出现峰值的时间一般晚于大气温度。与土壤呼吸速率日变化相似,4种植被类型土壤呼吸速率的季节变化范围以及不同月份之间的土壤呼吸均存在显著差异($P < 0.05$),8月份土壤呼吸速率显著高于6月、7月份和9月份。同期的土壤温度和大气温度与土壤呼吸的变化趋势不一致,但不同植物群落土壤温度一般小于同期大气温度,表明该区不同植被类型土壤温度和大气温度的季节差异较大,即使是同一植物群落也是如此。可见,该区域植被对水热条件的影响较大。

不同植被相同月份土壤呼吸速率的比较研究表明,6~9月份侧柏、柠条、沙棘和油松植物群落土壤呼吸的差异均达显著水平($P < 0.05$)。其中,6月和8月份、7月和9月份不同植被类型土壤呼吸速率变化趋势一致,分别为柠条>油松>沙棘>侧柏和油松>柠条>沙棘>侧柏,表明不同植被类型在相似的气候条件下土壤呼吸的差异具有较为明显的季节变化特征。土壤呼吸和土壤温度以及大气温度的相关分析表明4种群落6~9月土壤呼吸日变化与大气温度的相关性要大于与土壤温度的相关性,但总的看来,它们与土壤温度和大气温度的变化趋势不太一致,因此可能还存在其它因子调控土壤呼吸的日变化。杨晶等^[5]对农牧交错区不同植物群落土壤呼吸的日动态观测试验发现,不同植物群落土壤呼吸日动态一致性较差,规律性不明显,主要是因为土壤呼吸除受土壤温度的驱动外,同时也受到当日降水情况和云量、风速等气象因子的较大影响。土壤水分是土壤呼吸的一个重要影响因子,而且由于与土壤温度的交互作用往往使土壤呼吸与温度和水分之间的关系变得较为复杂^[11,12]。本研究中,所有植物群落土壤呼吸与不同土层土壤含水量均呈不同程度的正相关,但与气温和表层土壤温度的相关性较强,这可能是因为研究区域和植被类型不同有关。董云社等^[13]研究发现不同草地类型土壤呼吸通量在植物生长季与0~10cm以及10~20cm土壤含水量均呈不同程度的正相

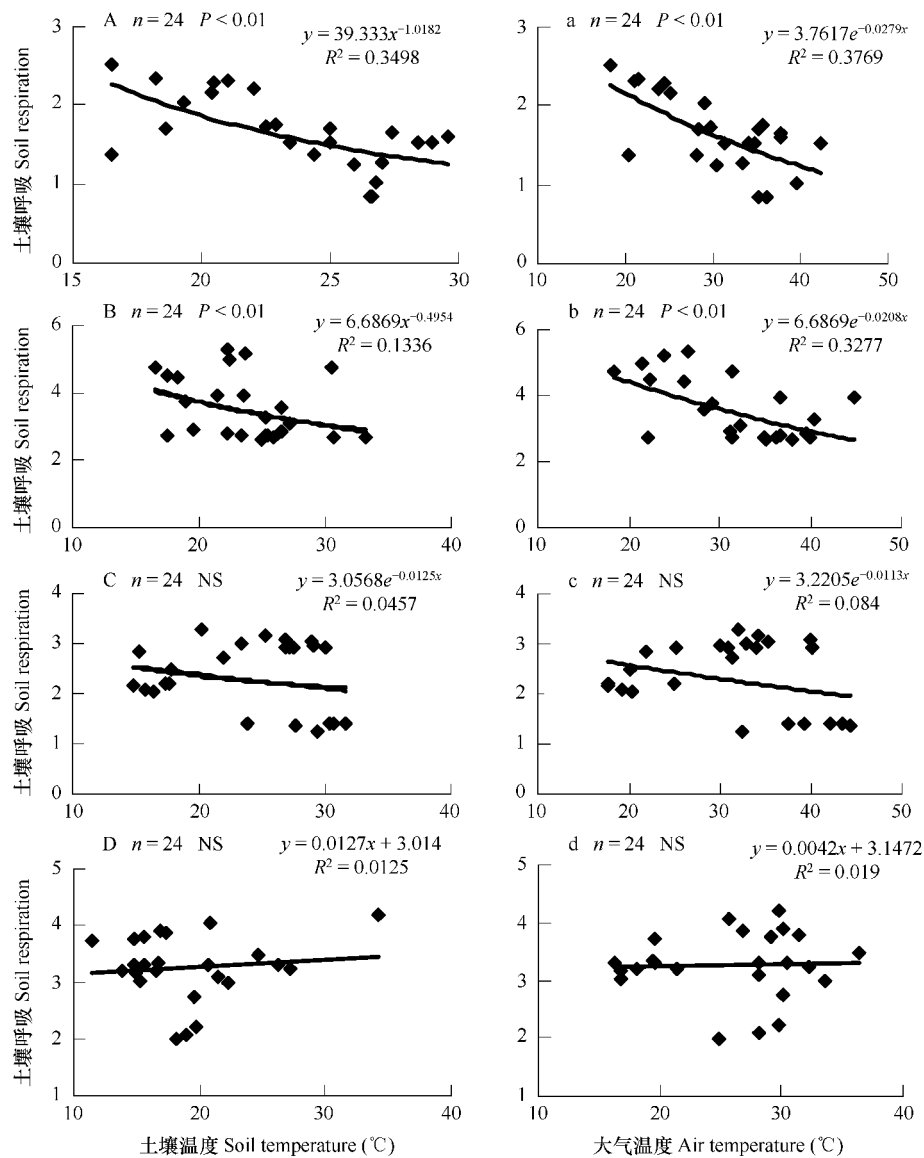


图3 不同植物土壤呼吸与土壤温度和大气温度的关系

Fig. 3 The relationship between soil respiration rate and soil and air temperature

A, B, C 和 D 分别代表侧柏、柠条、沙棘和油松土壤呼吸与土壤温度的关系, a, b, c 和 d 代表侧柏、柠条、沙棘和油松土壤呼吸与气温的关系 A, B, C 和 D stand for the relationship between soil respiration and soil temperature; a, b, c and d stand for the relationship between soil respiration and air temperature for *P. orientalis*, *C. korshinskii*, *H. rhamnoides*, *P. tabulaeformis* respectively

关,而与气温和表层土壤温度的相关性较弱。黄承才等^[14]对中亚热带东部3种主要木本群落土壤呼吸的研究表明,青冈常绿阔叶林、茶园的土壤呼吸速率与土壤含水率呈正相关,毛竹林的土壤呼吸速率与土壤含水率无明显关系。刘建军等^[15]对秦岭天然油松、锐齿栎林地土壤呼吸的研究表明,土壤呼吸速率与气温和土壤温度之间具有显著的相关关系,呼吸速率与土壤温度的相关性高于和气温的相关性。本文与前人研究结果均表明同一环境因子对不同植物群落土壤呼吸的影响是不同的。

本研究中除侧柏群落土壤呼吸与20~40 cm土层土壤水分的相关性达显著水平外($P < 0.05$),其余群落土壤呼吸与不同土层土壤水分的季节变化的相关性并不明显,表明本研究区域土壤水分的季节变化对土壤呼吸的限制作用并不明显。本研究中土壤呼吸随不同土层深度的土壤水分的增加而增加,而 Martin and Bolstad^[16]对5个不同森林类型土壤呼吸的研究发现土壤呼吸随立地平均土壤水分的增加而降低。虽然研究

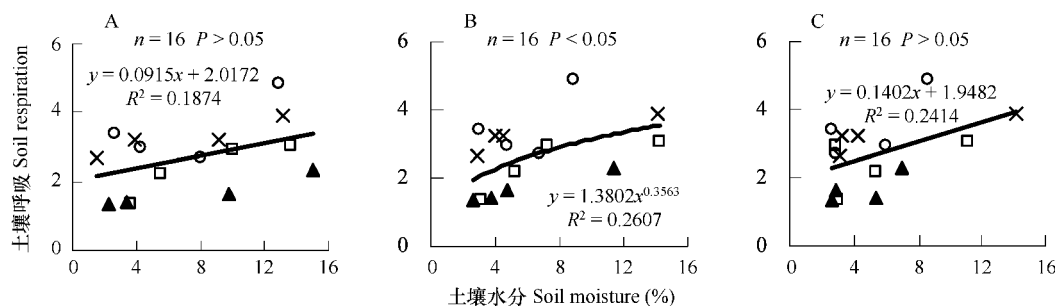


图4 不同植物土壤呼吸与不同土层土壤含水量的关系

Fig. 4 The relationship between soil respiration rate and soil moisture in different soil depth

A, B, C 分别代表 0 ~ 20, 20 ~ 40, 40 ~ 60 cm 土层土壤含水量; □ ▲ × ○ 分别代表侧柏, 柠条, 沙棘和油松群落 A, B, C stand for 0 ~ 20, 20 ~ 40, 40 ~ 60 cm soil depth, respectively; □ ▲ × ○ represent *P. orientalis*, *C. korshinskii*, *H. rhamnoides*, *P. tabulaeformis* respectively

对象都是森林群落,但是由于调控土壤呼吸不同组分(异养呼吸和根系呼吸)季节变异的因子各不相同^[17],因此土壤呼吸与环境因子之间的关系发生了相应的变化,如 Tang and Baldocchi^[10]研究表明,土壤 CO₂ 通量的季节变化模式是由土壤温度和土壤水分共同驱动的,土壤呼吸的日变化模式主要受树木生理的限制。对土壤呼吸的不同组分而言,异养呼吸主要由土壤温度和水分驱动,而根系呼吸则与其有关的自养呼吸的生理方面联系得更为紧密些^[10],因此本研究中环境因子变化对 4 种植物群落自养和异养呼吸的影响作用可能不同,使得不同组分对土壤呼吸的贡献大小也不同,导致土壤呼吸的时间变异特征及其影响因素都较为复杂。综合分析可以得出 4 种植物群落对温度的反应要比对水分的反应敏感些,但是由于土壤呼吸对水热条件反应的复杂性,陈全胜等^[8]认为研究土壤呼吸对温度变化的响应有必要按照不同植被状况进行, Risk 等^[4]认为土壤温度和水分模式是调控土壤呼吸的重要物理变量,为了更准确的预测生态系统的净呼吸,仍需要对它们对土壤呼吸的影响进行分类,本研究支持这些观点。

Campbell 和 Law^[18]认为,由于森林土壤呼吸是全球碳循环的重要组成部分,因此理解森林土壤呼吸是如何被调控的就成为评价全球碳循环的一个重要内容,由于土壤呼吸的调控因子不仅是立地因子还有更大的空间和时间尺度上的因子,因此仅仅研究土壤温度和土壤水分是不够的。 Alf Ekblad 等^[19]研究认为虽然土壤呼吸与土壤温度和土壤水分有关,但是却很少能解释土壤呼吸的季节变异。不同林分对土壤呼吸具有显著的影响,这可能与不同林分中的生物和非生物因子存在变异有关。 Siyan 等^[12]研究发现异质森林中植被、根系、微生物群落理解土壤呼吸变异模式方面的重要性,因此以后土壤呼吸研究应将这方面很好的结合起来。本研究中土壤呼吸与温度和水分之间的关系因研究的时间尺度和植物群落类型不同而不同,可能还存在一些其它因子(土壤凋落物等)影响土壤呼吸排放,因此需要进一步探明引起这种变化的原因以及这些因子对土壤呼吸的调控机制。另外,土壤质地、有机质含量、风速、降水、土壤 C/N 等非生物因子,生物量、叶面积指数、植被凋落物等生物因子以及人类活动等诸多环境因子均会改变土壤呼吸速度^[5,20],因此具体分析某一群落土壤呼吸发生变化时,需要考虑这些因子的单个或者综合作用。

研究土壤呼吸还有助于人们了解地下碳分配过程和生态系统的生产力^[6],因而能更好地了解不同植被类型的结构和功能,更好的预测植被对未来气候变化的响应,且土壤呼吸的时间变异模式可以通过对土壤水分、温度或者其他变量的连续观测模拟得以实现^[10],因此,为了进一步探明不同植被类型土壤呼吸的日和季节变异模式及其机制,需要对这些 4 种植被类型土壤呼吸不同组分开展长期的动态研究,这对于了解其它相似植被类型的土壤呼吸可提供一定的参考依据,也可为准确的估测黄土高原地区土壤碳收支提供一定的数据积累。

References:

- [1] John S K, Paul J H, Emily B, et al. A multiyear synthesis of soil respiration responses to elevated atmospheric CO₂ from four forest FACE

experiments. *Global Change Biology*, 2004, 10, 1027–1042.

- [2] William H. Schlesinger, Jeffrey A. Andrews. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 7–20.
- [3] Raich and Tufekcioglu. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 71–90.
- [4] Risk Dave, Lisa Kellman, Hugo Beltrami. Are soil respiration processes geographically invariant? Canadian Geophysical Union Meeting, Banff, Canada, May 18–21, 2002. <http://esrc.stfx.ca/publicat.html>
- [5] Yang J, Huang J H, Zhan X M, *et al.* The diurnal dynamic patterns of soil respiration for different plant communities in the Agro-pastoral Ecotone with reference to different measuring methods. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(3): 318–325.
- [6] Eric A D, Louis V V, Henrique J, *et al.* Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 53–69.
- [7] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, (B), 1992, 44: 81–89.
- [8] Chen Q S, Li L H, Han X G, *et al.* Responses of soil respiration to temperature in eleven communities in Xilingol grassland, Inner Mongolia. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(4): 441–447.
- [9] Chen S Q, Cui X Y, Zhou G S, *et al.* Study on the CO₂-release rate of soil respiration and litter decomposition in *Stipa grandis* steppe in Xilin river basin, Inner Mongolia. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(6): 645–650.
- [10] Tang Jianwu and Baldocchi Dennis D. Spatial-temporal variation in soil respiration in an oak-grass savanna ecosystem in California and its partitioning into autotrophic and heterotrophic components. *Biogeochemistry*, 2005, 73: 183–207.
- [11] Li L H, Wang Q B, Bai Y F. Soil respiration of a *Leymus chinensis* grassland stand in the XiLin river basin as affected by over-grazing and climate. 2000, 24: 680–686.
- [12] Siyan Ma, Jiquan Chen, John R, *et al.* Biophysical Controls on Soil Respiration in the Dominant Patch Types of an Old-Growth, Mixed-Conifer Forest. *For. Sci.* 2005, 51(3): 221–232.
- [13] Dong Y S, Qi Y C, Liu J Y, *et al.* The dynamic characteristics of soil efflux of four grasslands under different rainfall intensity. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(5): 473–480.
- [14] Huang C C, Ge Y, Chang J, *et al.* Study inson the soil respiration of three woody plant communities in the east mid- subtropical zone, china. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3): 324–328.
- [15] Liu J J, Wang D X, Lei R D, *et al.* Soil respiration and release of carbon dioxide from natural forest of *Pinus tabulaeformis* and *Quercus aliena* var. *acuteserrata* in Qinlin Mountains. *Science Silvae Sinicae*, 2003, 39(2): 8–13.
- [16] Martin and Bolstad. Annual soil respiration in broadleaf forests of northern Wisconsin: influence of moisture and site biological, chemical, and physical characteristics. *Biogeochemistry*, 2005, 73: 149–182.
- [17] Lee Mi-sun, Kaneyuki Nakane, Takayuki Nakatsubo, *et al.* Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a cool-temperate deciduous forest. *Plant and Soil*, 2003, 255: 311–318.
- [18] Campbell J L, Law B E. Forest soil respiration across three climatically distinct chronosequences in Oregon. *Biogeochemistry*, 2005, 73: 109–125.
- [19] Alf Ekblad, Björn Boström, Anders Holm Daniel Comstedt. Forest soil respiration rate and $\delta^{13}\text{C}$ is regulated by recent above ground weather conditions. *Oecologia*, 2005, 143: 136–142.
- [20] Zhang D Q, Shi P L, Zhang X Z. Some advance in the main factors controlling soil respiration. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(7): 778–785.

参考文献:

- [5] 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. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 318–325.
- [8] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 温带草原 11 个植物群落夏秋土壤呼吸对气温变化的响应. *植物生态学报*, 2003, 27(4): 441–447.
- [9] 陈四清, 崔晓勇, 周广胜, 等. 内蒙古锡林河流域大针茅草原土壤呼吸和凋落物分解的 CO₂ 排放速率研究. *植物学报*, 1999, 41(6): 645–650.
- [11] 李凌浩, 王其兵, 白永飞, 等. 锡林河流域羊草草原群落土壤呼吸及其影响因子的研究. *植物生态学报*, 2000, 24: 680–686.
- [13] 董云社, 齐玉春, 刘纪远, 等. 不同降水强度 4 种草地群落土壤呼吸通量变化特征等. *科学通报*, 2005, 50(5): 473–480.
- [14] 黄承才, 葛谨, 常杰, 等. 中亚热带东部三种主要木本群落土壤呼吸的研究. *生态学报*, 1999, 19(3): 324–328.
- [15] 刘建军, 王得祥, 雷瑞德, 等. 秦岭天然油松、锐齿栎林地土壤呼吸与 CO₂ 释放. *林业科学*, 2003, 39(2): 8–13.
- [20] 张东秋, 石培礼, 张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展. *地球科学进展*. 2005, 20(7): 778–785.