

文章编号:1000-3037(2001)02-0152-09

## 青藏高原东部生态系统土壤碳排放

刘允芬<sup>1</sup>, 欧阳华<sup>1</sup>, 曹广民<sup>2</sup>, 罗辑<sup>3</sup>, 张宪洲<sup>1</sup>, 赵新全<sup>2</sup>, 杨清伟<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院 西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001;  
3. 中国科学院、水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:**在青藏高原探讨不同生态系统碳平衡规律及其影响因子并揭示其对全球含碳温室气体变化的影响与响应,有重要的现实意义和理论价值。分别在海北高寒草甸生态站、贡嘎山森林生态站和拉萨农业生态站用静态箱法进行了土壤CO<sub>2</sub>排放的试验研究。土壤CO<sub>2</sub>排放速率日平均值为草甸 215.87~329.68mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>, 森林 713.72~2102.56mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>, 农田 913.05~1135.83mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>。土壤碳排放速率日变化,在农田和高寒草甸区表现为单峰型,均以地方时8:00~16:00最高,0:00~8:00最低。草甸、农田土壤碳排放随着牧草、作物生长发育的加速而逐渐增加,越接近成熟(或枯黄期)其值越低,林区以6~9月的生长旺季为最高。土壤碳排放与温度之间有良好的相关性,温度是影响土壤碳排放的重要因子,全球变暖有可能引起高原土壤碳排放的增加。

**关键词:**青藏高原;生态系统;土壤CO<sub>2</sub>排放速率

中图分类号:S181

文献标识码:A

### 1 引言

全球变化已成为人类最关心的问题,它的核心是气候变化,含碳温室气体浓度增加所加剧的地球温室效应是气候变化的主要原因<sup>[1-2]</sup>。二氧化碳的生物地球化学循环涉及大气圈、陆地生物圈、水圈和岩石圈,对于百年以下的时间尺度,陆地生物圈对碳循环有意义的是生长着的植物和土壤,即通过形成生物量和存贮更多的土壤碳来对大气CO<sub>2</sub>浓度的增加作出响应,从而平衡全球碳预算。土壤呼吸作为碳的主要输出途径和CO<sub>2</sub>的重要源(汇),对于它进行精确、系统的测定已成为全球变化研究中的关键问题之一,这需要经过长期定点试验。青藏高原在三极中属于人类活动对自然生态系统影响相对剧烈的地区,具有独特的自然条件和人文特征,大气中各种成分的密度仅为平原的2/3,高原植物表观初始光能利用率为内陆平原地区的约2/3<sup>[3]</sup>,土壤CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>等的排放速率亦与平原有较大区别<sup>[4]</sup>,高原生态系统碳含量及其动态变化独具特色。在这一区域,探讨高原农业生态系统碳排放规律并揭示其对全球含碳温室气体源、汇变化的影响与响应,有重要的现实意义和理论价值。本文主要探讨CO<sub>2</sub>排放速率的时空分布特征。

### 2 研究地区范围及主要研究内容和方法

#### 2.1 研究地区范围及环境特点

本文讨论的研究范围在青藏高原东部地区,包括西藏东部,青海全部,四川西部甘孜藏族自治州、阿坝

收稿日期:2000-06-30;修订日期:2000-09-20。

基金项目:国家基础研究发展规划(G1998040800)和中国科学院青藏高原研究项目(KZ951-A1-204;KZ95T-06)资助。

第一作者简介:刘允芬(1946-),女,天津市人,研究员,博士,农业气象专业,主要研究方向为农业生态系统对全球变化的贡献与响应。

藏族自治州和凉山彝族自治州及雅安的部分地区,云南迪庆藏族自治州和甘肃甘南藏族自治州部分地区,大约 90°~105°E, 27°~39°N 范围内的生态系统(包括农田、草地和森林)。从气候带看,该区包括高原亚寒带和高原温带,地形地势复杂,气候千差万别:太阳辐射能为全国高值区,全年大部分地区可达  $63 \times 10^8 \sim 80 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ ;气温为全国低值区,年平均气温在  $-4 \sim 9$ ,最热月平均气温  $6.2 \sim 19.4$ ,最冷月平均气温  $-14.5 \sim 1.0$ ;400 mm 等雨量线自东北至西南穿过本区,年降水量  $18 \sim 800 \text{ mm}$ ,相差极为悬殊。区内的低海拔河谷、盆地地区,种植业较为发达,是我国一季喜凉作物单产最高的地区;区域的东南部适于林木生长,是我国重要的后备材基地;高原主体是天然草场为主的牧区。土壤  $\text{CO}_2$  排放野外试验观测在海北高寒草甸生态站(37°37'N, 101°19'E, 海拔 3 200 m)、贡嘎山森林生态站(29°39'N, 102°00'E, 海拔 1 640~3 000 m)和拉萨农业生态站(29°41'N, 91°20'E, 海拔 3 688m)进行,3 站主要环境特征见表 1。

表 1 青藏高原东部地区代表站点主要气候、土壤特征

Table 1 The main character of climate and soil in the representative stations of eastern Qinghai-Tibet Plateau

站名	海拔高度 (m)	土壤类型	0~10cm 土壤 有机质(%)	平均气温(°C)			年降水 (mm)	试验地点 主要植被
				年	7月	1月		
海北站	3 200	寒冻雏形土	7.0~20.00	-1.7	9.8	-15.1	589	高草、金露梅
贡嘎山站	3 000	山地棕色暗针叶林土	0.18~6.74	4.0	12.7	-4.5	1 950	峨眉冷杉林
拉萨站	3 688	灌丛草原土	0.76~1.56	7.5	15.3	-1.3	430	冬小麦、春青稞

## 2.2 主要研究方法

采用定位观测与综合分析相结合、野外试验与模型模拟相结合的方法,研究高原生态系统主要植被类型土壤  $\text{CO}_2$  气体排放的时空分布。在 3 个定位站的野外试验统一采用静态箱法直接测定、分析。

(1) 土壤气体采集器:由箱体(地上部分)和箱底座(地下部分)组成,均用玻璃纤维增强塑料一次成型。桶状箱体内径 245mm,高 300mm,圆周和顶部封闭,底部开口;顶部除有气管可与红外  $\text{CO}_2$  分析仪联接外,还安装 2 个由 12VDC 电池供电的  $\varnothing 50 \text{ mm}$  的电风扇。圈状箱底座内径 250mm、高 100mm(下部 50mm 为单圈,上部 50mm 为  $\varnothing 50 \text{ mm}$  的槽状圈)。

(2) 土壤气体分析:用 CI-301PS 便携式红外  $\text{CO}_2$  气体分析仪的闭路系统全自动直接测定、计算。仪器量程范围  $0 \sim 1 000 \mu\text{L L}^{-1}$ ,响应时间 1 秒,分辨率  $0.1 \mu\text{L L}^{-1}$ ,0 点漂移  $1 \mu\text{L L}^{-1}$ (自动校准),跨度漂移  $2 \mu\text{L L}^{-1} / 48 \text{ h}$ (25°C),水汽干扰为  $0.2 \mu\text{L L}^{-1} / 0 \mu\text{L L}^{-1}$ 、 $1.5 \mu\text{L L}^{-1} / 350 \mu\text{L L}^{-1}$ 、 $3.0 \mu\text{L L}^{-1} / 1 000 \mu\text{L L}^{-1}$ 。试验前分别在北京和高原用  $\text{CO}_2$  标准气对仪器进行了严格的标定和预试验。预试验的结果表明,在扣箱后短时间(比如 15 min)内土壤排放速率随时间呈线性变化( $P < 0.001$ )。试验过程中每次测定的前一天晚上都用标准气对仪器进行标定。仪器本身具有自动调 0 功能。

(3) 土壤  $\text{CO}_2$  气体排放的测定、分析:每个试验点设置 3 个重复观测。每半月进行 1d 野外连续观测,测定日自当日 21:00 至次日 20:00 每 2h 观测 1 次。测定前一天将气体采集器底圈埋入被测土壤 5cm 深处,将采集器底圈内植株地上部分齐根剪掉,外圈用土砸实封严。试验前底圈水槽中注入清水。试验时将土壤气体采集器与红外  $\text{CO}_2$  分析仪联接在现场直接测定。每次测定时将气体采集器箱体罩于底圈内,每次扣箱测定约 10min,由仪器自动计算该时间间隔内  $\text{CO}_2$  单位时间的增量并以此代表该时次土壤  $\text{CO}_2$  排放通量。仪器测定的  $\text{CO}_2$  是以体积相对浓度显示的,测定后自动用实测气压、气温资料换算为  $\text{CO}_2$  密度值。计算公式为:

$$Q_t = \frac{273.15}{T_a} \times \frac{P}{1.013} \times \frac{1}{22.41} \times \frac{10\,000 \times V}{A} \times \frac{C}{t}$$

式中,  $Q_t$  为  $t$  时土壤  $\text{CO}_2$  排放通量( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );  $V$  为箱子体积( $\text{dm}^3$ );  $t$  为时间间隔(sec);  $T_a$  为空气温度(K);  $P$  为大气压力(bar); 22.41 为标准状况(温度 273.15K, 气压 1.013bar)下的摩尔体积(litres/mol); 10 000 为  $\text{cm}^3$  转换成  $\text{m}^3$  的系数;  $C/t$  是观测时间内  $\text{CO}_2$  浓度随时间变化的直线斜率,正值表示排放,负值表示吸收;  $C$  为时间间隔  $t$  里箱内  $\text{CO}_2$  浓度增量(ppm);  $A$  为被测土壤面积( $\text{m}^2$ )。

(4) 环境因子的测定: 土壤 CO<sub>2</sub> 气体排放测定的同时, 测定试验样地地温 (0cm、5cm、10cm、15cm、20cm) 及箱体温度; 大气压力、气温、湿度等要素值取自各生态站自动气象观测记录; 测定日上午在每个试验样地取土用以分析土壤化学成分并测定土壤含水百分率。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同生态系统土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率特点及异同

对海北站、贡嘎山站、拉萨站的试验结果分析表明, 不同植被覆盖下的土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率瞬时值为:

表 2 不同植被覆盖下土壤碳排放速率瞬时值比较

Table 2 Comparison of soil CO<sub>2</sub> emission flux under different vegetation covers

(单位: mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>)

植 被	平均值	标准偏差	最小值	最大值	样本数	排序	观测地点	统计时间
退化草甸	256.20	166.34	12.05	806.88	163	1	海北站	1998.5~1999.4
退化灌丛	350.81	218.57	9.31	987.66	158	2	海北站	1998.5~1999.4
蒿草草甸	352.17	270.47	12.80	1 141.38	175	3	海北站	1998.5~1999.4
灌丛草甸	400.09	242.90	23.25	958.39	155	4	海北站	1998.5~1999.4
撂荒地	612.25	249.51	195.44	1 291.03	71	5	拉萨站	1998.5~1998.9
幼树林	691.95	513.25	88.70	4 352.83	255	6	贡嘎山站	1998.5~1998.12
幼树林	703.61	517.08	134.64	2 379.17	92	7	贡嘎山站	1999.4~1999.9
春青稞	922.39	501.96	299.90	3 151.10	71	8	拉萨站	1998.5~1998.9
冷杉林	965.77	687.36	7.92	3 134.74	283	9	贡嘎山站	1998.5~1998.12
冬小麦	971.73	424.67	302.37	2 789.69	71	10	拉萨站	1998.5~1998.8
冬小麦	1 064.90	932.60	76.56	4 276.17	92	11	拉萨站	1999.11~1999.8
采伐迹地	1 302.96	553.45	362.74	2 832.19	103	12	贡嘎山站	1999.4~1999.9

表 3 不同植被覆盖下土壤碳排放速率日平均值比较

Table 3 Comparison of daily mean of soil CO<sub>2</sub> emission flux under different vegetation covers

(单位: mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>)

植 被	平均	标准偏差	最小值	最大值	计数	排序	观测地点	统计时间
退化蒿草	215.87	144.47	44.24	501.49	17	1	海北站	1998.5~1999.4
蒿草草甸	296.03	225.49	49.06	703.08	18	2	海北站	1998.5~1999.4
退化灌丛	296.37	206.44	31.84	712.61	17	3	海北站	1998.5~1999.4
灌丛草甸	329.68	231.41	45.94	707.07	17	4	海北站	1998.5~1999.4
撂荒地	609.71	200.90	411.63	946.31	6	5	拉萨站	1998.5~1998.8
幼树林	713.72	361.47	185.33	1 633.63	43	6	贡嘎山站	1998.5~1998.12
幼树林	815.17	482.06	191.66	1 680.62	24	7	贡嘎山站	1999.4~1999.9
春青稞	913.05	420.65	509.56	1 701.96	6	8	拉萨站	1998.5~1998.9
冬小麦	965.24	373.63	519.20	1 621.64	6	9	拉萨站	1998.5~1998.9
冬小麦	973.85	735.94	108.17	2 106.61	11	10	拉萨站	1998.11~1999.8
冷杉林	1 001.19	599.51	205.52	2 183.94	37	11	贡嘎山站	1998.5~1998.12
冬青稞	1 135.83	947.38	106.50	2 229.80	9	12	拉萨站	1998.5~1999.8
采伐迹地	1 411.08	1 156.36	80.15	3 920.40	27	13	贡嘎山站	1998.5~1998.12
采伐迹地	1 459.13	520.82	698.15	2 465.50	24	14	贡嘎山站	1999.4~1999.9
冷杉林	2 102.56	1 156.97	385.97	4 428.86	26	15	贡嘎山站	1999.4~1999.9

草甸 256.20~400.09 mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>, 森林 691.95~1 302.96 mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>, 农田 922.39~1 064.90mg CO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>。土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率日平均值为:草甸 215.87~329.68 mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>,森林 713.72~2 102.56 mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>,农田 913.05~1 135.83mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>。从近 1 年多的试验看,土壤碳排放速率从高到低排列为:森林>农田>草甸(详见表 2、3)。

### 3.2 土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率日变化

土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率日变化,在高寒草甸和农田表现为较明显的单峰型:峰值一般出现在地方时 12 00~16 00,谷值出现在地方时凌晨 5 00 前后,这与 Steven<sup>[5]</sup>和 Seiko Osozawa<sup>[1]</sup>研究结论一致。在林区,采伐迹地的土壤碳排放率在日内有可能出现多个小峰,演替林和成树林在日内会出现多个小波动。从农田、草甸较明显的日变化看,与植被光合作用及根呼吸的强度变化有关(图 1~2)。

我们将一天平分为 3 个时段计算各时段土壤 CO<sub>2</sub> 排放占全天排放总量的百分比,草甸、农田均以地方时 8 00~16 00 为最高(高于 38%),0 00~8 00 最低(仅在 25%左右),这显然有利于作物的光合固碳;而林区 3 个时段占全天排放总量百分比的分布规律不明显(图 3~5)。

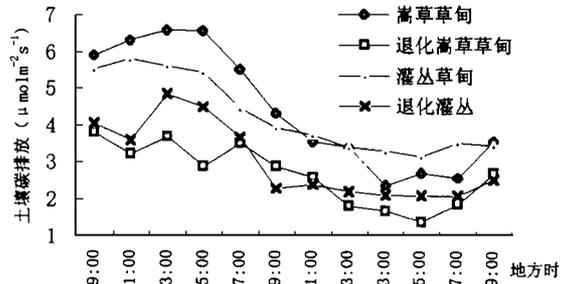


图 1 海北站 1998 - 07 - 16 土壤碳排放日变化  
Fig. 1 Diurnal variation of soil CO<sub>2</sub> emission at Haibei station on July 16, 1998

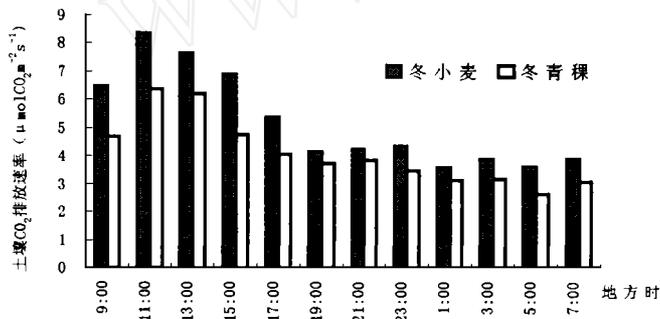


图 2 拉萨站 1999 - 05 - 09 农田土壤碳排放日变化  
Fig. 2 Diurnal variation of farmland soil CO<sub>2</sub> emission at Lhasa station on May 9, 1999

### 3.3 土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量日合计及其日进程

根据 1998 年 5 月至 1999 年的观测,按式  $Qa = \int_{t_1}^{t_2} Q_t dt$  计算了土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量日合计(式中, Qa 为单位面积土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量日合计, t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub> 分别为测定日的开始、结束时间(h); Q<sub>t</sub> 为相应时次的 CO<sub>2</sub> 排放通量)。测定期间土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量日合计分别是高寒草甸 7.64~171.03kg hm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;林区为

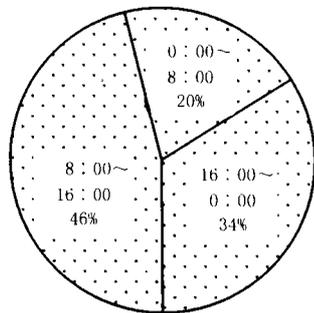


图 3 1998 - 08 - 16 海北站嵩草草甸分时段土壤碳排放占日合计百分比  
Fig. 3 Percentage of periodic soil CO<sub>2</sub> emission in the total daily value of the *Kobresia humilis* meadow at Haibei station on Aug. 16, 1998

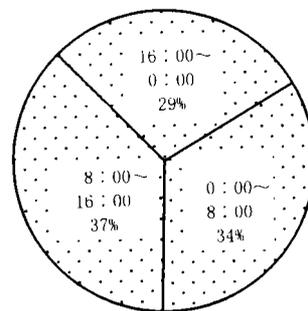


图 4 1998 - 07 - 25 贡嘎山采伐迹地分时段土壤碳排放占日合计百分比  
Fig. 4 Percentage of periodic soil CO<sub>2</sub> emission in the total daily value of the cut remain site at Gongga Mountain station on July 25, 1998

44.48~1062.93kg $\text{hm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ;农田 98.79~505.34kg $\text{hm}^{-2}\text{d}^{-1}$ 。比较不同植被覆盖下土壤碳排放通量日合计为:森林>农田>草甸(表4)。

草甸、农田土壤  $\text{CO}_2$  排放随着牧草、作物生长发育的加速有逐渐增加的趋势:自返青后逐渐增加,到抽穗拔节期达到最大,越接近成熟(或枯黄期)其值越低,收割后低于生长季。林区则以6~9月的生长旺季为最高(图6~8)。对不同植被而言,灌丛草甸:草盛期>返青期>枯黄期;蒿草草甸:草盛期>枯黄期>返青期;冬小麦:抽穗期>拔节期>乳熟期>成熟期>返青期>越冬期;青稞:抽穗期>拔节期>越冬期;林区:生长旺季的6~9月高于其它季节。比较各月碳排放通量,高寒草甸区蒿草草甸为7月>8月>6月>9月>5月,灌丛草甸为8月>7月>6月>9月>5月;峨眉冷杉林区采伐迹地为9月>8月>6月>7月>5月>10月>11月,成树林为8月>7月>9月>6月>5月>10月>11月,演替林为5月>7月>8月>6月>9月>10月>11月;农田冬小麦为6月>8月>5月>9月>11月>12月,春青稞为6月>5月>8月>9月。分析原因,返青期开始随着太阳高度角增大,气温、地温逐渐回升,土壤冻层内水分向地表迁移,因而土壤水热条件好转,植物根系和土壤微生物恢复生长,土壤呼吸开始增强;6~8月份水热同期达到高峰,植被进入生长盛期,根系生长和土壤微生物活动亦随之加速,土壤  $\text{CO}_2$  排放达最大值;8月下旬以后,太阳高度角降低,气温、地温逐渐下降,土壤根系和微生物活动减弱, $\text{CO}_2$  释放强度逐渐减小。

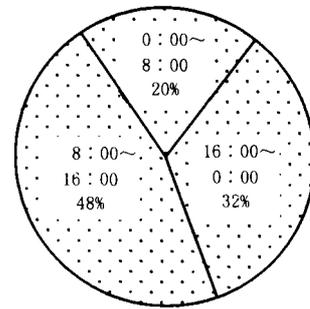


图5 1998年8月22日拉萨冬小麦田各时段土壤碳排放占日合计百分比

Fig. 5 Percentage of periodic soil  $\text{CO}_2$  emission in the total daily value of the winter wheat fields at Lhasa station on Aug. 22, 1998

表4 不同植被覆盖下土壤碳排放速率日合计值比较

Table 4 Comparison of daily total value of soil  $\text{CO}_2$  emission under different vegetation covers

(单位:  $\text{kgCO}_2\text{hm}^{-2}\text{d}^{-1}$ )

植被	测定日期	平均	标准偏差	最小值	最大值	计数	排序
退化蒿草	1998.5~1999.4	51.81	34.67	10.62	120.36	7	1
蒿草草甸	1998.5~1999.4	71.05	54.12	11.78	168.74	18	2
退化灌丛	1998.5~1999.4	71.13	49.55	7.64	171.03	17	3
灌丛草甸	1998.5~1999.4	79.12	55.54	11.03	169.70	17	4
撂荒地	1998.5~1998.9	146.31	48.23	98.79	227.11	6	5
幼树林	1998.5.11~11.5	171.29	86.75	44.48	392.07	43	6
幼树林	1999.4.20~9.23	195.64	115.69	46.00	403.35	24	7
冬小麦	1998.10~1999.9	210.73	168.02	25.96	505.34	10	8
春青稞	1998.5~1998.9	219.09	100.89	122.23	408.27	6	9
冬小麦	1998.5~1998.9	231.61	89.62	124.55	389.00	6	10
冬青稞	1998.10~1999.9	239.66	218.98	25.56	531.86	8	11
冷杉林	1998.5.9~12.30	240.29	143.88	49.33	524.15	37	12
采伐迹地	1998.6.1~12.31	338.66	277.53	19.24	940.90	27	13
冬小麦	1999.5~1999.9	342.15	135.25	198.42	505.34	5	14
采伐迹地	1999.4.20~9.22	350.19	125.00	167.56	591.72	24	16
冷杉林	1999.4.20~9.23	504.61	277.67	92.63	1062.93	26	17

### 3.4 影响土壤 $\text{CO}_2$ 排放通量的主要因子

为了估算土壤碳排放的大小和分析其动态变化特征,必须了解碳排放与环境因子的关系,阐明影响土壤碳排放的因子及其影响程度。土壤碳排放是一个极其复杂的生物化学过程,影响因素颇多,表现在土壤碳

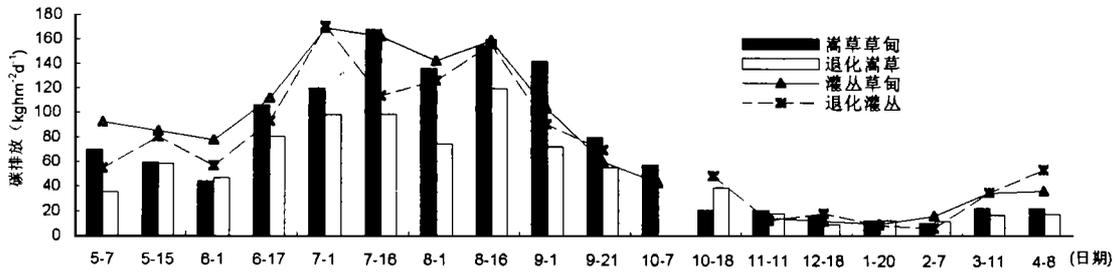


图 6 1998~1999 年海北站不同植被土壤碳排放日进程

Fig. 6 Daily course of soil CO<sub>2</sub> emission of different vegetations at Haibei station during 1998~1999

排放既有一定的规律性, 但又有我们尚难以解释的现象, 本文仅是初步分析。土壤 CO<sub>2</sub> 排放是土壤中生物学和生物化学过程综合作用的结果, 是植物根系、土壤微生物、土壤动物等呼吸排放的共同产物, 土壤理化因子和气象因子共同影响着它们的生命进程和土壤气体扩散速率。从我们的试验中不同植被覆盖下的土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量看, 其值高低主要受以下因素影响: 从发育期看, 植物旺盛生长期土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量高于发育初期和后期。从有无植被看, 草甸和农田有植被生长的土地 CO<sub>2</sub> 排放通量高于退化草地或撂荒地; 在林区是采伐迹地高于成树林、演替林。生长盛期植物根系及土壤微生物活性强, 呼吸旺盛, 是 CO<sub>2</sub> 排放通量高的主要原因。从环境条件看, CO<sub>2</sub> 排放通量与温度特别是地温呈明显的正相关变化, 而与大气压和空气 CO<sub>2</sub> 含量呈反相关变化, 与湿度关系较为复杂, 其中以撂荒地土壤湿度的正相关最明显。青藏高原海拔高, 热量条件比同纬度东部平原低, 温度高特别是地温高是强化土壤生命活动的重要因素, 高温使生物活性增强, 从而 CO<sub>2</sub> 排放通量高。而气压和空气 CO<sub>2</sub> 含量低则降低了土壤气体扩散阻力, 从而加快了 CO<sub>2</sub> 排放。我们将各种土壤碳排放速率与环境因子测定值分别进行统计分析, 气温、地温与土壤碳排放有明显的相关性, 分月进行因子模拟的结果较好(一般都通过 0.01 置信度检验), 这虽仅是初步的, 但说明利用环境因子模拟土壤碳排放是可行的。表 5 给出部分模拟方程结果。从初步分析看出, 土壤碳排放与温度之间有较好的相关性, 换言之, 温度是影响土壤碳排放大小的重要因子, 全球变暖有可能

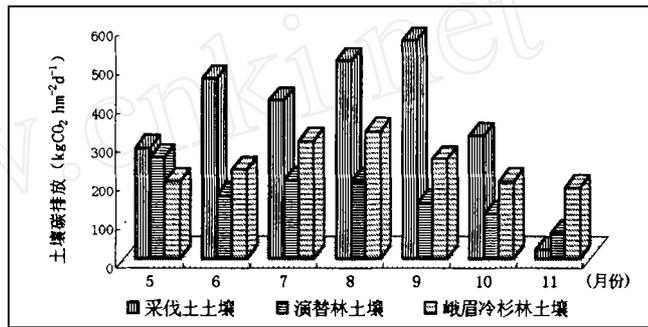


图 7 1998 年贡嘎山站不同植被土壤碳排放日进程

Fig. 7 Daily course of soil CO<sub>2</sub> emission of different vegetations at Gongga Mountain station of 1998

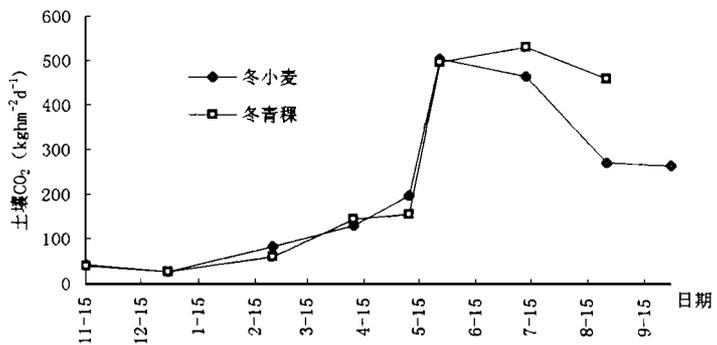


图 8 1999 年拉萨站不同植被土壤碳排放日进程

Fig. 8 Daily course of soil CO<sub>2</sub> emission of different vegetations at Lhasa station of 1999

全球变暖有可能

表5 不同植被土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量与环境因子的相关分析及模拟方程Table 5 Correlative analysis and simulating equation for soil CO<sub>2</sub> emission of different vegetations and its environmental factors

植 被	回归方程 <sup>1)</sup>	R <sup>2</sup>	P
蒿草草甸	$Y = 1.0383e^{0.0843t}$	0.6184	<0.01
蒿草草甸	$Y = 0.7768e^{0.112t5}$	0.6955	<0.001
退化蒿草	$Y = 0.5641e^{0.1026t5}$	0.748	<0.001
退化蒿草	$Y = 0.5479e^{0.1085t10}$	0.7043	<0.001
灌丛草甸	$Y = 0.8799e^{0.1097t5}$	0.7135	<0.001
灌丛草甸	$Y = 0.8596e^{0.1228t10}$	0.6795	<0.01
退化灌丛	$Y = 0.7956e^{0.091t5}$	0.6521	<0.01
退化灌丛	$Y = 0.7306e^{0.1053t10}$	0.647	<0.01
峨眉冷杉林	$Y = -0.0294(t5)^3 + 0.7391(t5)^2 - 5.2911(t5) + 16.153$	0.9633	<0.001
峨眉冷杉林	$Y = -0.025(t10)^3 + 0.6363(t10)^2 - 5.2911(t10) + 16.153$	0.9782	<0.001
演替林	$Y = 0.9662e^{0.1211t}$	0.9517	<0.001
演替林	$Y = 0.4244t0^{0.9626}$	0.8272	<0.001
采伐迹地	$Y = 0.0193t^4 - 0.8586t^3 + 13.861t^2 - 94.508t + 230.89$	0.9058	<0.001
采伐迹地	$Y = 0.0739(t0)^3 - 2.7339(t0)^2 + 34.203t0 - 135.8$	0.8914	<0.001
冬小麦(8月)	$Y = -0.0321(t5)^2 + 1.4396t5 - 8.4552$	0.7583	<0.001
冬小麦	$Y = -0.0822tw + 7.2313$	0.6344	<0.01

注:1)环境因子:t为气温;t<sub>0</sub>为0cm地温;t<sub>5</sub>为5cm地温;t<sub>10</sub>为10cm地温;tw为30~40cm土壤含水百分率。

引起高原土壤碳排放的增加。

### 3.5 土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量与植被净光合速率的关系

大气和土壤中的 CO<sub>2</sub> 是陆地植物光合作用的唯一供应者,我们希望了解土壤碳排在作物光合中的作用。由于1998年未进行光合速率测定,暂以1995、1996年相近生长期的冬小麦光合速率与1998年度同地块同品种冬小麦地土壤碳排放做一粗略对比,可以看出,在作物生长季,土壤排放的 CO<sub>2</sub> 一般来讲占其所覆盖植被净光合作用同化 CO<sub>2</sub> 的80%左右,由于土壤排放的 CO<sub>2</sub> 补充了高原大气 CO<sub>2</sub> 含量的不足,作为光合作用原料的重要组成部分被植物同化,因而不会增加大气中的 CO<sub>2</sub> 浓度(表6)

表6 冬小麦地土壤碳排放与光合速率

Table 6 Soil CO<sub>2</sub> emission and photosynthetic rate in winter wheat field(单位:kg hm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

日 期	冬小麦地土壤碳排放	日 期	1995年光合日总量	碳排放/光合	日 期	1996年光合日总量	碳排放/光合
1998-05-31	221.33	1995-05-22	255.16	0.87			
1998-06-16	273.34	1995-06-06	317.67	0.86	1996-06-20	283.34	0.96
1998-08-04	256.29	1995-07-29	354.92	0.72	1996-08-04	293.84	0.87

## 4 小 结

通过1998~1999年的试验研究,得到以下初步结论并需进一步探讨。

(1)土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率日平均值为草甸 215.87~329.68mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>,森林 713.72~2102.56mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>,农田 913.05~1135.83mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>。从高到低排列顺序为森林>农田>草甸。

(2) 土壤碳排放速率日变化,在农田和高寒草甸区一般表现为单峰型。在林区,日内有可能出现多小峰分布,或表现为日内在小范围内的波动。将一天平分为3个时段,各时段土壤碳排放占全天排放总量的百分比,草甸、农田均以地方时8:00~16:00为最高(高于38%),0:00~8:00最低(仅在25%左右);而林区3个时段占全天排放总量百分比的分布规律不明显。

(3) 土壤碳排放通量日进程:草甸、农田土壤碳排放是随着牧草、作物生长发育的加速而逐渐增加,而越接近成熟(或枯黄期)其值越低,收割后低于作物生长季。林区则以6~9月的生长旺季为最高。

(4) 测定期间土壤CO<sub>2</sub>排放通量日合计分别是高寒草甸7.64~171.03kg hm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>;林区为44.48~1062.93kg hm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>;农田98.79~505.34kg hm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>。

(5) 影响土壤CO<sub>2</sub>排放通量的因子:将各种土壤碳排放速率与环境因子测定值分别进行统计分析,气温、地温与土壤碳排放有明显的正相关性,分月进行因子模拟的结果较好(一般都通过0.01置信度检验)。温度是影响土壤碳排放大小的重要因子,全球变暖可能引起高原土壤碳排放的增加。

(6) 土壤CO<sub>2</sub>排放通量与植被净光合速率的关系:在作物生长季,土壤排放的CO<sub>2</sub>一般来讲占其上所覆盖植被净光合作用同化CO<sub>2</sub>的80%左右。由于土壤排放的CO<sub>2</sub>补充了高原大气CO<sub>2</sub>含量的不足,作为光合作用原料的重要组成部分被植物同化,因而不会增加大气中的CO<sub>2</sub>浓度。

从初步测定与分析看,生长季土壤CO<sub>2</sub>排放为植株吸收,作为光合作用原料形成植物有机质,起到固碳作用。虽然试验刚刚进行,资料尚未收集全,这只是初步分析,但已经看出高原生态系统碳平衡对大气温室气体变化的作用,从而对于全球变化具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] Seiko Osozawa, Shuichi Hasegawa. Diel and seasonal changes in carbon dioxide concentration and flux in an arid soil[J]. *Soil Science*, 1995, 160(2): 117~124.
- [2] Houghton J T, Meira Filho L G, Bruce J, et al. Climate Change 1994 - Radiative Forcing of Climate and Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 339.
- [3] 刘允芬,张宪洲,周允华,张谊光. 青藏高原田间冬小麦的表观光合量子效率[J]. *生态学报*, 2000, 20(1): 35~38.
- [4] 刘允芬. 青藏高原农田土壤CO<sub>2</sub>排放研究初报[J]. *自然资源学报*, 1998, 13(2): 181~186.
- [5] Steven F Oberbauer, Chris T Gillespie, Weixin Cheng, et al. Diurnal and seasonal patterns of ecosystem CO<sub>2</sub> efflux from upland tundra in the foothills of the Brooks range[J]. *Arctic and Alpine Research*, 1996, 28(3): 328~338.

## Soil carbon emission from ecosystems of eastern Qinghai-Tibet Plateau

LIU Yun-fen<sup>1</sup>, OU YANG Hua<sup>1</sup>, CAO Guang-min<sup>2</sup>, LUO Ji<sup>3</sup>,  
ZHANG Xian-zhou<sup>1</sup>, ZHAO Xin-quan<sup>2</sup>, YANG Qing-wei<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Northwest Plateau Institute of Biology, CAS, Xining 810001, China; 3. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** It is of practical significance and important scientific value to probe into carbonic balance in different ecosystems and its environmental factors affecting it, and to reveal its influence on and response to the changes of global carbonic greenhouse. Experimental studies of soil CO<sub>2</sub> emission flux by enclosed chamber technique were conducted at Haibei Frigid Meadow Ecological Station, Gongga Mountain Alpine Forest Ecological Station, and Lhasa Agroecological Station. The diurnal mean value of soil CO<sub>2</sub> emission flux was

215.87 ~ 329.68  $\text{mg CO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$  in highland meadows, 713.72 ~ 2,102.56  $\text{mg CO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$  in alpine forests, and 913.05 ~ 1,135.83  $\text{mg CO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$  in farmlands. Daily change of soil  $\text{CO}_2$  emission flux showed a single peak in farmlands and growing frigid meadows, both reached the highest at local time of 8:00 to 16:00, and the lowest from 0:00 to 8:00. In farmland and meadow, soil  $\text{CO}_2$  emission increased along with the accelerating growth of crops and pasturage. Before closing to the ripening period, the value went down. However in forest area, the highest value of soil  $\text{CO}_2$  emission reached to a peak from June to September. We found that there was a good correlation between temperature and soil  $\text{CO}_2$  emission, and temperature appears an important factor affecting soil  $\text{CO}_2$  emission, so the global warming will very likely increase soil  $\text{CO}_2$  emission.

**Key words:** Qinghai-Tibet Plateau; ecosystems; soil  $\text{CO}_2$  emission flux

## 土地利用/覆盖变化动力学国际会议(LUCCD' 2001)将在我国召开

由北京师范大学、国家自然科学基金委员会主办,北京师范大学资源科学研究所、北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室承办的“土地利用/覆盖变化动力学国际会议(LUCCD' 2001)”将于2001年8月26~30日在我国北京市召开。

大会(LUCCD' 2001)的目的是为了展现土地利用/覆盖变化研究,近期在理论与应用上的发展。

大会议题:

(1)土地利用/覆盖变化检测理论与方法;(2)土地利用/覆盖时空演变规律;(3)土地利用/覆盖变化的驱动力模型;(4)土地利用/覆盖变化预测与模拟技术;(5)物候、生物化学过程与土地利用/覆盖变化;(6)区域(城市)土地利用/覆盖变化与微气候;(7)土地利用/覆盖变化与全球变化;(8)全球变化影响下的土地持续利用模式。

本次会议的工作语言为英语,欢迎向会议投送论文。论文的详细摘要要求用英文书写,字数不超过一张A4版面,并请于2001年4月15日前寄送大会秘书处。论文全文截稿至2001年6月15日。

会议注册费:

国内:800元人民币(7月15日后,1000元人民币)

国外:280美元(7月15日后,300美元)

地址:100875北京新街口外大街19号,北京师范大学资源科学研究所

传真:010-62208178

电话:010-62207656;62209024

<http://202.112.93.50/LUCCD2001/index.html>

E-mail: [pwang@bnu.edu.cn](mailto:pwang@bnu.edu.cn); [Cyh@bnu.edu.cn](mailto:Cyh@bnu.edu.cn)

(陈云浩)