

塔里木河下游荒漠河岸林群落 土壤呼吸及其影响因子

黄 湘^{1 2 3} 李卫红^{1 2} 陈亚宁^{1 2,*} 马建新^{1 2 3}

(1. 中国科学院绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 83001 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 83001 ;
3. 中国科学院研究生院 北京, 100039)

摘要 利用 LI-8100 土壤碳通量自动测定仪监测塔里木河下游荒漠河岸林群落土壤呼吸的日变化动态, 分析其土壤呼吸与环境因子的关系, 比较二者的差异。结果表明: (1) 胡杨和柽柳群落土壤呼吸的日变化过程相同, 最大值出现时间一致, 呈单峰值曲线, 但是不同月份最大值出现时间不同; (2) 胡杨群落的土壤呼吸速率大于柽柳群落的; (3) 胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率与距地表 2cm 处气温之间存在显著的指数关系, 但是不同植物类型的土壤呼吸对温度的敏感性有所不同; (4) 胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率与土壤水分都存在显著的线性关系; (5) 通过多元回归分析表明, 塔里木河下游 76% ~ 93% 左右的荒漠河岸林群落土壤呼吸速率受温度和水分的共同控制。

关键词 土壤呼吸; 荒漠河岸林; 胡杨; 柽柳; 近地表气温; 土壤水分

文章编号: 1000-0933 (2007) 05-1951-09 中图分类号: Q145.1, Q948 文献标识码: A

Soil respiration of desert riparian forests in the lower reaches of Tarim River as affected by air temperature at 10cm above the ground surface and soil water

HUANG Xiang^{1 2 3}, LI Wei-Hong^{1 2}, CHEN Ya-Ning^{1 2,*}, MA Jian-Xin^{1 2 3}

1 Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (5) 1951 ~ 1959.

Abstract : In order to understand the controlling environmental factors of soil organic carbon cycling in the lower reaches of the Tarim River, we studied daily variation of soil respiration and its relationship with air temperature at 10 cm above ground surface and soil water contents in riparian forests in sections of Karerdayi and Alagan. Measurements of soil respiration were made with a LI-8100 soil CO₂ efflux system. Nonlinear regression analysis was performed with SPSS13.0. We observed that: (1) the daily variation of soil respiration was fairly consistent between *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. communities, with diurnal variation curve of soil CO₂ emissions displaying a single peak and the maximum rate of soil CO₂ efflux occurring at the same time; (2) the timing for the occurrence of maximum rate of soil CO₂ efflux varied monthly; (3) the rates of soil respiration under the forests of *Populus euphratica* was significantly greater than under the forests of

基金项目: 中国科学院西部行动计划资助项目 (KZCX2-XB2-03); 国家自然科学基金资助项目 (90502004); 国家科学技术支撑资助项目 (2006BAC01A03)

收稿日期: 2006-04-03; 修订日期: 2007-01-20

作者简介: 黄湘 (1978 ~), 女, 湖北大冶人, 博士生, 主要从事荒漠植被生态学研究. E-mail: huangxianghappy@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhenyn@ms.xjbg.ac.cn

Foundation item : The project was financially supported by Chinese Academy of Sciences action-plan for west China (No. KZCX2-XB2-03) and National Natural Science Foundation of China (No. 90502004) and National Science and Technology Support Plan, China (No. 2006BAC04A03)

Received date 2006-04-03; **Accepted date** 2007-01-20

Biography : HUANG Xiang, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecology of desert vegetation. E-mail: huangxianghappy@126.com

Tamarix spp. ; (4) an exponential model can be used to describe the relationship between soil respiration and air temperature at 10 cm above ground surface , with the sensitivity of soil respiration to temperature differing between different vegetation types ; (5) a liner model can better describe the relationship between soil respiration and soil water content ; and (6) air temperature at 10 cm above the ground surface and soil water content together controlled the rates of soil respiration and explained 76% ~ 93% of the variance in desert riparian forests of the lower reaches of Tarim River.

Key Words : soil respiration ; hungriiness riverside forest ; *Populus euphratica* ; *Tamarix* spp. ; air temperature at 10cm above the ground surface ; soil water content

土壤呼吸是陆地生态系统碳循环的重要碳源 ,Raich 等^[1]研究全球土壤呼吸二氧化碳释放时指出 ,通过土壤呼吸排放到大气中的 CO_2 高达 $65\text{Pg}\cdot\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$,它是植被光合作用所需 CO_2 的一个主要来源。目前各种陆地生态系统土壤 CO_2 释放问题成为当前气候变化的核心之一 ,Raich 等^[2]研究植被与土壤呼吸之间相互作用时 ,指出分析土壤呼吸 CO_2 释放量的环境因子 ,并且确定这些环境因子对土壤呼吸速率的影响作用 ,对于评价未来环境变化有重要意义。目前有关湿地、森林和草场生态系统土壤 CO_2 释放的研究很多^[3~6] ,并大多集中于湿润和半湿润地区。刘绍辉等^[7]根据已有工作经验 ,分析了现有影响土壤呼吸的主要因素 ,提出今后研究的建议 ,认为对于干旱荒漠区生态系统土壤 CO_2 释放的研究还应该加强。

塔里木河流域是我国胡杨分布最大的区域 ,分别占世界和中国胡杨林的 54% 和 89.1%^[8] ,与其伴生的柽柳共同组成维系塔里木河流域生态系统的主体 ,在维护河岸生态系统稳定方面扮演着重要角色^[9,10]。不少学者对胡杨 (*Populus euphratica*) 和柽柳 (*Tamarix* spp.) 的生理、组织和分类学等做过研究 ,探讨胡杨、柽柳的生态功能^[11~14] ,而涉及胡杨和柽柳群落土壤呼吸的研究很少。本文以塔里木河荒漠河岸林的主要建群种胡杨和柽柳为研究对象 ,探讨塔里木河流域胡杨和柽柳群落土壤呼吸的日变化特点 ,分析土壤呼吸与环境因子的相互关系 ,比较两种群落土壤呼吸特征的差异 ,旨在揭示塔里木河下游胡杨和柽柳群落土壤呼吸的机理 ,为评价塔里木河流域生态系统服务功能的价值和了解干旱区碳素平衡和养分循环的特点提供基础资料。

1 研究区概况

研究区位于塔里木河下游地区 ($41^{\circ}00' \sim 39^{\circ}47' \text{N}$, $85^{\circ}21' \sim 88^{\circ}22' \text{E}$) ,属暖温带、干旱沙漠性气候 ,多风沙、浮尘天气 ,日照时间长 ,温差大 ,年平均日较差 $14 \sim 16^{\circ}\text{C}$,年最大日较差一般在 25°C 以上。年降水量在 $17.4 \sim 42.8\text{mm}$,年蒸发量 $2244.6 \sim 2902.2\text{mm}$,是我国最干旱的地区之一。地面物质组成以细粒土壤土为主 ,地表至 20cm 深土壤含盐量为 $0.425\% \sim 2.025\%$ 。乔木主要有胡杨 ,灌木以柽柳为主 ,草本植物主要有芦苇、大花罗布麻、胀果甘草、疏叶骆驼刺等。

2 资料采集与分析方法

2.1 资料采集

在塔里木河下游 ,沿河道在喀尔达依和阿拉干断面地下水位监测井附近共布设了 4 个监测区 (图 1) ,胡杨和柽柳监测区各 2 个。每个监测区为 $25\text{m} \times 25\text{m}$,按照梅花式设置 5 个重复监测点。在测定前 1 天将测定基座 PVC 管 (高 20cm ,直径 10cm) 埋入土壤中 ,使其出露地面 2cm 左右 ,尽可能不扰动地表的凋落物。经过 24h 平衡 ,土壤呼吸速率会恢复到基座放置前的水平 ,从而避免了由于安置基座对土壤扰动造成的短期内呼吸速率的波动。

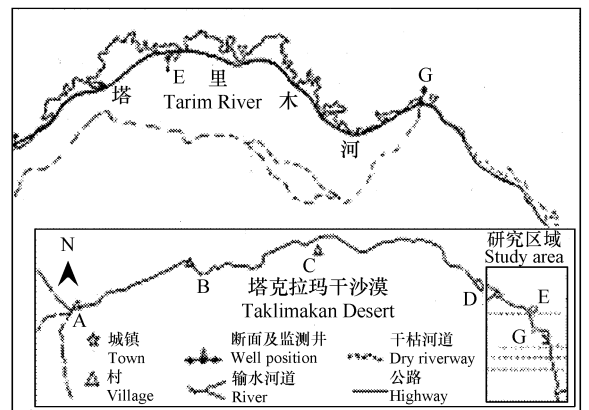


图 1 塔里木河中下游监测点及断面分布示意图

Fig. 1 Sampling areas distributing at the lower reaches of Tarim River
A 阿拉尔 Aral B 新其满 Xingiman C 英巴扎 Yingbaza D 大西海子 Daxihaizi reservoir E 喀尔达依 Kardayi G 阿拉干 Alagan

监测季节为荒漠河岸林群落最大生物量时期的 8 月初和 9 月初。时间 8:00~20:00, 频率为每 2h 一轮, 分别对胡杨和柽柳两个群落进行测定。测量仪器采用的是 LI-8100 土壤碳通量自动测定仪。

同时, 用 WMY-01C 数字测温仪实时监测每个监测点的距地表 10cm 处气温 (以下称近地表气温)。在每个监测点附近挖 15cm 的土壤剖面, 分层为 0~5cm 和 5~15cm, 测定土壤含水量。

2.2 分析方法

所有的统计分析都用 EXCEL 和 SPSS 软件进行分析, 采用 origin 作图。土壤呼吸速率与气温之间关系采用非线性回归程序分析, 所用到的指数模型如下^[15-17]:

$$R_s = ae^{bT}$$

式中 R_s 为土壤呼吸速率, 单位为 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; T 为气温, 单位为 $^{\circ}\text{C}$; a 是温度为 0°C 时的土壤呼吸, 也有些研究者称为基础呼吸; b 为温度反应系数。 b 反映土壤呼吸对温度的敏感响应程度, 但是习惯上人们用一次指数模型 Q_{10} 值。 Q_{10} 值通过下式确定:

$$Q_{10} = e^{10b}$$

式中 b 同上式。各群落平均土壤呼吸与温度之间的关系以及 Q_{10} 与温度之间的关系采用非线性程序分析。土壤呼吸与水分关系采用线性模型^[18]:

$$R_s = c \times xd$$

式中 R_s 为土壤呼吸速率, 单位为 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; x 为 5~15cm 土壤质量含水量; c 为水分反应系数; d 为截距。

3 结果与分析

3.1 土壤呼吸日变化过程

胡杨和柽柳群落的土壤呼吸日动态过程如图 2 所示, 可以看出, 土壤 CO_2 释放日变化动态基本上呈单峰值曲线, 两种植被类型的土壤呼吸速率出现最大值的时间相同, 8 月份出现在 16:00, 9 月份最大值出现在 12:00, 最小值都出现在 8:00。胡杨群落土壤呼吸速率都高于柽柳群落的, 8 月胡杨群落的土壤呼吸速率变化范围为 $2.212 \sim 3.937 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 而柽柳群落的土壤呼吸速率范围为 $1.423 \sim 2.515 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 9 月份胡杨和柽柳的土壤呼吸速率都很小, 在 $0.3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下, 胡杨平均速率达 $0.24 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 而柽柳的平均速率仅有 $0.18 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 分析阿拉干断面两种类型群落的土壤碳通量的日变化过程也反映了同一特点。

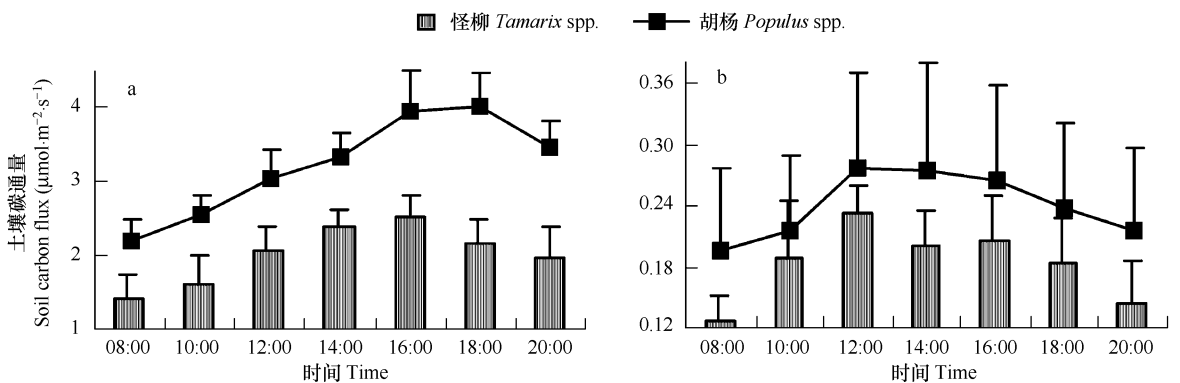


图 2 喀尔达依胡杨和柽柳群落土壤碳通量比较

Fig. 2 Compare the soil carbon flux of *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. community at the section of Kardayi

a. Data observed in Aug. b. Data observed in Sep.

在阿拉干断面, 两种植被类型的土壤呼吸最大值出现时间与喀尔达依断面相同, 并且胡杨群落的土壤呼吸速率总是高于柽柳群落的土壤呼吸速率, 表现为 8 月份胡杨群落土壤呼吸平均速率为 $6.056 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 柽柳为 $2.901 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 9 月胡杨群落土壤呼吸平均速率为 $0.31 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 柽柳为 $0.10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

这反映了土壤呼吸速率的变化范围因植被类型的不同而有所差异,而干旱区内植物群落的土壤呼吸日变化动态相似,呈现一定的规律性。

3.2 土壤呼吸与温度的日变化

采用数据取 5 个重复的平均,求得监测区内群落的土壤呼吸速率和近地表气温,并对胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率与近地表气温的日动态过程进行比较。如图 3 可以看出,在喀尔达依断面,胡杨和柽柳群落的各月近地表气温范围相同,日动态存在差异。可以看出 8 月份胡杨群落和柽柳群落的土壤呼吸的日变化动态与近地表气温的日变化动态比较一致,最大值出现时间都是在 16:00。9 月份胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率的日变化与近地表气温的日变化同中有异,土壤呼吸速率的最大值出现在正午 12:00,而近地表气温的最大值出现在 14:00~16:00,最大值出现时间与 8 月份不同,这与太阳高度角以及日照时间长短,还与监测时的阴影与风速都有关系。

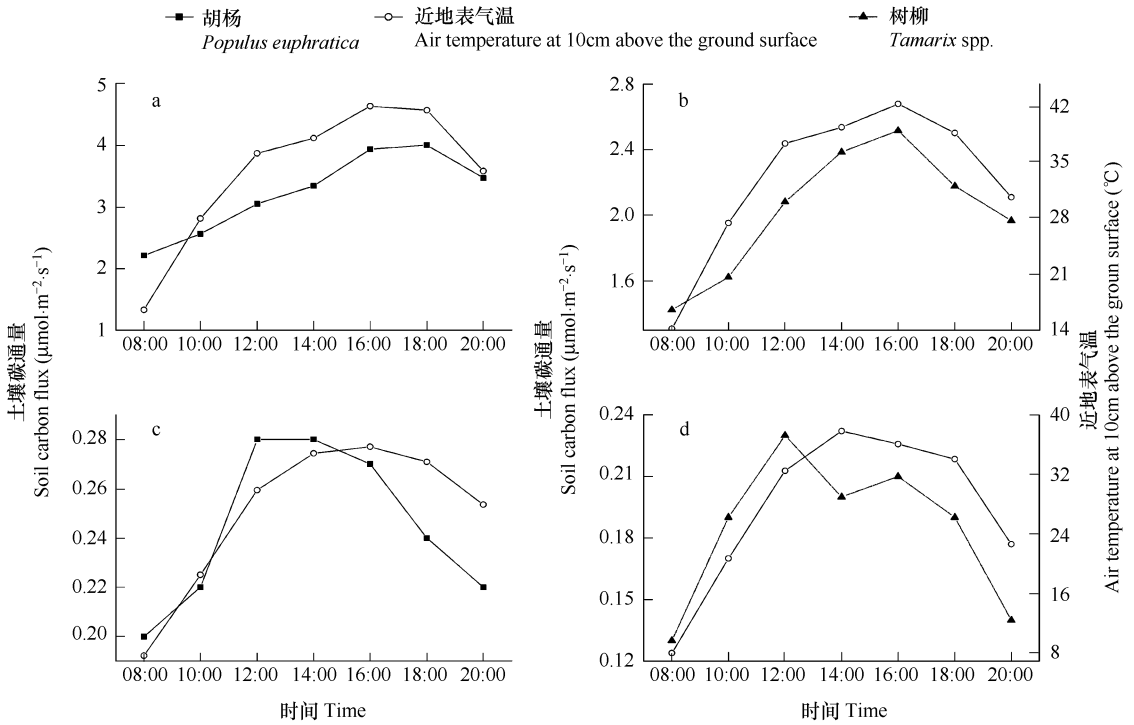


图 3 喀尔达依胡杨和柽柳群落土壤碳通量与近地表气温变化

Fig. 3 Changes between air temperature at 10cm above the ground surface and carbon flux of soil respiration of *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. community at the section of Kardayi
a. 8月胡杨 *Populus euphratica* in Aug. b. 8月柽柳 *Tamarix* spp. in Aug c. 9月胡杨 *Populus euphratica* in Sep. d. 9月柽柳 *Tamarix* spp. in Sep.

在阿拉干断面,胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率与近地表气温日变化过程之间较吻合,这反映了胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率与近地表气温之间有一定的相关性。通过相关分析发现,在八九月份喀尔达依和阿拉干断面胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率与近地表气温都存在极显著的关系(表 1)。

在喀尔达依断面,胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率与近地表气温之间的相关性很好,尤其是 8 月份,土壤呼吸与近地表气温之间适合指数模型关系(图 4)。胡杨群落土壤呼吸速率与近地表气温的回归指数与柽柳群落土壤呼吸速率与近地表气温的回归系数十分相近,分别是 0.9 和 0.93。9 月份胡杨群落土壤呼吸速率与近地表气温的回归指数与柽柳群落的回归系数相同,为 0.67。以此为基础得到两个群落的 Q_{10} 值依次为 8 月份胡杨和柽柳分别为 1.35 和 1.22,9 月份分别为 1.11 和 1.22。在阿拉干断面,胡杨群落土壤呼吸速率与近地表气温的回归系数与柽柳群落土壤呼吸速率与近地表气温的回归系数不尽相同,在置信区间为 95% 范围

内 8 月份胡杨的回归系数为 0.79 柽柳的为 0.95 9 月份胡杨的回归系数为 0.86 柽柳的为 0.99。这说明土壤呼吸速率的日变化对近地表气温的敏感性会受植被类型以及时间变化的影响产生差异。

表 1 塔里木河下游胡杨和柽柳群落土壤呼吸速率与近地表气温相关结果

Table 1 Results of correlation between air temperature at 10cm above the ground surface and soil respiration of *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. community in the backward reaches of Tarim River

相关性检验 Correlative test		喀尔达依 Kardayi		阿拉干 Alagan	
		胡杨 <i>Populus euphratica</i>	柽柳 <i>Tamarix</i> spp.	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	柽柳 <i>Tamarix</i> spp.
8 月 Aug	R^2	0.933	0.946	0.869	0.984
	SigF	0.002	0.001	0.01	0.000
9 月 Sep	R^2	0.803	0.799	0.904	0.975
	SigF	0.03	0.031	0.013	0.001

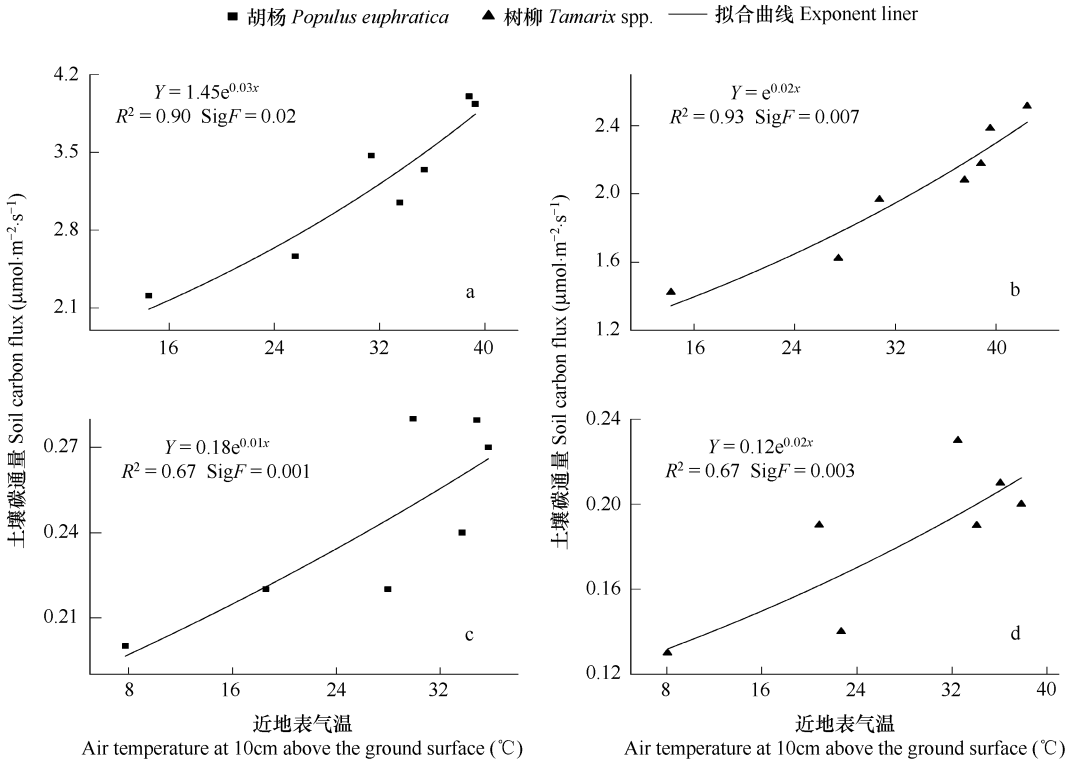


图 4 喀尔达依胡杨和柽柳群落土壤碳通量与近地表气温关系

Fig. 4 Relationship between air temperature at 10cm above the ground surface and carbon flux of soil respiration of *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. community at the section of Kardayi

a. 8 月份胡杨 *Populus euphratica* in Aug. b. 8 月份柽柳 *Tamarix* spp. in Aug. c. 9 月份胡杨 *Populus euphratica* in Sep. d. 9 月份柽柳 *Tamarix* spp. in Sep.

3.3 土壤呼吸与土壤水分的关系

土壤呼吸速率与土壤含水量之间有一定的相关性。在喀尔达依断面,胡杨和柽柳群落 5 ~ 15cm 的土壤含水量变化范围分别是 0.76% ~ 6.16% 0.63% ~ 5.29%, 它们与土壤呼吸速率之间都存在显著的线性关系 (图 5), 在 95% 的置信区间内, R^2 分别是 0.94 和 0.89。土壤呼吸随着土壤水分的增加而增加, 并且增加的速度非常快, 当土壤水分在 0.76% 胡杨的土壤呼吸速率仅为 $0.23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 水分增加到 5.61% 胡杨的土壤呼吸速率就达到 $2.56 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。胡杨群落土壤呼吸速率与土壤含水量之间的线性拟合关系为:

$$Y = 0.32 + 0.62X (R^2 = 0.94, \text{SigF} = 0.02)$$

柽柳群落土壤呼吸速率与土壤含水量之间的线性拟合关系为:

$$Y = 0.1 + 0.44X (R^2 = 0.89, \text{Sig}F = 0.02)$$

在阿拉干断面,胡杨和柽柳群落 5~15cm 的土壤含水量变化范围分别是 1.33%~7.73%,0.68%~5.51%,它们也和土壤呼吸速率之间存在显著的线性关系,在 95% 的置信区间内, R^2 分别是 0.93 和 0.88。其中两个断面两种植物群落的土壤呼吸速率与土壤含水量的回归指数都很大,这说明干旱区土壤含水量对胡杨和柽柳群落的土壤呼吸的影响很大,并且两个断面胡杨群落土壤呼吸速率与土壤含水量的回归指数都呈现出大于柽柳的回归指数,这可能是由于胡杨群落受土壤含水量胁迫大的原因。

3.4 土壤呼吸与水热因子关系

鉴于土壤呼吸与温度之间的指数关系和其与土壤水分之间的线性关系,以 5~15cm 土壤含水量和近地表气温为变量,采用多元线性回归中的 enter 方法,在 90% 的置信区间内,分析土壤呼吸速率与上述变量之间的关系,得到线性模型,结果见表 2。

由上述分析可以看出,塔里木河下游的喀尔达依和阿拉干两个断面的两种植物群落土壤呼吸速率都受到土壤含水量和近地表气温共同的影响,但同种植物群落不同断面受其影响的程度不同,胡杨群落的土壤呼吸速率与土壤含水量和近地表气温共同拟合后的线性模型能够解释土壤呼吸 90%~94% 区间的变化情况,柽柳群落土壤呼吸速率与土壤含水量和近地表气温共同拟合后的线性模型能够解释土壤呼吸 76%~93% 区间的变化情况。

表 2 塔里木河下游胡杨和柽柳群落土壤呼吸与气温和土壤水分的多元回归结果

Table 2 Results of regression in common among air temperature and soil water and soil respiration of *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. community in the lower reaches of Tarim River

内容 Content	变量 Variables		常数 Constant	R^2	SigF	回归 Regression	残差 Residual error	
	T	M						
喀尔达依 Kardayi	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	-1.239	1.882	31.305	0.943	0.029	11.721	0.344
	柽柳 <i>Tamarix</i> spp.	0.230	0.133	-6.194	0.757	0.056	4.847	0.827
阿拉干 Alagan	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	0.007	1.157	-1.712	0.901	0.014	51.263	3.222
	柽柳 <i>Tamarix</i> spp.	0.385	-0.476	-9.408	0.933	0.008	12.248	0.514

4 问题与讨论

目前,国内外学者对土壤呼吸研究所使用的方法主要有静态气室法、动态气室法和微气象法等,然而,由于测量方法不同,野外采样的精确性也不同,方法之间的结果可比性差,难以获得大的时间和空间尺度上的准确数据^[19]。碱吸收法虽然能野外条件下大面积多点同时测定,获得大的时间和空间尺度上的土壤呼吸数据,但这种阻止观测体内部气体与外界空气交换,这样对被测表明的自然状态产生干扰。本研究中采用的红外线法,应用的 LI-8100 设备测定土壤呼吸速率,气室头部有减压排气管道,这个设计使得气室内与大气间的压力

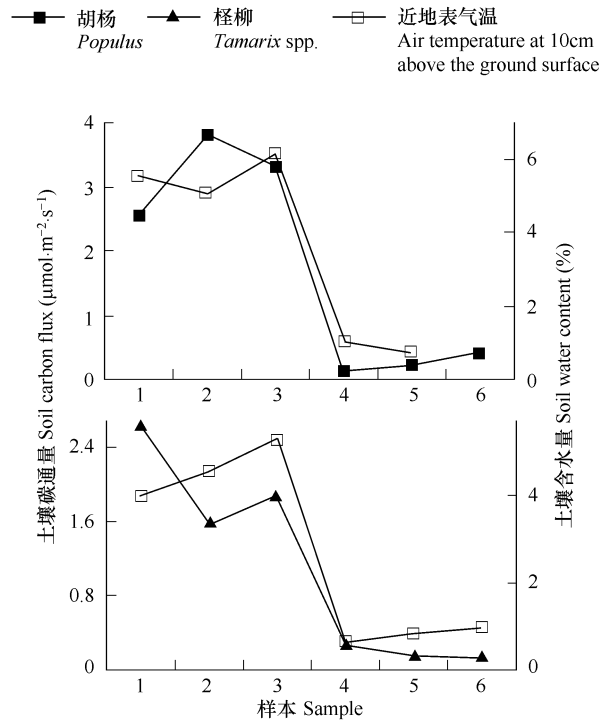


图 5 喀尔达依断面胡杨和柽柳群落土壤碳通量与土壤含水量变化关系
Fig. 5 Relationship between soil water content and soil carbon flux of *Populus euphratica* and *Tamarix* spp. community at the section of Kardayi

保持平衡,减少由于“气室效应”而造成的误差,测定结果更加精确。

对土壤呼吸的季节变化研究表明,土壤呼吸的季节变化呈单峰曲线^[20],也就是说土壤呼吸速率在不同的月份内最大值是不同的。本研究结果显示干旱区胡杨和柽柳群落土壤呼吸的日变化过程相同,最大值出现时间一致,但是不同月份的最大值有所不同,温度较高的8月份土壤呼吸速率要远远大于温度较低的9月份。胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率的日变化动态也是单峰值曲线,这与农牧交错区不同植物群落土壤呼吸的日动态变化结果是一致的^[21]。

对森林和草地系统的土壤呼吸研究显示,土壤呼吸的季节动态因植被类型不同而存在差异^[22],不同生物群区的土壤呼吸速率有较大的差异,即使是在相邻不同的植物群落之间的土壤呼吸速率也常存在着相当大的变异^[1,23]。本研究中,喀尔达依和阿拉干两个断面的胡杨和柽柳群落都相邻,对其土壤呼吸两个月的日变化动态监测结果都显示,胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率在两个月里的日变化范围都不同,胡杨群落的大于柽柳群落的,造成这种差异的因素是多方面的,既有植被类型、立地条件方面的原因,也有温度和水分方面的原因。

土壤呼吸的季节变化主要受温度和水分及二者间配置的影响,温度对土壤呼吸季节变化的影响几乎都可以用一个指数模型来表示,土壤水分对土壤呼吸的季节变化的具体影响关系却各不相同。对高寒半干旱黑河流域草地研究表明土壤呼吸与温度呈显著的乘幂关系^[24],对高草草原土壤呼吸的研究表明土壤呼吸与土壤水分之间存在双曲线关系^[25],对温带半干旱区锡林河流域羊草草原土壤呼吸研究表明土壤呼吸水分之间存在显著的线性关系^[26]。本研究中主要监测和分析胡杨和柽柳群落土壤呼吸与温度和水分的关系,结果表明胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率都与气温有显著的指数关系,回归系数在0.7以上,这说明干旱区温度对土壤呼吸速率的日变化和季节变化的影响是相同的。同时,胡杨和柽柳群落土壤呼吸的日变化都与土壤水分有显著的线性关系,对于干旱区植被而言,水分是生物生存的胁迫因子,而土壤呼吸主要是由根系呼吸和微生物以及腐殖质分解排放CO₂组成,因此在干旱条件下土壤呼吸速率受水分影响是合理的。研究表明在土壤呼吸模型中增加水分因子能够更好的揭示土壤呼吸的变化情况^[27],黑河流域山区牧坡草地84%土壤呼吸由温度和水分共同决定,羊草草原70%土壤呼吸变化由气温和水分共同决定^[24,28]。本研究中通过多元回归分析得出胡杨群落的90%~94%土壤呼吸由气温和水分共同决定,柽柳群落的76%~93%土壤呼吸由气温和水分共同决定。

相对于其他气候区的森林和草地群落的土壤呼吸而言,干旱区胡杨和柽柳群落的土壤呼吸既有其共同点,又具有自己的独特之处。本文仅研究土壤呼吸与水热条件日变化的关系,没有涉及其季节变化以及植被根系生物量和土壤微生物的数量及生物量等因素。这些因素在一定程度上也会叠加在水热条件对土壤呼吸的影响之上,从而共同控制土壤呼吸的速率和CO₂的释放量。因此要了解干旱区土壤呼吸的机理,还需要对干旱区植被的土壤呼吸进行长期的季象观测,对土壤微生物等方面进行同步分析。

5 结论

(1)胡杨和柽柳群落土壤呼吸的日变化过程相同,都是呈单峰值曲线,最大值出现时间一致,但是不同月份二者最大值不同,出现时间也不同,8月份最大值出现在16:00,9月份出现在12:00。

(2)胡杨群落的土壤呼吸速率大于柽柳群落的,土壤呼吸速率的变化范围因植被类型的不同而有所差异。

(3)胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率与气温的关系在一定程度上具有相似性,都与其具有显著的指数关系,回归系数都在0.70以上,这表明对于干旱区植物而言,温度仍然是影响土壤呼吸速率的一个重要因素,但是同属干旱区,不同植物群落类型的土壤呼吸对温度的敏感性有所不同,如在8月份,胡杨群落的土壤呼吸对温度的敏感性 Q_{10} 为 $1.35\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,柽柳的 Q_{10} 为 $1.22\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(4)胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率与土壤水分有相似的变化趋势,它们与土壤呼吸速率之间都存在显著的线性关系,在95%的置信区间内, R^2 为0.88~0.94,在两个断面的胡杨和柽柳群落的土壤呼吸都呈现这

一特点,这表明土壤水分在干旱区是影响植物群落土壤呼吸速率大小的重要因素之一。

(5)通过多元回归分析土壤呼吸速率与近地表气温和土壤水分之间的关系发现,胡杨和柽柳群落的土壤呼吸速率都主要受温度和水分共同调控,分别建立的线性回归方程,能够解释土壤呼吸 76%~93% 左右的变化情况。

References :

- [1] Raich J W , Sehlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus (B)* ,1992 , 44 :81—99.
- [2] Raich J W , Tufekciogul A. Vegetation and soil respiration : correlations and controls. *Biogeochemistry* 2000 ,48 :71—90.
- [3] Yu G R , Wen X F , Li Q K , *et al.* Season pattern and environment response characteristic of typical forest ecosystem respiration in Chinese subtropics and temperate zone. *Science in China (Series D)* 2004 47 (supplement II) :84—94.
- [4] Zhang X Z , Shi P L , Liu Y F , *et al.* High and cold prairie ecosystem soil CO₂ releases and the carbon balance in Qinghai-Tibet Plain. *Science in China (Series D)* 2004 47 (supplement II) :193—199.
- [5] Huang Y , Liu S R , Shen Q R , *et al.* Influence of environmental factors on the decomposition of organic carbon in agricultural soils. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,2002 13 (6) :709—714.
- [6] Chen Q S , Li L H , Han X G , *et al.* Temperature sensitivity of soil respiration in relation to soil moisture in 11 communities of typical temperate steppe in Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica* ,2004 24 (4) :831—836.
- [7] Liu S H , Fang J Y. Effect factors of soil respiration and the temperature 's effects on soil respiration in the global scale. *Acta Ecologica Sinica* , 1997 ,17 (5) :469—476.
- [8] Chen Y N , Zhang X L , Li W H , *et al.* Analysis on the ecological benefits of the stream water conveyance to the dried-up river of the lower reaches of Tarim River , China. *Science in China (Series D)* ,2004 47 (11) :1053—1064.
- [9] Osborne L L , Kovacic D A. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshw. Biol.* ,1993 ,29 :243—258.
- [10] Chen Y N , Li W H , Xu H L , *et al.* The Influence of Groundwater on Vegetation in the Lower Reaches of Tarim River , China , *Acta Geographica Sinica* ,2003 ,58 (4) :542—549.
- [11] Singh T N , Aspinall F , Paley L G. Proline accumulation and varietal adaptability to drought resistance. *Nature , New Biol* ,1972 ,236 :188—190.
- [12] Chen Y L , Cao M. The relationship among ABA , stomatal conductance and leaf growth under drought condition. *Plant Physiology Communication* , 1999 ,35 (5) :389—403.
- [13] Busch D E , Smith S D. Mechanisms associated with decline of woody species in riparian ecosystems of the southern U S. *Ecol Monogr* ,1995 65 : 347—370
- [14] Deng X , Li X M , Zhang X M , *et al.* Studies on gas exchange of *Tamarix ramosissima* Lbd. *Acta Ecologica Sinica* ,2003 23 (1) :180—187.
- [15] Luo Y , Wall S , Hui D , Wallace L L. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. *Nature* 2001 413 :622—625.
- [16] Grace J , Rayment M. Respiration in the balance. *Nature* ,2000 404 :819—820.
- [17] Ohashi M , Gyokusen K , Saito A. Contribution of root respiration to total soil respiration in a Japanese cedar *Cryptomeria japonica* D. Don artificial forest. *Ecological Research* ,2000 15 :323—333.
- [18] Wildung R E , Garland T R , Buschbom R L. The interdependent effect of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root decomposition in arid grassland soils. *Soil Biology & Biochemistry* ,1975 7 :373—378.
- [19] Li Z F , Lv X G , Yang Q. A review on wetland soil CO₂ flux. *Chinese Journal of Ecology* ,2002 21 (6) :47—50.
- [20] Bridge B J , Morr J J , Hartigar R J. The formation of degraded areas in the dry savanna woodlands of northern Australia. *Australian Journal of Soil Research* ,1983 21 :91—104.
- [21] Yang J , Huang J H , Zhan X M , *et al.* The diurnal dynamic patterns of soil respiration for different planet communities in the agro-pastoral ecotone with reference to different measuring methods. *Acta Phytocologica Sinica* ,2004 28 (3) :318—325.
- [22] 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.
- [23] Ellis R C. The seasonal pattern of nitrogen carbon mineralization in forest and pasture soils in southern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science* , 1974 54 :15—28.
- [24] Chang Z Q , Shi Z M , Feng Q , *et al.* Temporal variation of soil respiration on sloping pasture of Heihe River basin and effects of temperature and soil moisture on it. *Chinese Journal of Applied Ecology* 2005 16 (9) :1603—1606.

- [25] Liu X Z, Wan S Q, Su B, *et al.* Response of soil CO₂ efflux to water manipulation in a tallgrass prairie ecosystem. *Plant and Soil* 2002, 240: 213–223.
- [26] Chen Q S, Li L H, Han X G, *et al.* Influence of temperature and soil moisture on soil respiration of a degraded steppe community in the Xilun River basin of Inner Mongolia. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27 (2): 202–209.
- [27] de Jong E, Schappert H J V, Macdonald K B. Carbon dioxide evolution from virgin and cultivated soil as affected by management practices and climate. *Canadian Journal of Soil Science*, 1974, 54: 299–307.
- [28] Li L H, Wang Q B, Bai Y F, *et al.* Soil respiration of a *Leymus chinensis* grassland stands in the Xilin River as affected by over-grazing and climate. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24 (6): 680–686.

参考文献:

- [3] 于贵瑞, 温学发, 李庆康, 等. 中国亚热带和温带典型森林生态系统呼吸的季节模式及环境响应特征. *中国科学 D 辑*, 2004, 34 (增刊 II): 84–94.
- [4] 张宪洲, 石培礼, 刘允芬, 等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤 CO₂ 排放及碳平衡. *中国科学 D 辑*, 2004, 34 (增刊 II): 193–199.
- [5] 黄耀, 刘世梁, 沈其荣, 等. 环境因子对农业土壤有机碳分解的影响. *应用生态学报*, 2002, 13 (6): 709–714.
- [6] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 典型温带草原群落土壤呼吸温度敏感性与土壤水分的关系. *生态学报*, 2004, 24 (4): 831–836.
- [7] 刘绍辉, 方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响. *生态学报*, 1997, 17 (5): 469–476.
- [8] 陈亚宁, 张小雷, 李卫红, 等. 新疆塔里木河下游断流河道输水的生态效应分析. *中国科学*, 2004, 34 (5): 475–482.
- [10] 陈亚宁, 李卫红, 徐海量, 等. 塔里木河下游地下水对植被的影响. *地理学报*, 2003, 58 (4): 542–549.
- [12] 陈玉玲, 曹敏. 干旱条件下 ABA 与气孔导度和叶片生长的关系. *植物生理学通讯*, 1999, 35 (5): 389–403.
- [14] 邓雄, 李小明, 张希明, 等. 多枝桤柳气体交换特性研究. *生态学报*, 2003, 23 (1): 180–187.
- [19] 李兆富, 吕宪国, 杨青. 湿地土壤 CO₂ 通量研究进展. *生态学杂志*, 2002, 21 (6): 47–50.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [24] 常宗强, 史作民, 冯起, 等. 黑河流域山区牧坡草地土壤呼吸的时间变化及水热因子影响. *应用生态学报*, 2005, 16 (9): 1603–1606.
- [26] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 水热条件对锡林河流域典型草原退化群落土壤呼吸的影响. *植物生态学报*, 2003, 27 (2): 202–209.
- [28] 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 (6): 680–686.