

文章编号:1007-7588(2005)02-0096-07

# 矮嵩草草甸植被-土壤系统 CO<sub>2</sub> 的释放特征

吴琴<sup>1,3</sup>, 曹广民<sup>1</sup>, 胡启武<sup>1</sup>, 李东<sup>1</sup>, 王跃思<sup>2</sup>, 李月梅<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**采用静态箱-气相色谱法,对高寒矮嵩草草甸植被-土壤系统 CO<sub>2</sub> 释放特征研究结果表明:3 个处理(FC、F、HL) CO<sub>2</sub> 释放速率具有明显的日变化规律,日最大释放速率出现在 13:00 左右,最小释放速率在 4:00 前后,且白天的释放速率均大于夜间;CO<sub>2</sub> 释放速率也具有明显的季节变化特征,植物生长期释放速率明显高于枯黄期,且均表现为正排放;在整个观测期间(6 月 30 日~1 月 28 日)CO<sub>2</sub> 平均释放速率依次为 FC > F > HL,矮嵩草草甸植被-土壤系统 CO<sub>2</sub> 释放速率为 438.34 ± 264.12 mg/(m<sup>2</sup>·h) (FC),土壤呼吸速率为 313.20 ± 189.74 mg/(m<sup>2</sup>·h) (F),土壤微生物呼吸速率为 230.34 ± 145.46 mg/(m<sup>2</sup>·h) (HL),植物根系呼吸占土壤呼吸的 26.5%。植物、植物根系以及土壤微生物 CO<sub>2</sub> 释放速率与土壤 5 cm 温度呈极显著正相关关系,相关系数分别为 0.858、0.628 和 0.672 ( $P < 0.01$ )。整个系统呼吸、土壤呼吸与土壤 5 cm 温度可拟和为一指数方程,方程为  $y = 168.03e^{0.1086x}$  ( $R^2 = 0.8783$ ) 和  $y = 149.69e^{0.0745x}$  ( $R^2 = 0.8189$ )。

**关键词:**矮嵩草草甸;CO<sub>2</sub> 释放速率;土壤呼吸;根系呼吸

## 1 引言

CO<sub>2</sub> 作为大气中最主要的温室气体之一,因其强烈的温室效应而倍受关注<sup>[1]</sup>,尤其是导致大气 CO<sub>2</sub> 浓度进一步增加的各种过程研究更受重视。土壤是一个巨大的碳库,其有机碳库总贮量为 1 300 PgC ~ 2 000 PgC,是全球陆地植被碳库的 2 倍 ~ 3 倍,大气碳库的 2 倍左右<sup>[2~4]</sup>,通过土壤呼吸向大气中释放量高达 68 PgC,远远超过由化石燃料等燃烧向大气中排放的 CO<sub>2</sub> 量<sup>[5]</sup>,其微小的变动都可能会导致大气 CO<sub>2</sub> 浓度较大的改变。因此,土壤呼吸作用作为导致全球气候变化的关键生态过程,已经成为全球碳循环研究的核心问题<sup>[6]</sup>,这意味着研究不同类型陆地生态系统土壤 CO<sub>2</sub> 排放对于深入理解全球气候变化具有极为重要的意义。

草地在地球表面分布最为广泛,各类草地总面积为 44.5 × 10<sup>8</sup> hm<sup>2</sup>,共贮存了 761 PgC,其中 89.4% 贮存在土壤中,仅有 10.6% 贮存在植被当中<sup>[7]</sup>。由于目前草地是受到人类活动影响最为严重的生态系统之一,所以研究草地生态系统的碳循环与其影响

因素对于深入理解全球碳循环具有极其重要的意义<sup>[8,9]</sup>。青藏高原是全球海拔最高的一个独特地理单元,号称地球的“第三极”,其生态系统对全球气候变化极为敏感,在全球变化研究中具有重要地位<sup>[10~12]</sup>,可以说青藏高原是研究全球变化的一个理想的天然实验室。高寒草甸生态系统是青藏高原植被的主体,约占青藏高原面积的 33%<sup>[13]</sup>。近年来许多学者已对这类生态系统温室气体的排放作了大量的研究报道<sup>[14,15]</sup>,然而,目前这类研究很少将土壤呼吸区分为微生物呼吸和根系呼吸,从而使我们无法精确估测该系统的源汇效应,此外也缺乏对高寒草甸系统呼吸和土壤呼吸的比较研究。为此,本研究主要设置以下 3 个研究目标: 量化高寒草甸生态系统土壤微生物呼吸与根系呼吸; 比较高寒草甸系统呼吸、土壤呼吸以及土壤微生物呼吸; 分析温度等环境因子对它们的影响。通过对以上研究目标的回答,可以进一步明确青藏高原高寒草甸对大气温室气体的贡献以及在全球变化中的作用。

收稿日期:2004-07-26;修订日期:2004-12-10

基金项目:中国科学院知识创新重大项目(编号:KZCX1-SW-01-01B;编号:KSCXR-1-07);国家自然科学基金项目(编号:40471133);资源环境领域野外台站基金项目。

作者简介:吴琴(1978~),女,甘肃人,硕士,从事草地生态学研究。

E-mail: mtonalwu@163.com

通讯作者:曹广民, E-mail: caogm@mail.nwipb.ac.cn; Tel: 13195783571



图 1 实验区景观

Fig. 1 Experimental plot

## 2 材料与方法

### 2.1 实验区概况

实验设置在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(简称海北站,图 1),地处青藏高原东北隅的青海海北藏族自治州门源回族自治县境内,祁连山北支冷龙岭东段南麓坡地的大通河河谷西段,地理位置为 37°29' ~ 37°45' N, 101°12' ~ 101°23' E,海拔在 3 200 m 左右。属典型的高原大陆性气候,冷季漫长而寒冷,暖季短暂而湿润,年均气温 - 1.7℃,最冷月(1 月)平均气温为 - 17.4℃,最热月(7 月)平均温度为 9.6℃,绝对最高气温 < 25℃,绝对最低气温可降至 - 37℃。年降水量 618 mm,主要集中于 6 月 ~ 8 月,占年降水量的 80% 左右。植物生长季,雨热同期,有利于植物生长。

选择长期适应于高寒生态环境下形成的耐寒中生植物高寒矮嵩草草甸为研究对象,为冬春草场。其植物群落以矮嵩草 (*Kobresia humilis*)、羊茅 (*Festuca ovina*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、早熟禾 (*Poa spp.*)、恰草 (*Koeleria cristata*)、藏异燕麦 (*Helictotrichon tibeticum*)、小嵩草 (*Kobresia pygmaea*)、苔草 (*Carex*

*spp.*)、二柱头草 (*Scirpus distigmaticus*)、麻花苳 (*Gentiana straminea*)、线叶龙胆 (*Gentiana farreri*)、矮火绒草 (*Leontopodium nanum*)、美丽风毛菊 (*Saussurea superba*)、雪白萎陵菜 (*Potentilla nivea*) 等为优势种,植被覆盖度达 95% 以上。土壤为草毡寒冻锥形土,其理化性状如表 1。

表 1 草甸寒冻锥形土的基本理化性状

Table 1 Chemical and physical properties of the Mat Cryic Cambisols

土壤深度 (cm)	pH	容重 Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	有机碳 (%)	无机碳 (%)	胡敏酸 (g/kg)	富啡酸 (g/kg)	全氮 (%)	全磷 (%)	土壤 质地
0~8	8.000	0.880	7.270	0.500	4.410	5.440	0.532	0.094	中壤土
8~32	8.500	1.190	3.320	4.090	5.140	1.920	0.331	0.091	中壤土
32~71	8.700	1.160	2.650	5.650	5.140	1.920	0.271	0.086	中壤土
71~95	8.700	1.250	2.200	3.180	1.390	1.190	0.214	0.077	中壤土

### 2.2 研究方法

2.2.1 实验设置 选择地势较为平坦,植被分布较为均一的草地,分别设置了保持自然状态的草地(FC),齐地面剪除植物的地上部分并清除地表凋落物(此工作在每次实验的前一天进行)(F)和人工剔除了植物根系的裸地(实验前一个月进行)(FL)3 个处理,每个处理设置 3 次重复。

FC代表植物-土壤的系统呼吸;FJ为土壤呼吸,代表了土壤微生物对有机质的分解和植物根系呼吸两大部分;FL近似认为是土壤微生物的呼吸。

**2.2.2 气体样品的采集与分析** 气体样品的采集用静态箱式法,采样箱用进口304 K薄不锈钢板,用氩弧焊焊接制造,由地箱和顶箱组成。地箱为四面体(50 cm ×50 cm ×20 cm),上端有水槽,在实验开始前一个月将地箱埋入土中,周围以湿土压实,在实验期间固定不动,防止土壤扰动而影响测量结果。顶箱为正五面体(50 cm ×50 cm ×50 cm),箱顶壁安装2个搅拌风扇,箱侧面分别安装电源插头、取气接口和便携式温度计探头,并配有F46采气管线7 m,箱外面粘贴一层3 cm的泡沫隔热板,外覆白色防雨布,以防止太阳辐射下箱内温度的升高而影响观测结果。采样时地箱密封水槽内加水,使地箱与顶箱间的气路密封,切断箱内外空气的自由交换。

CO<sub>2</sub>采用HP4890D气相色谱仪进行分析,检测器为离子火焰化检测器(FID),CO<sub>2</sub>在检测前进入镍触媒转化器(Ni),经H<sub>2</sub>还原成CH<sub>4</sub>后被FID检测。色谱柱为SS-2 m ×2 mm ×Porapak Q(60/80),检测器的温度为200,色谱柱温度为55,载气为高纯N<sub>2</sub>,流量30 ml/min,H<sub>2</sub>为燃气,空气为助燃气,流速分别为30 ml/min和400 ml/min。

**观测频次:**植物生长季(6月~9月),每月一次日变化,从当日9:00开始至次日9:00结束(白天每2h测定1次,夜间每3h测定1次),每周二、四进行一次CO<sub>2</sub>释放测定;牧草枯黄期10月至次年1月,每月15日和30日左右进行一次CO<sub>2</sub>释放测定;除日变化外每次采样均在9:00至11:00点完成。用100 ml医用注射器在扣箱后0min、10min、20min、30min取样,并及时带回实验室进行分析。

**2.2.3 环境因素的测定** 在进行CO<sub>2</sub>释放测定的同时,用JM624便携式数字温度计测定土壤表层、土壤5 cm温度、箱内温度及气温。

**2.2.4 通量的计算**

$$F = \frac{V}{A} \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} \frac{dC_i}{dt} \quad (1)$$

式中:F(单位为mg/(m<sup>2</sup>·h))是被测气体排放通量;V(cm<sup>3</sup>)是箱体体积;A(cm<sup>2</sup>)是箱体底面积;dC<sub>i</sub>/dt(μL/(L·min))为采样箱内被测气体体积混合比浓度变化率;t(min)是采样时间;(g/L)是标准状态下的被测气体密度;T<sub>0</sub>(°C)和P<sub>0</sub>(bar)分别为标准

状况下的空气绝对温度和气压;P(bar)为采样地点的气压;T(°C)为采样时的绝对温度。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同处理 CO<sub>2</sub> 释放速率的日变化

植物生长季,高寒矮蒿草甸不同处理CO<sub>2</sub>释放速率的日变化具有相似趋势,均呈现明显的单峰型特点,其最大释放速率出现在13:00左右,最小值在凌晨4:00前后,4:00至13:00为CO<sub>2</sub>释放速率的上升期,13:00至次日4:00为下降期,白天均高于夜间(图2)。此结果与董云社等在内蒙古典型草地中的研究结果一致<sup>[16]</sup>,与张金霞等对草毡寒冻锥形土的研究结果相近<sup>[13]</sup>。

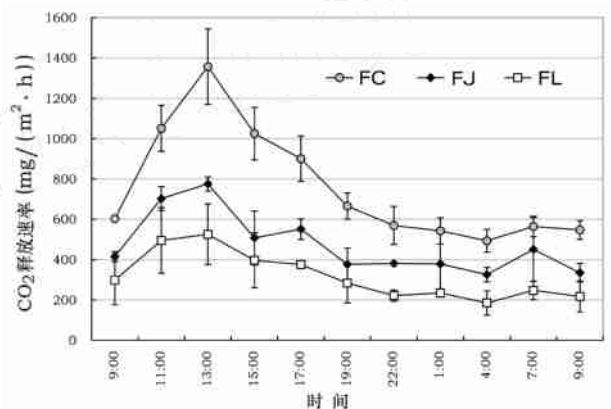


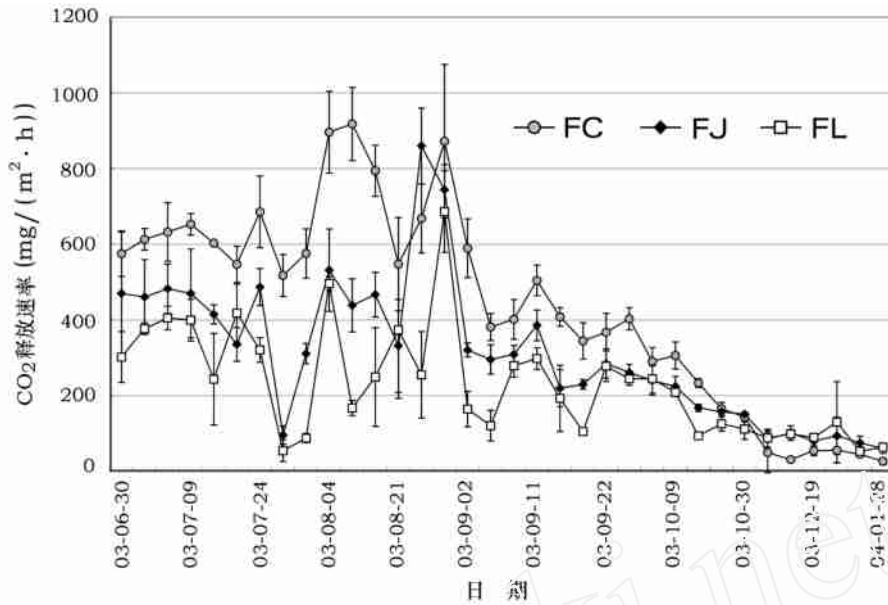
图2 高寒矮蒿草甸不同处理CO<sub>2</sub>释放速率的日变化

Fig. 2 Diurnal variation of CO<sub>2</sub> emission rates from different treatments in *Kobresia Humilis* meadow

以2003年7月19日9:00至次日9:00测定结果为例,高寒矮蒿草甸系统呼吸(FC)、土壤呼吸(FJ)、土壤微生物呼吸(FL)所释放的CO<sub>2</sub>日平均释放速率分别为756.52 ± 283.50 mg/(m<sup>2</sup>·h)、472.71 ± 149.28 mg/(m<sup>2</sup>·h)、316.48 ± 115.95 mg/(m<sup>2</sup>·h);最大值分别为1357.80 mg/(m<sup>2</sup>·h)、775.54 mg/(m<sup>2</sup>·h)、525.61 mg/(m<sup>2</sup>·h);最小值分别为493.88 mg/(m<sup>2</sup>·h)、325.83 mg/(m<sup>2</sup>·h)、185.42 mg/(m<sup>2</sup>·h)。FC、FJ、FL CO<sub>2</sub>释放速率白天分别为夜间的1.61倍、1.36倍和1.67倍,可见高寒草甸CO<sub>2</sub>释放速率的日较差较大。

#### 3.2 不同处理 CO<sub>2</sub> 释放速率的季节变化

高寒矮蒿草甸不同处理CO<sub>2</sub>释放速率亦具有明显的季节变化特征,三者的变化趋势基本一致;在整个观测期间,除个别实验日外,植物生长期CO<sub>2</sub>释放速率明显高于枯黄期,且均表现为正排放;CO<sub>2</sub>释放速率最高值均出现于8月份,最低值均出现在1月份;6月至8月下旬为CO<sub>2</sub>释放速率的上升期,

图 3 高寒矮嵩草甸不同处理 CO<sub>2</sub> 释放速率的季节变化Fig. 3 Seasonal variation of CO<sub>2</sub> emission rates from different treatments in *Kobresia humilis* meadow

而 8 月下旬至 1 月 CO<sub>2</sub> 释放速率持续下降(图 3)。各处理 CO<sub>2</sub> 释放速率最高值出现时间与该地区微生物数量的高峰期相吻合<sup>[17,18]</sup>。

FC 最大值出现在 8 月 7 日,为 917.89 mg/(m<sup>2</sup>·h),FJ、FL 的最大值分别在 8 月 26 日和 8 月 28 日,其值分别为 860.00mg/(m<sup>2</sup>·h)和 686.26mg/(m<sup>2</sup>·h);FC、FJ CO<sub>2</sub> 释放速率的最低值在 1 月 28 日,其值分别为 26.82mg/(m<sup>2</sup>·h)、61.53 mg/(m<sup>2</sup>·h),FL 的最低值在 1 月 7 日,为 53.06 mg/(m<sup>2</sup>·h)。这三者所出现最大值及最小值日期的差异,可能是由于植物生长状况和土壤微生物活性在时间上的不一致所引起。

很多研究证实土壤温度是影响土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率的一个重要变量<sup>[19]</sup>。我们在该区的以往的研究也表明土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率与 5 cm 深处的土壤温度显著相关<sup>[20]</sup>。这意味着测定期间土壤温度的高低直接影响到土衫 CO<sub>2</sub> 释放速率的大小。本研究中,土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率在生长季节多次出现排放的低谷,很可能是由实验期间频繁降水导致土壤温度降低所引起的;此外,降雨致使土壤水分的饱和、土壤含水量过多,水分占据了土壤孔隙,土壤气体不易产生或产生后易溶于水中,而 CO<sub>2</sub> 在水中的扩散常数很低(17.7 × 10<sup>4</sup> cm/s),这样土壤气体和大气很难进行交换<sup>[21]</sup>,从而导致较低的 CO<sub>2</sub> 释放速率,如在 7 月 30 日各处理都出现一个释放低谷,就是由在该实

验日前后连续降雨所致。

### 3.3 不同处理 CO<sub>2</sub> 释放的季节性差异

植物生长期、枯黄期以及整个观测期间,3 个处理 CO<sub>2</sub> 释放速率的季节变化范围、平均值、标准偏差、变异系数见表 2。

表 2 植物生长季、植物枯黄期以及整个观测期间不同处理 CO<sub>2</sub> 释放速率变化范围、平均值、标准偏差和变异系数Table 2 Variation range, mean value, standard deviation and variation coefficient of CO<sub>2</sub> emission rate from different treatments during the growing period, plant-drying period and observation period

测定日期	处理	变化范围 (mg/(m <sup>2</sup> ·h))	平均值 (mg/(m <sup>2</sup> ·h))	标准偏差 (SE)	变异系数 (%)
03-06-30 ~ 03-09-24	FC	344.71 ~ 917.89	586.97	167.52	28.54
	FJ	96.29 ~ 860.00	400.40	166.44	41.57
	FL	54.90 ~ 686.26	283.57	144.98	51.13
03-10-05 ~ 04-01-28	FC	26.82 ~ 306.20	127.56	106.89	83.80
	FJ	61.53 ~ 239.93	130.86	61.55	47.04
	FL	53.06 ~ 244.67	119.04	58.60	49.23
03-06-30 ~ 04-01-28	FC	26.82 ~ 917.89	438.34	264.12	60.25
	FJ	61.53 ~ 860.00	313.20	189.74	60.58
	FL	53.06 ~ 686.26	230.34	145.46	63.15

可见,整个观测期间三者的变异系数都较大,FC 枯黄期的变异系数明显高于生长季,而 FJ、FL 的变异系数在植物生长季与枯黄期的差异不十分显

著;植物生长季及整个观测期间  $\text{CO}_2$  平均释放速率依次为  $\text{FC} > \text{FJ} > \text{HL}$ , 然而植物枯黄期 3 个处理  $\text{CO}_2$  释放速率比较接近, 这可能是由于在枯黄期植物的呼吸几乎停止或很小的缘故。

#### 4 讨论

陆地生态系统  $\text{CO}_2$  释放包括植物地上部分呼吸和土壤呼吸两部分, 严格意义上的土壤呼吸是指未受扰动土壤中产生  $\text{CO}_2$  的所有代谢作用, 它包括 3 个生物学过程(土壤微生物呼吸、根系呼吸和土壤动物呼吸)和一个非生物学过程(含碳物质的化学氧化作用)。而一般意义上的土壤呼吸则主要包括土壤微生物对有机质的分解和植物根系呼吸两大部分<sup>[22]</sup>。Rochette P 等指出综合考虑各种因素对不同方法的影响, 根去除法是区分土壤各组分呼吸的一种比较切实可行的方法<sup>[23]</sup>。本实验采用其方法来区分植物-土壤各组分  $\text{CO}_2$  释放速率的差异。

高寒矮蒿草草甸植物生长盛期(7月~8月), 植物-土壤系统  $\text{CO}_2$  平均释放速率为  $680.30 \pm 135.71 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  (FC), 土壤呼吸速率为  $459.40 \pm 183.09 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  (FJ), 土壤微生物呼吸速率为  $323.99 \pm 165.67 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  (HL); 则植物地上部分的呼吸为  $220.90 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 占植被-土壤系统呼吸的 32.5%, 植物根系的呼吸速率为  $135.41 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 占土壤呼吸速率的 29.5%, 土壤微生物呼吸占土壤

呼吸的 70.5%。而在整个观测期间(6月30日~1月28日), 植物-土壤系统  $\text{CO}_2$  释放速率为  $438.34 \pm 264.12 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 土壤呼吸速率为  $313.20 \pm 189.74 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 土壤微生物呼吸速率为  $230.34 \pm 145.46 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ; 则植物根系呼吸速率为  $82.86 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 占土壤呼吸的 26.5%, 土壤微生物呼吸占土壤呼吸的 73.5%。Silvola 的研究结果指出根系呼吸可占到土壤呼吸的 10%~40%<sup>[24]</sup>, 我们的研究结果在其范围之内。根系呼吸占土壤呼吸的比例在北美高草原群落为 40%<sup>[25]</sup>, 印度热带草地群落 36.4%<sup>[26]</sup>, Coleman 等采用土壤碳收支平衡法算得次生 Broomsedge 草原群落根系呼吸占土壤呼吸的 24%~35%<sup>[27]</sup>, 研究结果与上述结果相近。

FC 与 HL 之间的差异为整个系统植物的呼吸, FJ 与 HL 之间的差异作为植物根系的呼吸, HL 近似作为土壤微生物的呼吸。经过分析整个植物、植物根系以及土壤微生物  $\text{CO}_2$  的释放速率与土壤 5cm 温度具有极显著正相关关系, 相关系数分别为 0.858、0.628 和 0.672 ( $P < 0.01$ )。整个系统呼吸、土壤呼吸(包含植物根系呼吸和土壤微生物呼吸)与土壤 5cm 温度可拟和为一指数方程(图 4), 方程为  $y = 168.03e^{0.1086x}$  ( $R^2 = 0.8783$ ) 和  $y = 149.69e^{0.0745x}$  ( $R^2 = 0.8189$ )。

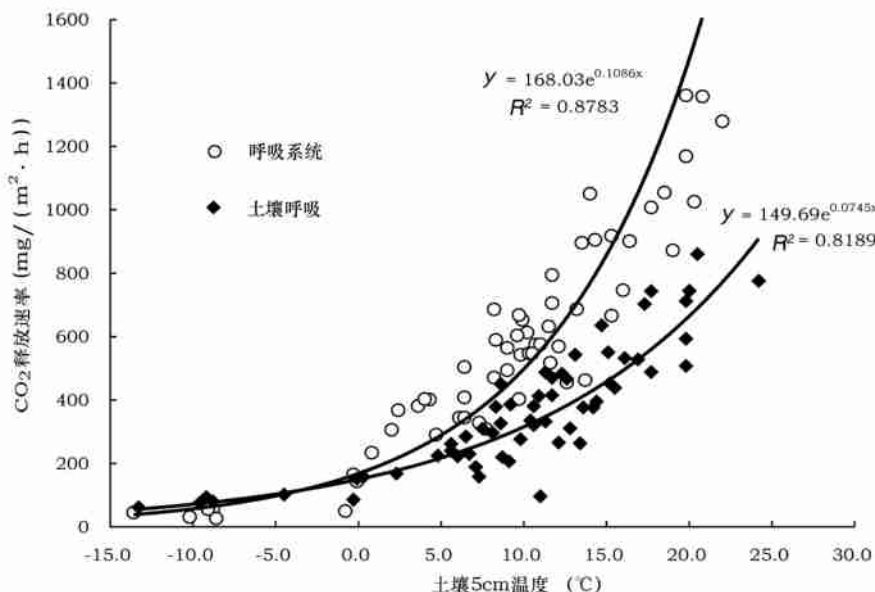


图 4 矮蒿草草甸整个系统、土壤呼吸与土壤 5cm 温度的关系

Fig. 4 Relationship between soil temperature at 5cm depth and  $\text{CO}_2$  emission rates from the whole system and soil in *Kobresia Humilis* meadow

## 参考文献 (References):

- [1] Rodhe A. Comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect[J]. *Science*, 1990, 248:1 217 ~ 1 219.
- [2] Bolin B, Degens E T. et al. The global biogeochemical carbon cycle [A]. In: *The Global Carbon Cycle*, SCOPE 13 [C]. Chichester: John Wiley & Sons, 1979. 1 ~ 56.
- [3] Post, W.M. Organic carbon in soil and the global carbon cycle[A]. In: *The Global Carbon Cycle*, NATO ASI Series [C]. Edited by M. Heimann. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993. 277 ~ 302.
- [4] Post, W.M. et al. Soil carbon pools and world life zones[J]. *Nature*, 1982, 298:156 ~ 159.
- [5] Fernandez IJ. et al. Soil carbon dioxide characteristics under different forest types and after harvest[J]. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 1993, 57:1 115 ~ 1 121.
- [6] 崔晓勇, 阵佐忠, 阵四清. 草地土壤呼吸研究进展[J]. *生态学报*, 2001, 21 (2): 316 ~ 325. [CUI Xiao-yong, CHEN Zuozhong, CHEN Si-qing. Progress in research on soil respiration of grasslands[J]. *Ecologica Sinica*, 2001, 21 (2): 316 ~ 325.]
- [7] Atjay G L, Ketner P, Duvegeaud P. Terrestrial primary production and phytomass[A]. In: Bolin B, Degens E T, Kempe S, et al eds. *The Global Carbon Cycle SCOPE 13* [C]. Chichester: John Wiley & Sons, 1979. 129 ~ 182.
- [8] Parton W J, Scurlock J M O, Ojima D S, et al. Observation and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7: 785 ~ 809.
- [9] Ojima D S, Parton W J, Schimel D S. Modeling the effects of climate and CO<sub>2</sub> in grassland storage of soil C[J]. *Water Air Soil Pollution*, 1993, 70: 643 ~ 657.
- [10] Li C Q, Tang M C. The climate change of Qinghai-Tibet plateau and its neighborhood in the recent 30 years[J]. *Plateau Meteorology*, 1988, 5 (4): 332 ~ 341.
- [11] Tang M C, Li C Q, Zhang J. The climate change of Qinghai-Tibet plateau and its neighborhood[J]. *Plateau Meteorology*, 1986, 7 (1): 394 ~ 95.
- [12] 李文华, 周兴民. 青藏高原生态系统及优化利用模式[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998. 315 ~ 382. [LI Wen-hua, ZHOU Xing-min. *Ecosystems of Qinghai-Tibetan Plateau and Approach for Their Sustainable Management* [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998. 315 ~ 382.]
- [13] 张金霞, 曹广民, 周党卫, 等. 草毡寒冻锥形土 CO<sub>2</sub> 释放特征[J]. *生态学报*, 2001, 21 (4): 544 ~ 549. [ZHANG Jin-xia, CAO Guang-min, ZHOU Dang-wei. Carbon dioxide emission of Mat cryosol soil in the Haibei alpine meadow ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (4): 544 ~ 549.]
- [14] 高晓清. 青藏高原北部若干地点 10 年尺度气候变化的初步分析[A]. *青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究* [C]. 北京: 科学出版社, 1994. 297 ~ 303. [GAO Xiao-qing. Primary analysis on 10 years-scale climate change in some locations in the north of Tibetan-plateau[A]. In: *Study on Formation, Evolution, Environment Variation of Tibetan Plateau and Its Ecosystem* [C]. Beijing: Science Press, 1994. 297 ~ 303.]
- [15] 温玉璞, 汤洁, 邵志清. 瓦里关山大气 CO<sub>2</sub> 浓度变化及地表排放影响的研究[J]. *应用气象学报*, 1997, 8 (2): 129 ~ 136. [WEN Yu-pu, TANG Jie, SHAO Zhi-qing. A study of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration variations and emission from the soil surface at Mt. Waliguan[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1997, 8 (2): 129 ~ 136.]
- [16] 董云社, 张申, 齐玉春, 等. 内蒙古典型草地 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 通量的同时观测及其日变化[J]. *科学通报*, 2000, 45 (3): 318 ~ 322. [DONG Yun-she, ZHANG Shen, QI Yu-chun, et al. Simultaneous observation and Diel Variation of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> fluxes from typical grassland in the Inner Mongolia[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45 (3): 318 ~ 322.]
- [17] 朱桂茹, 李家藻, 唐诗声, 等. 海北高寒草甸生态系统定位站土壤微生物学的研究[A]. *高寒草甸生态系统* [C]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982. 144 ~ 162. [ZHU Gui-ru, LI Jia-zao, TANG Shi-shen, et al. Microbiological studies in soil at the Haibei research station of alpine meadow ecosystem[A]. *Alpine Meadow Ecosystem* [C]. Lanzhou: Gansu People's Press, 1982. 144 ~ 162.]
- [18] 王启兰, 李家藻. 高寒草甸生态系统不同植被土壤真菌生物量的测定[A]. *高寒草甸生态系统(第 3 集)* [C]. 北京: 科学出版社, 1991. 267 ~ 274. [WANG Qi-lan, LI Jia-zao. Determination of fungal biomass in soil of different vegetation of alpine meadow ecosystem[A]. *Alpine Meadow Ecosystem(3)* [C]. Beijing: Science Press, 1991. 267 ~ 272.]
- [19] Braswell B. H., Schimel D. S. and Linder E., et al. The response of global terrestrial ecosystems to inter-annual temperature variability [J]. *Science*, 1997, 278: 870 ~ 872.
- [20] Guangmin Cao, Yanhong Tang, Wenhong Mo., et al. Grazing intensity alters soil respiration in an alpine meadow on the Tibetan plateau [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36: 237 ~ 243.
- [21] 张金霞, 曹广民, 周党卫, 等. 退化草地暗沃寒冻锥形土 CO<sub>2</sub> 释放的日变化和季节动态[J]. *土壤学报*, 2001, 38 (1): 32 ~ 40. [ZHANG Jin-xia, CAO Guang-min, ZHOU Dang-wei, et al. Diel and seasonal changes of carbon dioxide emission from Mollic-Cryic Cambisols on degraded grassland[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38 (1): 32 ~ 40.]
- [22] Singh J S, Gupta W H. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems[J]. *Bot Rev*, 1997, 43: 449 ~ 529.
- [23] Rochette P, Flanagan L B. Quantifying rhizosphere respiration in a corn crop under field conditions[J]. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 1997, 61: 466 ~ 474.
- [24] Silvola J, Alm J, Ahlholm U. The effect of plant roots on CO<sub>2</sub> release from peat soil[J]. *Suo.*, 1992, 43: 259 ~ 262.
- [25] Kucera, C. and Kirkham, D. Soil respiration studies in tall-grass prairie in Missouri[J]. *Ecology*, 1971, 52: 912 ~ 915.
- [26] Upadhyaya, S. D. and Singh, V. P. Microbial turnover of organic matter in a tropical grassland soil[J]. *Pedobiologia*, 1981, 1: 100 ~ 109.
- [27] Coleman, D. C. Soil carbon balance in a successional grassland[J]. *Oikos*, 1973, 24: 195 ~ 199.



## A Primary Study on CO<sub>2</sub> Emission from Soil-Plant Systems of *Kobresia Humilis* Meadow

WU Qin<sup>1,3</sup>, CAO Guang-min<sup>1</sup>, HU Qi-wu<sup>1</sup>, LI Dong<sup>1</sup>, WANG Yue-si<sup>2</sup>, LI Yue-mei<sup>1</sup>

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, CAS, Xining 810001, China;

2. Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China;

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Elevated atmospheric greenhouse gases concentrations are major causes of global warming. Due to its high elevation and special geographical location, the Tibetan Plateau is very sensitive to the climate change. As one of the most important ecosystems in the Plateau, alpine meadow has been playing an important role in carbon balance. There are many reports about CO<sub>2</sub> emission from such ecosystem, however, simultaneous study on ecosystem respiration and soil respiration seldom occurred. In addition, for the chamber method, accurate estimation of NEP (net ecosystem productivity) needs a separation of root respiration and soil microbial respiration from total soil respiration. In this study, three treatments FC, FJ, FL, (FC represents plant-soil system treatment, FJ is aboveground plant exclusion treatment, and FL is whole plant removal treatment) were set to study CO<sub>2</sub> emissions from alpine *Kobresia humilis* meadow at Haibei research station, CAS from 30 June of 2003 to 28 January of 2004, using static chamber-GC method. Results indicate that CO<sub>2</sub> emission rates from different treatments showed clear diurnal variation and seasonal dynamics, with maximum rate appeared around 13:00, and the minimum rate around 4:00; rate of CO<sub>2</sub> emission in the daytime was greater than that in the night, and higher in the growing period than that in the plant-drying period. During the experiment period, CO<sub>2</sub> emission rates varied with different treatments showing an order of FC > FJ > FL. The total respiration rate of soil-plant system (FC) was  $438.34 \pm 264.12 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , soil respiration rate (FJ) was  $313.20 \pm 189.74 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , soil microbial respiration rate (FL) approximated  $230.34 \pm 145.46 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . By comparison, root respiration rate approximated  $82.86 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , accounting for 26.5 percent of soil respiration. In addition, there was a significant correlation between soil temperature at 5 cm depth and respiration rates of the total plant, plant roots and soil microbe. The correlative coefficient is 0.858, 0.628 and 0.672 ( $P < 0.01$ ) respectively. The separation of root respiration from total soil respiration, as practiced in this study, will contribute significant to the chamber method NEP estimation of alpine meadow.

**Key words:** Alpine meadow; CO<sub>2</sub> emission; Soil respiration; Root respiration